СОЗДАЕМ
НАДЕЖНОЕ
БУДУЩЕЕ

Микропроцессорные
технологии

Методические указания

по расчету и выбору уставок цифровых устройств релейной защиты для присоединений напряжением 6–35 кВ «АЛТЕЙ» и «ЛЮТИК»

Ревизия: 15.11.2026

2026

АЛТЕЙ ЛЮТИК

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Демидов Д. С.
Руководитель проектного департамента
НПП «Микропроцессорные Технологии»

VK: vk.com/rza_mt
Почта: demidov@i-mt.net



Пирогов М. Г.
Разработчик цифровых устройств РЗА,
генеральный директор
НПП «Микропроцессорные Технологии»

VK: vk.com/pirogovmg
Почта: pirogovmg@i-mt.net

Мы убеждены: у каждого значения уставки должно быть понятное инженерное обоснование. Эта позиция созвучна словам Михаила Абрамовича Шабада, одного из классиков отечественной релейной защиты: «Только умелый выбор характеристик реле может гарантировать правильные действия релейной защиты!». За амперами, вольтами и секундами в расчетах стоят сохранность оборудования, устойчивость электроснабжения и безопасность людей. Возможности современной релейной защиты раскрываются благодаря решениям инженера, который понимает защищаемый объект, учитывает режимы его работы и осознанно выбирает настройки. Поэтому мы считаем своей ответственностью не только создавать устройства, но и системно делиться знаниями, необходимыми для их грамотного применения.

В этих методических указаниях мы объединили положения классической теории релейной защиты, требования нормативных документов и особенности реализации функций в устройствах **«АЛТЕЙ»** и **«ЛЮТИК»**. Мы стремились показать ход инженерного рассуждения: почему выбирается определенное условие расчета, какие режимы необходимо учитывать, как проверить чувствительность и согласовать действие смежных защит. Понимание физического смысла позволяет проверить результат, увидеть границы применимости рекомендации и обосновать решение для конкретной схемы. Именно такую самостоятельность и уверенность мы хотим дать читателю.

Мы видим большую ценность в том, чтобы накопленный отраслью опыт становился доступнее каждому новому поколению инженеров. Начинающему специалисту систематизированная методика помогает освоить логику расчетов, опытному — проверить свои решения и разобраться в особенностях конкретного устройства. Проектировщикам, наладчикам и эксплуатационному персоналу она дает общую основу для обсуждения технических вопросов. Когда основания выбора понятны и доступны для проверки, проще находить ошибки, вносить улучшения и передавать знания, совместно повышая качество инженерной работы в интересах общества, в котором мы все живем.

Мы хотим, чтобы эта работа продолжалась в профессиональном диалоге. Вопросы коллег, замечания к расчетным подходам и опыт реальных объектов помогают уточнять рекомендации и находить решения для новых задач. Пользу методики мы видим в конкретных результатах: обоснованной уставке, согласованной работе защит, специалисте, который научился самостоятельно решать сложную задачу.

Развитие инженерных знаний — такая же важная часть создания надежной энергетики, как разработка самих устройств.

© Демидов Д.С., Пирогов М.Г., 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 2

ОГЛАВЛЕНИЕ 3

СОКРАЩЕНИЯ 5

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 6

1.1 Область применения 6
1.2 Общие указания 6
1.3 Общие положения по оценке чувствительности 7

2 КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ... 8

2.1 Цепи измерения и коэффициенты трансформации 8
2.2 Контроль электрических параметров 14

3 ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ 26

3.1 Общие сведения 26
3.2 Коэффициент надежности согласования 28
3.3 Ступень селективности токовых защит 28
3.4 Токовая отсечка, первая ступень (без выдержки времени) 30
3.5 Неселективная токовая отсечка без выдержки времени 33
3.6 Токовая отсечка, вторая ступень (с выдержкой времени) 36
3.7 Дополнительные условия выбора выдержек времени 39
3.8 Максимальная токовая защита 40
3.9 Направленные защиты от междуфазных КЗ в сетях с двусторонним питанием и кольцевых сетях 56
3.10 Токовые защиты от междуфазных КЗ присоединений 6–35 кВ 60
3.11 Логическая защита шин 90
3.12 Расчет уставок защиты от дуговых замыканий 93
3.13 Проверка вторичных обмоток ТТ для защиты и чувствительности ТЭО при применении переменного оперативного тока 108
3.14 Расчет уставок защиты от обрыва фазы и несимметрии нагрузки 119
3.15 Расчет уставок защиты от однофазных замыканий на землю и токовой защиты нулевой последовательности 125

4 ЗАЩИТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ 147

4.1 Защита минимального напряжения (ЗМН) 147
4.2 Защита от повышения напряжения (ЗПН) 152
4.3 Защита от потери питания (ЗПП) 155

5 РАСЧЕТ УСТАВОК ЗАЩИТ ДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 КВ 159

5.1 Общие сведения 159
5.2 Вычисление исходных величин 160
5.3 Токовая отсечка 168
5.4 Дифференциальная защита 170
5.5 Защита от замыканий на землю обмотки статора 176
5.6 Общие сведения о защитах электродвигателей от перегрузки 181
5.7 Защита от затянутого пуска и блокировки ротора 182
5.8 Тепловая модель 186
5.9 Токовая защита от симметричных перегрузок 195
5.10 Минимальная токовая защита 202
5.11 Защита от асинхронных режимов 204
5.12 Внешние защиты и сигнализация двигателя 222
5.13 Ограничение количества пусков 224

6 РАСЧЕТ УСТАВОК ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ 227

6.1 Общие сведения 227
6.2 Ступень селективности дистанционных защит 228
6.3 Блокировка при качаниях 228
6.4 Дистанционная защита от междуфазных КЗ 234
6.5 Дистанционная защита от двойных замыканий на землю 274

7 ВНЕШНИЕ ЗАЩИТЫ И УРОВ 281
7.1 Защита элегазового оборудования 281
7.2 Устройство резервирования при отказе выключателя 283

8 ЧАСТОТНАЯ АВТОМАТИКА 286
8.1 Индивидуальная и централизованная автоматическая частотная разгрузка 287
8.2 Индивидуальное и централизованное частотное автоматическое повторное включение 293
8.3 Частотная делительная автоматика (ЧДА) 296
8.4 Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ) 299

9 АВТОМАТИКА ПО НАПРЯЖЕНИЮ 303
9.1 Автоматическая разгрузка по снижению напряжения (АРСН) 303
9.2 Автоматическое повторное включение по напряжению (АПВН) 306

10 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА (АВР) И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА (ВНР) 308
10.1 Автоматическое включение резерва 308
10.2 Восстановление нормального режима 315
10.3 Автоматическое включение резерва для пунктов секционирования 319

11 АВТОМАТИКА УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ 324
11.1 Включение выключателя 324
11.2 Отключение выключателя 327
11.3 Автоматическое повторное включение 330

12 ДИАГНОСТИКА 344
12.1 Диагностика выключателя и цепей управления 344
12.2 Контроль цепей напряжения 346
12.3 Контроль цепей тока 351

13 ПРОЧИЕ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ) ФУНКЦИИ 354
13.1 Смена программ уставок 354
13.2 Аварийная сигнализация 356
13.3 Предупредительная сигнализация 358
13.4 Перегрев 360
13.5 Ресурс выключателя 370
13.6 Определение места повреждения 375
13.7 Осциллографирование 379
13.8 Технический учет электроэнергии 385

14 **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 387**

СОКРАЩЕНИЯ

АВР	автоматическое включение резерва
АПВ	автоматическое повторное включение
БТН	бросок тока намагничивания
ВЛ	воздушная линия
ВН	высшее напряжение
ВТХ	времятоковая характеристика
КЗ	короткое замыкание
КЛ	кабельная линия
КРУ	комплектное распределительное устройство
КРУН	комплектное распределительное устройство наружной установки
КСО	камера сборная одностороннего обслуживания
ЛЭП	линия электропередачи
НН	низшее напряжение
НТД	нормативно-техническая документация
ПС	подстанция
ПТЭЭП	Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии
ПТЭЭС	Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации
ПУЭ	Правила устройства электроустановок
РЗА	релейная защита и автоматика
РПН	регулирование напряжения под нагрузкой
РУ	распределительное устройство
РЭ	руководство по эксплуатации
СН	среднее напряжение
ТЗНП	токовая защита нулевой последовательности
ТН	трансформатор напряжения
ТТ	трансформатор тока
ТТНП	трансформатор тока нулевой последовательности
ЭД	электродвигатель
ЭДС	электродвижущая сила

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая Методика содержит рекомендации по расчету и выбору уставок[1] функций релейной защиты, автоматики, управления, диагностики и сигнализации цифровых устройств, применяемых на присоединениях напряжением 6–35 кВ.

В Методике преимущественно рассматриваются устройства **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»**, **«Алтей-01»**, **«Лютик-Плюс»** и **«Лютик»**. Далее по тексту устройства **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Алтей-01»**, если не приведено специальное указание, именуются устройствами **«Алтей»**, а устройства **«Лютик-Плюс»** и **«Лютик»** — устройствами **«Лютик»**. В отдельных разделах Методики применительно к соответствующим функциям и расчетным задачам также рассматриваются устройства **«iD»**, **«Пион-Т»**, **«Флокс-I»**, **«Геум-И»**, **«Геум-К»**, **«Лайм-Плюс»**, **«Мелисса»** и **«Кактус»**.

Состав реализованных функций, наименования и диапазоны задания уставок, используемые измерительные величины, условия пуска и возврата, блокировки, выдержки времени и формируемые выходные сигналы могут различаться для отдельных устройств и версий программного обеспечения. При применении положений Методики указанные особенности следует уточнять по актуальному руководству по эксплуатации соответствующего устройства.

1.2 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Настоящая Методика разработана с учетом руководств по эксплуатации рассматриваемых устройств, Правил устройства электроустановок [100], Приказа № 546 Минэнерго России [145], других применимых нормативных и методических документов, а также отечественного опыта расчета и выбора уставок устройств релейной защиты и автоматики.

Положения настоящей Методики носят рекомендательный характер и предназначены для использования проектными, наладочными и эксплуатирующими организациями. Применение Методики не исключает необходимости выполнения расчетов для конкретной схемы электрической сети с учетом состава оборудования, режимов работы и принятых принципов построения релейной защиты.

При расчете и выборе уставок обязательные требования действующих нормативных правовых и нормативно-технических документов, а также требования руководства по эксплуатации соответствующего устройства имеют приоритет перед рекомендациями настоящей Методики.

При наличии в организации утвержденных методик или требований по расчету и выбору уставок следует руководствоваться указанными документами в части, не противоречащей обязательным требованиям действующих нормативных документов и руководствам по эксплуатации применяемых устройств.

Следует учитывать, что в практике различных проектных и эксплуатирующих организаций могут применяться отличающиеся подходы к расчету уставок релейной защиты. Такие расхождения, как правило, обусловлены накопленным опытом, отраслевыми и внутренними нормативными документами, особенностями защищаемых объектов, составом применяемых устройств и принятыми принципами построения релейной защиты.

В Методике рассматриваются преимущественно типовые и наиболее часто встречающиеся расчетные случаи. Многообразие схем электрических сетей, режимов работы, характеристик оборудования и условий эксплуатации не позволяет охватить все возможные варианты применения устройств релейной защиты. Нестандартные случаи следует рассматривать отдельно с учетом схемы и параметров конкретного объекта, расчетных режимов, требований соответствующей энергосистемы или организации и технических характеристик применяемых устройств.

Применение расчетных подходов, отличающихся от приведенных в настоящей Методике, допускается при наличии технического обоснования и при условии выполнения требований к надежности, селективности, чувствительности и быстродействию релейной защиты.

В список литературы наряду с нормативно-техническими документами, руководствами по эксплуатации, методическими документами, учебными пособиями, тематическими и классическими изданиями по релейной защите включены отдельные научно-технические статьи. Указанные статьи используются в качестве источников опубликованных расчетных, экс-

[1] Значение параметра настройки устройства релейной защиты и автоматики, определяющее условия его функционирования [50]

периментальных и эксплуатационных данных по отдельным вопросам, недостаточно подробно рассмотренным в нормативных и методических документах. Ссылки на статьи носят справочный характер и используются для обоснования отдельных положений Методики. Они не заменяют требования нормативно-технических документов и руководств по эксплуатации.

При разработке настоящей Методики учтены замечания и предложения представителей организаций электроэнергетики, проектных, эксплуатирующих и иных организаций, участвующих в разработке, проектировании и применении устройств релейной защиты и автоматики.

По вопросам выбора уставок устройств **«Алтей»** и **«Лютик»**, не рассмотренным в настоящей Методике, а также для направления замечаний и предложений по ее совершенствованию следует обращаться по адресу электронной почты: 01@i-mt.net.

1.3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Оценку надежности действия защиты при повреждении в пределах защищаемой зоны следует выполнять с использованием коэффициента чувствительности, который должен обеспечивать необходимый запас с учетом погрешностей измерительных трансформаторов, измерительных органов защиты и расчета первичных электрических величин.

Расчетные значения величин должны устанавливаться, исходя из наиболее неблагоприятных видов повреждения, но для реально возможного режима работы электрической системы [**100**, пп. 3.2.20].

Конкретные значения коэффициентов чувствительности в настоящем подразделе не приводятся. Их следует принимать в соответствии с указаниями разделов Методики, посвященных расчету соответствующих защит и измерительных органов.

Приказом № 546 Минэнерго России установлены базовые значения коэффициентов чувствительности. Требования к чувствительности считаются выполненными, если фактический коэффициент чувствительности превышает 90 % соответствующего базового значения [**145**, п. 12]. При оценке выполнения указанных требований в качестве расчетного следует принимать металлическое КЗ с величиной переходного сопротивления в месте КЗ, равной нулю [**145**, п. 11].

Если для соответствующей защиты установлены требования к коэффициенту чувствительности одновременно по ПУЭ и Приказу № 546 Минэнерго России, оценку чувствительности следует выполнять раздельно по каждому из указанных документов.

2 КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ

2.1 Цепи измерения и коэффициенты трансформации

2.1.1 Общие сведения

Расчет и задание уставок функций защиты, автоматики, управления и диагностики следует выполнять с учетом принятой схемы подключения измерительных цепей, а также заданных коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения.

Расчет значений уставок в настоящей Методике рекомендуется выполнять в первичных величинах. При задании уставок в устройстве расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам с учетом коэффициентов трансформации соответствующих ТТ и ТН и принятой схемы подключения измерительных цепей.

При расчете и задании уставок по току следует учитывать принятую схему соединения токовых цепей[1], которая в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** может быть различной. В частности, могут применяться схемы полной звезды и неполной звезды, в том числе без подключения и с подключением нулевого провода. Для токовых цепей должны быть заданы номинальные первичные и вторичные токи фазных ТТ. При наличии защит, использующих измерение тока нулевой последовательности, дополнительно должны быть заданы коэффициенты трансформации ТТНП, а для защит электродвигателей, использующих ток со стороны нейтрали, при необходимости — коэффициенты трансформации соответствующего ТТ.

При расчете и задании уставок по напряжению следует учитывать принятую схему подключения и конфигурацию цепей ТН[2], которые в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** могут быть различными. В зависимости от этого расчетные величины могут относиться к линейным или фазным напряжениям, а также к напряжениям основной или дополнительной вторичной обмотки ТН. Это должно учитываться при выборе уставок, рассматриваемых в разделе **2.2**.

Общее правило приведения уставок, задаваемых по сопротивлению, к вторичным величинам приведено в **2.1.2**; особенности задания уставок дистанционной защиты рассматриваются в разделе **6**.

Основные параметры цепей измерения и коэффициентов трансформации, задаваемые в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Цепи измерения и коэффициенты трансформации

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Цепи фазных ТТ	+	+	+	+	+
Цепи ТТНП	+	+	+	+	+
Цепи ТТ стороны нейтрали двигателя	–	–	–	+	–
Цепи напряжения основной обмотки ТН	–	+	+	+	+
Цепи напряжения дополнительной обмотки ТН	–	+	+	+	+
Цепи встречного напряжения	–	+	+	+	+
Выбор конфигурации цепей напряжения	–	+	+	+	–

Коэффициенты трансформации в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** задаются набором уставок, приведенных в таблице 2.2.

[1] В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** схема подключения цепей ТТ задается параметром **«Схема ТТ»**
[2] В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** конфигурация цепей ТН задается параметром **«Схема ТН»**

Таблица 2.2. Уставки задания коэффициентов трансформации для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Коэффициенты трансформации							
Iн ТТ п	А	200	1	20 000	1	-	Номинальный первичный ток ТТ фаз
Iн ТТ в	А	5		1 или 5		-	Номинальный вторичный ток ТТ фаз
Iн ТТ 3I0 п	А	30	1	20 000	1	-	Номинальный первичный ток ТТНП
Iн ТТ 3I0 в	А	1		0,2, 1 или 5		-	Номинальный вторичный ток ТТНП
Iн ТТн п[1]	А	200	1	20 000	1	-	Номинальный первичный ток ТТ стороны нейтрали двигателя
Iн ТТн в	А	5		1 или 5		-	Номинальный вторичный ток ТТ стороны нейтрали двигателя
Uн ТН п	В	6 000	100	220 000	1	-	Номинальное первичное напряжение ТН
Uн ТН в	В	100		100 или 100/√3 или 220		-	Номинальное вторичное напряжение основной обмотки ТН
Uн ТН в доп	В	100/√3		100/√3 или 100/3		-	Номинальное вторичное напряжение дополнительной обмотки ТН
Uн ТНвст п	В	6 000	100	220 000	1	-	Номинальное первичное напряжение ТН линии (соседней секции)
Uн ТНвст в	В	100		100		-	Номинальное вторичное напряжение ТН линии (соседней секции)

Коэффициенты трансформации в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** задаются набором уставок, приведенных в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Уставки задания коэффициентов трансформации для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Коэффициенты трансформации							
Iн ТТ п	А	200	1	20 000	1	-	Номинальный первичный ток ТТ фаз
Iн ТТ в	А	5		1 или 5		-	Номинальный вторичный ток ТТ фаз
Iн ТТ 3I0 п	А	30	1	20 000	1	-	Номинальный первичный ток ТТНП
Iн ТТ 3I0 в	А	1		1 или 5 или 0,2		-	Номинальный вторичный ток ТТНП
Uн ТН п	В	6 000	100	750 000	1	-	Номинальное первичное напряжение ТН
Uн ТН в	В	100		100 или 220 или 100/√3		-	Номинальное вторичное напряжение основной обмотки ТН
Uн ТН в доп	В	100/√3		100/√3 или 100/3		-	Номинальное вторичное напряжение дополнительной обмотки ТН
Uн ТНвст п	В	6 000	100	750 000	1	-	Номинальное первичное напряжение ТН линии (соседней секции)
Uн ТНвст в	В	100		100 или 220 или 100/√3		-	Номинальное вторичное напряжение ТН линии (соседней секции)

Коэффициенты трансформации в устройстве **«Лютик»** задаются набором уставок, приведенных в таблице 2.4.

Таблица 2.4. Уставки задания коэффициентов трансформации для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Коэффициенты трансформации							
Iн ТТ п	А	5	1	20 000	1	-	Номинальный первичный ток ТТ фаз
Iн ТТ в	А	5		1 или 5		-	Номинальный вторичный ток ТТ фаз

[1] Уставки **«Iн ТТн п»** и **«Iн ТТн в»** задаются только для устройства **«Алтей-БЗП»**

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Iн ТТ 3I0 п	А	30	1	100	1	-	Номинальный первичный ток ТТНП
Iн ТТ 3I0 в	А	1		1		-	Номинальный вторичный ток ТТНП

2.1.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iн ТТ п»** следует принимать равным номинальному первичному току установленного ТТ:

$$Iн\ ТТ\ п = I_{ном.ТТ.перв}\ \ А \tag{2.1}$$

где

$I_{ном.ТТ.перв}$ А — номинальный первичный ток ТТ, принимаемый по паспортным данным ТТ; при выборе ТТ, как правило, принимается из стандартного ряда значений в соответствии с ГОСТ 7746-2015 [41]

Значение уставки **«Iн ТТ в»** следует принимать равным номинальному вторичному току установленного ТТ:

$$Iн\ ТТ\ в = I_{ном.ТТ.втор}\ \ А \tag{2.2}$$

где

$I_{ном.ТТ.втор}$ А — номинальный вторичный ток ТТ, принимаемый по паспортным данным ТТ (как правило, 1 А или 5 А в соответствии с ГОСТ 7746-2015 [41])

Согласно ГОСТ 7746-2015 [41] коэффициент трансформации ТТ[1] определяется как отношение номинального первичного тока к номинальному вторичному току:

$$k_{ТТ} = \frac{I_{ном.ТТ.перв}}{I_{ном.ТТ.втор}} \tag{2.3}$$

Значение уставки **«Iн ТТ 3I0 п»** следует принимать равным номинальному первичному току установленного ТТ:

$$Iн\ ТТ\ 3I0\ п = I_{ном.ТТНП.перв}\ \ А \tag{2.4}$$

где

$I_{ном.ТТНП.перв}$ А — номинальный первичный ток ТТНП по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТТНП

Значение уставки **«Iн ТТ 3I0 в»** следует принимать равным номинальному вторичному току установленного ТТ:

$$Iн\ ТТ\ 3I0\ в = I_{ном.ТТНП.втор}\ \ А \tag{2.5}$$

где

$I_{ном.ТТНП.втор}$ А — номинальный вторичный ток ТТНП по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТТНП (как правило, 1 А)

Коэффициент трансформации ТТНП[2] следует определять по формуле:

$$k_{ТТ\ 3I0} = \frac{I_{ном.ТТНП.перв}}{I_{ном.ТТНП.втор}} \tag{2.6}$$

Значение уставки **«Iн ТТн п»** следует принимать равным номинальному первичному току ТТ, установленного со стороны нейтрали двигателя:

$$Iн\ ТТн\ п = I_{ном.ТТн.перв}\ \ А \tag{2.7}$$

где

$I_{ном.ТТн.перв}$ А — номинальный первичный ток ТТ стороны нейтрали электродвигателя, принимаемый по паспортным данным ТТ; при выборе ТТ, как правило, принимается из стандартного ряда значений в соответствии с ГОСТ 7746-2015 [41]

Значение уставки **«Iн ТТн в»** следует принимать равным номинальному вторичному току ТТ, установленного со стороны нейтрали двигателя:

$$Iн\ ТТн\ в = I_{ном.ТТн.втор}\ \ А \tag{2.8}$$

где

[1] При расчете уставок следует использовать фактические коэффициенты трансформации установленных ТТ независимо от соответствия их стандартному ряду значений.

[2] Следует учитывать, что для ТТНП наряду со стандартными могут применяться и специальные значения коэффициента трансформации, задаваемые изготовителем.

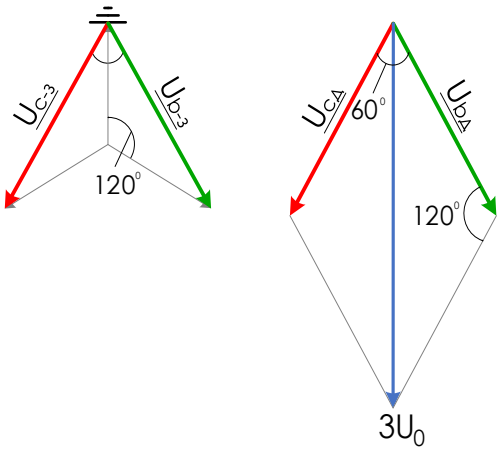
$I_{ном.ТТн.втор}$ А номинальный вторичный ток ТТ стороны нейтрали электродвигателя, принимаемый по паспортным данным ТТ (как правило, 1 А или 5 А в соответствии с ГОСТ 7746-2015 [41]

Согласно ГОСТ 7746-2015 [41] коэффициент трансформации ТТ[1] определяется как отношение номинального первичного тока к номинальному вторичному току:

$$k_{ТТ\ н} = \frac{I_{ном.ТТн.перв}}{I_{ном.ТТн.втор}} \quad (2.9)$$

Номинальные напряжения первичной, основной и дополнительной вторичных обмоток ТН следует принимать по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТН. При этом для основной вторичной обмотки следует учитывать, что согласно ГОСТ 1983-2015 [38] номинальное вторичное напряжение ТН, соответствующее линейному напряжению сети, как правило, принимается равным 100 В. Для дополнительной вторичной обмотки, используемой для измерения $3U_0$, номинальное напряжение следует принимать с учетом схемы ее соединения и условия формирования на выходе разомкнутого треугольника напряжения 100 В при однофазном замыкании на землю. Для сети с изолированной нейтралью указанному условию, как правило, соответствует номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки 100/3 В [20, 38].

Векторные диаграммы, приведенные на рисунке 2.1, показывают, что при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью напряжение на первичной обмотке поврежденной фазы ТН равно нулю, а напряжения на первичных обмотках двух неповрежденных фаз возрастают до линейных. При этом вектор $3U_0$, формируемый на выходе дополнительной обмотки, равен утроенному фазному напряжению ($3U_0=3U_ф$), что и определяет особенности выбора номинального напряжения дополнительной вторичной обмотки ТН.



а) б)

Рисунок 2.1. Векторные диаграммы напряжений первичной обмотки (а) и дополнительной вторичной обмотки (б) при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью.

При задании уставок **«Uн ТН п»** и **«Uн ТН в»** следует учитывать, что указанные величины должны выбираться согласованно в соответствии с принятой схемой подключения ТН: линейное напряжение — к линейному, фазное — к фазному. Выбор линейного значения **«Uн ТН п»** совместно с фазным значением **«Uн ТН в»** (или наоборот) не допускается.

Значение уставки **«Uн ТН п»** следует определять по формуле:

$$Uн\ ТН\ п = U_{ном.ТН.перв}\ В \quad (2.10)$$

где

$U_{ном.ТН.перв}$ В номинальное первичное напряжение ТН, принимаемое по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТН

Значение уставки **«Uн ТН в»** следует определять по формуле:

$$Uн\ ТН\ в = U_{ном.ТН.втор}\ В \quad (2.11)$$

где

$U_{ном.ТН.втор}$ В номинальное напряжение основной вторичной обмотки ТН, принимаемое по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТН

Значение уставки **«Uн ТН в доп»** следует определять по формуле:

[1] При расчете уставок следует использовать фактические коэффициенты трансформации установленных ТТ независимо от соответствия их стандартному ряду значений.

$$\text{Uн ТН в доп} = U_{\text{ном.ТН.втор.доп}} \ \text{В} \tag{2.12}$$

где

$U_{\text{ном.ТН.втор.доп}}$ В — номинальное напряжение дополнительной вторичной обмотки ТН, принимаемое по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТН.

Коэффициент трансформации основной обмотки ТН определяется по формуле:

$$k_{\text{ТН}} = \frac{U_{\text{ном.ТН.перв}}}{U_{\text{ном.ТН.втор}}} \tag{2.13}$$

Коэффициент трансформации дополнительной обмотки ТН определяется по формуле:

$$k_{\text{ТН доп}} = \frac{U_{\text{ном.ТН.перв}}}{U_{\text{ном.ТН.втор.доп}}} \tag{2.14}$$

При задании уставок **«Uн ТНвст п»** и **«Uн ТНвст в»** следует учитывать, что указанные величины должны выбираться согласованно в соответствии с принятой схемой подключения ТН: линейное напряжение — к линейному, фазное — к фазному. Выбор линейного значения **«Uн ТНвст п»** совместно с фазным значением **«Uн ТНвст в»** (или наоборот) не допускается.

Значение уставки **«Uн ТНвст п»** следует определять по формуле:

$$\text{Uн ТНвст п} = U_{\text{ном.ТНвст.перв}} \ \text{В} \tag{2.15}$$

где

$U_{\text{ном.ТНвст.перв}}$ В — номинальное первичное напряжение ТН линии (соседней секции), принимаемое по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТН.

Значение уставки **«Uн ТНвст в»** следует определять по формуле:

$$\text{Uн ТНвст в} = U_{\text{ном.ТНвст.втор}} \ \text{В} \tag{2.16}$$

где

$U_{\text{ном.ТНвст.втор}}$ В — номинальное напряжение вторичной обмотки ТН линии (соседней секции), принимаемое по паспортным данным или эксплуатационной документации на конкретный ТН

Коэффициент трансформации ТН линии (соседней секции) определяется по формуле:

$$k_{\text{ТН вст}} = \frac{\text{Uн ТНвст п}}{\text{Uн ТНвст в}} \tag{2.17}$$

Для уставок **«Uн ТН в»** и **«Uн ТНвст в»** значение 220 В соответствует фазному напряжению. Такое значение может применяться, например, при подключении к ТСН 0,4 кВ. При задании указанных уставок следует учитывать, что в данном случае используется фазное, а не линейное напряжение.

Расчетные значения уставок, определенные в первичных величинах, перед заданием в устройство должны быть приведены ко вторичным величинам с учетом коэффициентов трансформации соответствующих измерительных трансформаторов.

Для уставок, задаваемых по фазному току, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$I_{\text{уст.втор}} = \frac{I_{\text{уст.перв}}}{k_{\text{ТТ}}} \tag{2.18}$$

где

$I_{\text{уст.перв}}$ А — расчетное значение уставки по току в первичных величинах

$I_{\text{уст.втор}}$ А — значение уставки по току, задаваемое в устройстве

$k_{\text{ТТ}}$ — — коэффициент трансформации фазных ТТ, определяемый по формуле (2.3)

Для уставок, задаваемых по току нулевой последовательности, измеряемому от ТТНП, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$I_{\text{3I0.уст.втор}} = \frac{I_{\text{3I0.уст.перв}}}{k_{\text{ТТ 3I0}}} \tag{2.19}$$

где

$I_{\text{3I0.уст.перв}}$ А — расчетное значение уставки по току нулевой последовательности в первичных величинах

$I_{\text{3I0.уст.втор}}$ А — значение уставки по току нулевой последовательности, задаваемое в устройстве

$k_{\text{ТТ 3I0}}$ — — коэффициент трансформации ТТНП, определяемый по формуле (2.6)

Для уставок, задаваемых по току со стороны нейтрали электродвигателя, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$I_{\text{н.уст.втор}} = \frac{I_{\text{н.уст.перв}}}{k_{\text{ТТ н}}} \quad (2.20)$$

где

$I_{\text{н.уст.перв}}$ A расчетное значение уставки по току стороны нейтрали электродвигателя в первичных величинах

$I_{\text{н.уст.втор}}$ A значение уставки, задаваемое в устройстве

$k_{\text{ТТ н}}$ – коэффициент трансформации ТТ стороны нейтрали электродвигателя, определяемый по формуле (2.9)

Для уставок, задаваемых по напряжению основной вторичной обмотки ТН, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$U_{\text{уст.втор}} = \frac{U_{\text{уст.перв}}}{k_{\text{ТН}}} \quad (2.21)$$

где

$U_{\text{уст.перв}}$ В расчетное значение уставки по напряжению в первичных величинах

$U_{\text{уст.втор}}$ В значение уставки по напряжению, задаваемое в устройстве

$k_{\text{ТН}}$ – коэффициент трансформации основной обмотки ТН, определяемый по формуле (2.13)

Для уставок, задаваемых по напряжению дополнительной обмотки ТН, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$U_{\text{доп.уст.втор}} = \frac{U_{\text{доп.уст.перв}}}{k_{\text{ТН доп}}} \quad (2.22)$$

где

$U_{\text{доп.уст.перв}}$ В расчетное значение напряжения, приведенное к стороне первичной обмотки ТН

$U_{\text{доп.уст.втор}}$ В значение уставки, задаваемое в устройстве

$k_{\text{ТН доп}}$ – коэффициент трансформации дополнительной обмотки ТН, определяемый по формуле (2.14)

Для уставок, задаваемых по встречному напряжению, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$U_{\text{вст.уст.втор}} = \frac{U_{\text{вст.уст.перв}}}{k_{\text{ТН вст}}} \quad (2.23)$$

где

$U_{\text{вст.уст.перв}}$ В расчетное значение уставки по встречному напряжению в первичных величинах

$U_{\text{вст.уст.втор}}$ В значение уставки по встречному напряжению, задаваемое в устройстве

$k_{\text{ТН вст}}$ – коэффициент трансформации ТН линии, соседней секции или иного источника встречного напряжения, определяемый по формуле (2.17)

При приведении уставок по напряжению необходимо использовать согласованные величины: линейное напряжение должно приводиться через коэффициент трансформации, заданный для линейных напряжений, а фазное напряжение — через коэффициент трансформации, заданный для фазных напряжений. Для уставок, задаваемых в относительных единицах, процентах, градусах, герцах или секундах, приведение по коэффициентам трансформации ТТ и ТН не выполняется.

Для уставок, задаваемых по сопротивлению, приведение первичного значения ко вторичному следует выполнять по формуле:

$$Z_{\text{уст.втор}} = Z_{\text{уст.перв}} \cdot \frac{k_{\text{ТТ}}}{k_{\text{ТН}}} \quad (2.24)$$

где

$Z_{\text{уст.перв}}$ Ом расчетное значение уставки по сопротивлению в первичных величинах

$Z_{\text{уст.втор}}$ Ом значение уставки по сопротивлению, приведенное ко вторичным цепям

$k_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации фазных ТТ, определяемый по формуле (2.3)

$k_{\text{ТН}}$ – коэффициент трансформации основной обмотки ТН, определяемый по формуле (2.13)

Аналогично выполняется приведение активной и реактивной составляющих сопротивления:

$$R_{уст.втор} = R_{уст.перв} \cdot \frac{k_{TT}}{k_{TH}} \quad (2.25)$$

$$X_{уст.втор} = X_{уст.перв} \cdot \frac{k_{TT}}{k_{TH}} \quad (2.26)$$

При приведении уставок дистанционных защит по сопротивлению для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует использовать коэффициент трансформации фазных ТТ и коэффициент трансформации основной обмотки ТН, заданные в устройстве. Для дистанционной защиты от междуфазных КЗ расчет выполняется для контуров фаза–фаза с использованием линейных напряжений; для дистанционной защиты от двойных замыканий на землю — для контуров фаза–земля с использованием фазных напряжений при конфигурации цепей напряжения №3. При задании коэффициента трансформации ТН первичные и вторичные значения напряжения должны быть согласованы: линейное напряжение — с линейным, фазное — с фазным. Коэффициенты трансформации ТН встречного напряжения и дополнительной обмотки ТН при приведении уставок сопротивления ДЗ и ДЗДВ не используются.

2.2 Контроль электрических параметров

2.2.1 Общие сведения

Алгоритм **«Контроль электрических параметров»** (**«КЭП»**) предназначен для контроля электрических величин присоединения и формирования сигналов, используемых в алгоритмах защит, автоматики и управления. КЭП выполняет контроль тока, напряжения, частоты, синхронизма, направления мощности и ряда дополнительных параметров, а также формирует внутренние разрешающие и блокирующие признаки для других функций устройства. Поэтому выбор уставок алгоритма следует выполнять исходя из условий работы тех алгоритмов, в которых используются выходные сигналы **«КЭП»**.

Основные параметры алгоритма **«Контроль электрических параметров»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5. Алгоритм «Контроль электрических параметров»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль наличия тока	–	+	+	+	+
Контроль наличия/отсутствия напряжения на шинах (Uш)	–	+	+	+	+
Контроль наличия/отсутствия встречного напряжения (Uвст)	–	+	+	+[1]	
Контроль синхронизма	–	+	+		
Контроль напряжения обратной последовательности (U2)	–	+	+	+	+
Контроль частоты	–	+	+	+	+
Контроль направления мощности	–	+	+	+	+
Контроль напряжения нулевой последовательности ($3U_0$)	–	+	+	+[2]	
Сигнализация ОЗЗ по $3U_0$	–	+	+		
Вольтметровая блокировка (ВМБ)	–	+	+		
Блокирование АЧР и ЧАПВ по напряжению	–	+	+	+	+
Сигнализация феррорезонанса	–	+	+	–	–

[1] Для устройства **«Алтей-БЗП»** контроль синхронизма по измеренному **«Uвст»** применяется только при конфигурации цепей напряжения №2. При конфигурациях №1 и №3 контроль синхронизма выполняется внешним устройством через вход **«КС внеш.»**. Для устройства **«Алтей-БЗП2»** указанное ограничение по конфигурации цепей напряжения не применяется: контроль синхронизма выполняется по измеренным напряжениям шин и входу **«Uвст»**

[2] Для устройства **«Алтей-БЗП»** контроль $3U_0$ и сигнализация ОЗЗ по $3U_0$ доступны только при конфигурации цепей напряжения №1 или №3. Для устройства **«Алтей-БЗП2»** контроль $3U_0$ и сигнализация ОЗЗ по $3U_0$ выполняются по отдельному аналоговому входу $3U_0$.

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Блокирование ТО, МТЗ по 2-й гармонике	–	–[1]	+	+	

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Уставки алгоритма «Контроль электрических параметров» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Контроль электрических параметров (КЭП)							
Iмин	А	0,5	0,1	5	0,01	0,95	Уставка контроля наличия тока
Uш макс	В	95	80	100	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения на шинах
Uш макс[2]	В	95	80	380	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения на шинах
Uш мин	В	5	5	20	0,01	1,05	Уставка контроля отсутствия напряжения на шинах
Uвст макс	В	95	80	220	0,01	0,95	Уставка контроля наличия встречного напряжения
Uвст мин	В	5	5	20	0,01	1,05	Уставка контроля отсутствия встречного напряжения
U2 макс	В	5	5	20	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения обратной последовательности
3U0 макс 1	В	5	5	100	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения нулевой последовательности
3U0 макс 2	В	5	5	100	0,01	0,95	Уставка сигнализации по 3U0
Тозз	с	1	0	100	0,01	-	Задержка срабатывания сигнализации по 3U0
f макс	Гц	49,98	49	50	0,01	-0,1 Гц	Уставка контроля частоты
КС dU	В	5	5	20	0,01	0,95	Разность напряжений для блокировки КС
КС df	Гц	0,05	0,02	1	0,01	-0,01 Гц	Разность частот для блокировки КС
КС dФ	град	10	5	90	1	1 град	Допустимая разность фаз при КС
КС kUвст	-	1	0,1	2	0,01	-	Коэффициент приведения встречного напряжения
КС Фвст	град	0	-180	180	1	-	Угол приведения встречного напряжения
УС df	Гц	0,02	0,02	1	0,01	-0,01 Гц	Разность частот для активации УС
Тус	с	0,05	0,01	0,2	0,01	-	Время исполнения команды включения выключателя
Фмч	град	-45	-90	90	1	-	Угол максимальной чувствительности фазного реле направления мощности
Uвмб	В	80	10	100	0,01	1,05	Линейное напряжение возврата ВМБ
U2 вмб	В	5	5	25	0,01	0,95	Напряжение обратной последовательности возврата ВМБ
Uблок	В	10	10	80	0,1	1,05	Напряжение блокировки АЧР и ЧАПВ
ИПБ Iф	о.е.	0,15	0,1	0,4	0,01	-	Доля 2 гармоники для блокирования ТО, МТЗ

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 2.7.

Таблица 2.7. Уставки алгоритма «Контроль электрических параметров» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА	ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
	Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Контроль электрических параметров (КЭП)						

[1] Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** блокировка по 2-й гармонике не выделяется как функция алгоритма **«КЭП»**. В указанных устройствах данная блокировка реализована в алгоритмах МТЗ. Для ступеней ТО ее реализация, при необходимости, может быть выполнена средствами гибкой логики.

[2] Параметр для устройства **«Алтей-БЗП2»**

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Iмин	А	0,5	0,1	5	0,01	0,95	Уставка контроля наличия тока
Uш макс	В	95	80	100	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения на шинах
Uш мин	В	5	5	20	0,01	1,05	Уставка контроля отсутствия напряжения на шинах
Uвст макс	В	95	80	220	0,01	0,95	Уставка контроля наличия встречного напряжения
Uвст мин	В	5	5	20	0,01	1,05	Уставка контроля отсутствия встречного напряжения
U2 макс	В	5	5	20	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения обратной последовательности
f макс	Гц	49,98	49	51	0,01	-0,1 Гц	Уставка контроля частоты
КС dU	В	5	5	20	0,01	0,95	Разность напряжений для блокировки КС
КС df	Гц	0,05	0,02	1	0,01	-0,01 Гц	Разность частот для блокировки КС
КС dФ	град	10	5	90	1	1 град	Допустимая разность фаз при КС
КС kUвст	-	1	0,1	2	0,01	-	Коэффициент приведения встречного напряжения
КС Фвст	град	0	-180	180	1	-	Угол приведения встречного напряжения
УС df	Гц	0,02	0,02	1	0,01	-0,01 Гц	Разность частот для активации УС
Tус	с	0,05	0,01	0,2	0,01	-	Время исполнения команды включения выключателя
Фмч	град	-45	-90	90	1	-	Угол максимальной чувствительности фазного реле направления мощности
Uвмб	В	80	10	100	0,01	1,05	Линейное напряжение возврата ВМБ
U2 вмб	В	5	5	25	0,01	0,95	Напряжение обратной последовательности возврата ВМБ
Uблок	В	20	20	80	0,1	1,05	Напряжение блокировки АЧР и ЧАПВ
3U0 макс 1	В	5	5	100	0,01	0,95	Уставка контроля наличия напряжения нулевой последовательности
3U0 макс 2	В	5	5	100	0,01	0,95	Уставка сигнализации по 3U0
Tозз сигн	с	1	0	100	0,01	-	Задержка срабатывания сигнализации по 3U0
3U0фр	В	80	5	120	0,01	0,95	Напряжение срабатывания защиты от феррорезонанса
Tфр	с	1	0	100	0,01	-	Задержка срабатывания защиты от феррорезонанса

Уставки алгоритма **«КЭП»**, задаваемые по току и напряжению, вводятся в устройство во вторичных величинах. Если расчет выполняется по первичным параметрам сети, перед заданием уставок рассчитанные значения должны быть приведены ко вторичным величинам по коэффициентам трансформации соответствующих ТТ и ТН.

2.2.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iмин»** следует выбирать по условию надежной фиксации протекания тока через выключатель в тех режимах, в которых для работы защит, автоматики и иных функций устройства должен сохраняться признак **«Наличие тока»**. При этом уставка **«Iмин»** должна быть ниже минимального рабочего тока присоединения. Расчетное значение рекомендуется определять по формуле:

$$Iмин = k_{зап} \cdot I_{раб.мин} \quad А \tag{2.27}$$

где

$k_{зап}$ – коэффициент запаса, принимаемый из диапазона 0,8–0,9

$I_{раб.мин}$ А минимальный рабочий ток присоединения, при котором должен сохраняться признак **«Наличие тока»**

Для двигательных присоединений, в которых не введены алгоритмы **«Тепловая модель»** и **«Ограничение количества пусков»**, значение уставки **«Iмин»** следует определять по формуле (2.27).

Для двигательных присоединений, в которых введен алгоритм **«Тепловая модель»**, а также, как правило, **«Ограничение количества пусков»**, значение уставки **«Iмин»** рекомендуется определять по формуле:

$$Iмин = k_{зап} \cdot I_{хх.дв} \quad А \tag{2.28}$$

где

$k_{зап}$ – коэффициент запаса, принимаемый из диапазона 0,8–0,9

$I_{хх.дв}$ А ток холостого хода двигателя

Такой выбор обусловлен тем, что в алгоритмах **«Тепловая модель»** и, как правило, **«Ограничение количества пусков»** признак **«Наличие тока»** используется для различия состояний работающего и остановленного двигателя, поэтому режим холостого хода не должен восприниматься как останов двигателя.

Расчет значения уставки **«Uш макс»** по условию отстройки от минимального рабочего напряжения на шинах следует выполнять по формуле [12, 162]:

$$Uш\ макс = \frac{U_{раб.мин}}{k_н \cdot k_в} \quad В \tag{2.29}$$

где

$U_{раб.мин}$ В минимальное рабочее линейное напряжение на шинах

$k_н$ – коэффициент надежности, принимаемый из диапазона 1,1–1,2

$k_в$ – коэффициент возврата для уставки **«Uш макс»**, принимается по таблице 2.6 или 2.7 в зависимости от устройства

При отсутствии данных для определения минимального рабочего напряжения на шинах значение уставки **«Uш макс»**, используемой для контроля наличия напряжения на смежной секции в алгоритме **«АВР»**, допускается предварительно принимать равным [9, 122]:

$$Uш\ макс = (0{,}8 - 0{,}85) \cdot U_{ном.лин} \quad В \tag{2.30}$$

где

$U_{ном}$ В номинальное линейное напряжение питающей сети по ГОСТ Р 57382-2017 [51]

При выполнении АВР с наличием электродвигателей на отключившейся секции для обеспечения их надежного самозапуска значение уставки **«Uш макс»** следует принимать не менее:

$$Uш\ макс \geq 0{,}9 \cdot U_{ном.лин} \quad В \tag{2.31}$$

При использовании сигналов алгоритма **«КЭП»** для контроля восстановления напряжения до выключателя ввода в алгоритме ВНР уставки контроля наличия напряжения следует выбирать с учетом 10.2.2.

Значение уставки **«Uш мин»** рекомендуется определять по формуле:

$$Uш\ мин = (0{,}05 - 0{,}2) \cdot U_{ном.лин} \quad В \tag{2.32}$$

При использовании в цикле ВНР сигналов алгоритма **«КЭП»** соответствующие уставки контроля напряжения следует выбирать с учетом 10.2.2, при этом уставку пуска ВНР **«Uвнр»** следует выбирать отдельно по 10.2.2.

Уставка **«Uвст макс»** определяется по аналогии с уставкой **«Uш макс»**, но по минимальному рабочему напряжению в точке подключения ТН или ТСН встречного источника. Расчет значения уставки **«Uвст макс»** по условию отстройки от минимального рабочего напряжения встречного источника следует выполнять по формуле [12, 162]:

$$Uвст\ макс = \frac{U_{вст.раб.мин}}{k_н \cdot k_в} \quad В \tag{2.33}$$

где

$U_{вст.раб.мин}$ В минимальное рабочее напряжение в точке подключения ТН (линейное) или ТСН (фазное) встречного источника

$k_н$ – коэффициент надежности, принимаемый из диапазона 1,1–1,2

$k_в$ – коэффициент возврата для уставки **«Uвст макс»**, принимается по таблице 2.6 или 2.7 в зависимости от устройства

Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** уставка **«Uвст макс»** имеет расширенный верхний диапазон задания до 220 В, тогда как для уставки **«Uш макс»** верхний предел составляет 100 В. Это обусловлено возможностью использования уставки

«Uвст макс» в алгоритме **«ВНР»** для контроля напряжения от ТСН 10(6)/0,4 кВ. В таких схемах контроль встречного напряжения может выполняться по фазному напряжению 220 В. При расчете данной уставки рекомендуется учитывать фактическую точку подключения цепей напряжения и выбранную контролируемую величину — линейное напряжение ТН либо фазное напряжение ТСН.

Уставка **«Uвст мин»**[1] принимается из условия надежной фиксации отсутствия напряжения со стороны линии. Контроль отсутствия напряжения на линии применяется в схемах/алгоритмах АПВ для предотвращения включения на линию, оставшуюся под напряжением с противоположного конца, в том числе при возможной подаче обратного напряжения в результате действия сетевых АВР [12, 162] либо для предотвращения включения на неотключенную с противоположного конца линию с повреждением.

Значение уставки **«Uвст мин»** рекомендуется определять по формуле:

$$\text{Uвст мин} = k_{отс} \cdot U_{ном} \quad \text{В} \tag{2.34}$$

где

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 0,05–0,20

$U_{ном}$ В номинальное вторичное напряжение, фактически контролируемое на входе **«Uвст»**: линейное напряжение ТН либо фазное напряжение ТСН

Значение уставки **«U2 макс»** рекомендуется выбирать по условию отстройки от напряжения небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений в нормальном режиме. Уставка **«U2 макс»** предназначена для фиксации появления напряжения обратной последовательности, характеризующего несимметричное повреждение или иной ненормальный режим сети, при котором требуется временный запрет действия автоматических функций и включения выключателя. В частности, сигнал по уставке **«U2 макс»** может использоваться в алгоритмах **«ЗМН»**, **«АВР»** и **«Включение выключателя»**, а также в алгоритме **«КЦН»** в тех исполнениях, где отсутствует отдельная уставка **«U2 кцн»**[2]. Значение уставки **«U2 макс»** рекомендуется принимать во вторичных величинах[3] в диапазоне:

$$\text{U2 макс} = 5 - 20 \quad \text{В} \tag{2.35}$$

Значение уставки **«3U0 макс 1»** рекомендуется выбирать по условию отстройки от напряжения небаланса на выходе разомкнутого треугольника ТН и от возможного появления напряжения нулевой последовательности при несимметричных коммутационных режимах, в том числе вследствие разновременности включения фаз выключателя при коммутациях элементов сети [129]. Данная уставка предназначена для фиксации появления напряжения нулевой последовательности, характеризующего ненормальный режим в первичной сети; поэтому ее допускается определять по аналогии с уставкой **«Uозз 1»** по формуле (3.233).

Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**, где функция защиты от феррорезонанса отсутствует, уставка **«3U0 макс 1»** может быть принята непосредственно по указанному условию как уставка контроля наличия напряжения $3U_0$.

В сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью при наличии ОЗЗ возможен феррорезонанс индуктивности ТН с емкостью сети. Феррорезонансные процессы при этом развиваются только в нулевой последовательности, а междуфазные напряжения остаются без изменения. Повреждениям от феррорезонанса подвержены только ТН с заземленной обмоткой ВН, контролирующие изоляцию сети относительно земли [129].

Феррорезонанс ТН с емкостью сети возможен в схемах, работающих с изолированной нейтралью, в следующих случаях: при самопроизвольном смещении нейтрали в схемах с малыми емкостными токами; при субгармоническом феррорезонансе в схемах с относительно небольшими емкостями коротких линий 6–35 кВ; при однофазных замыканиях на землю через перемежающуюся дугу[4]. При наличии ДГР в таких схемах феррорезонанс невозможен. Опасность феррорезонанса состоит в том, что в ТН возникают резонансные повышения напряжения и токи, приводящие к глубокому насыщению магнитопровода,

[1] Для устройства **«Алтей-БЗП»** контроль встречного напряжения применяется только при выборе конфигурации подключения цепей напряжения № 2 (уставка **«Схема ТН»** = 2) [148]

[2] Для устройства **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«КЦН»** используется отдельная уставка **«U2 кцн»**

[3] Уставку **«U2 макс»** рекомендуется задавать во вторичных величинах

[4] При ОЗЗ через перемежающуюся дугу в напряжениях фаз сети и ТН возникает постоянная составляющая, вызывающая насыщение магнитопровода ТН. Повторяющийся процесс заряда емкостей сети и их разряда через обмотки насыщенного ТН приводит к росту действующего значения тока через ТН и ускоряет его тепловое разрушение [129]

перегреву обмоток и разрушению ТН. При неполнофазных режимах феррорезонансные перенапряжения могут достигать величин, превышающих уровень изоляции электрооборудования; кроме того, повреждение ТН приводит к выходу из работы устройств релейной защиты. Наиболее эффективным мероприятием по повышению надежности работы ТН и ликвидации их повреждений является применение антирезонансных ТН [129].

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставку **«3U0 макс 1»** также допускается принимать по формуле (3.233), однако следует учитывать, что в этих устройствах она дополнительно используется как уставка возврата пускового органа защиты от феррорезонанса после снижения напряжения $3U_0$ ниже ее значения. Если функция защиты от феррорезонанса выведена, значение уставки **«3U0 макс 1»** следует выбирать по аналогии с уставкой **«Uозз 1»** по формуле (3.233). Если функция защиты от феррорезонанса введена, значение уставки **«3U0 макс 1»** и **«3U0фр»** рекомендуется выбирать совместно, с учетом логики работы защиты от феррорезонанса.

При введенной функции феррорезонанса уставку **«3U0 макс 1»** для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** целесообразно принимать на уровне, соответствующем режиму самопроизвольного смещения нейтрали, то есть режиму «ложной земли»[1]. Согласно СТО 56947007-29.240.10.191-2014 [129], при разновременности действия фаз выключателя в сети с изолированной нейтралью появляется напряжение нулевой последовательности, обычно составляющее 20…60 % от номинального; данный режим не сопровождается большими перенапряжениями и, как правило, не приводит к повреждениям ТН. В связи с этим при введенной функции защиты от феррорезонанса для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** значение уставки **«3U0 макс 1»** рекомендуется принимать согласно диапазону уставок реле KVo (реле контроля изоляции) схемы защиты от феррорезонанса:

$$3U0\ \text{макс}\ 1 = 20 - 30\ \ \text{В} \tag{2.36}$$

С учетом того, что режим «ложной земли» обычно не приводит к повреждениям ТН, а уставка срабатывания защиты должна соответствовать уже опасному режиму, значение уставки **«3U0фр»** рекомендуется принимать по возможности более высокой. В схеме защиты от феррорезонансных процессов для реле KVф-РН-53/200 (пороговый элемент контроля ФРП) указан диапазон уставок 135…140 В [129]. Поскольку в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** диапазон уставки **«3U0фр»** ограничен значением 5…120 В, уставку **«3U0фр»** целесообразно принимать равной 120 В, то есть по верхней границе диапазона:

$$3U0\text{фр} = 120\ \ \text{В} \tag{2.37}$$

Антирезонансные ТН типа НАМИТ-10-2, НАЛИ-СЭЩ-6(10) и ряд других типов антирезонансных ТН содержит трансформатор нулевой последовательности (ТНП), вторичная обмотка которого в нормальном режиме замкнута; при появлении феррорезонанса обмотка, замкнутая в треугольник, размыкается автоматически. Антирезонансные свойства достигаются введением в первичную цепь, связанную с землей, индуктивного сопротивления в виде ТНП, причем введение этого сопротивления выполняется путем дешунтирования его вторичной обмотки с помощью схемы РЗА [142][2]. Поэтому выход устройства **«Феррорезонанс на сигн.»** в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** может быть использован, в частности, для управления схемой дешунтирования вторичной обмотки ТНП антирезонансных ТН.

Значение уставки **«3U0 макс 2»** рекомендуется выбирать по условию отстройки от напряжения небаланса на выходе разомкнутого треугольника ТН и от возможного ложного появления напряжения нулевой последовательности, не связанного с повреждением защищаемого присоединения. По своему назначению уставка **«3U0 макс 2»** предназначена для формирования сигнализации появления однофазного замыкания на землю в сети по напряжению нулевой последовательности; поэтому ее допускается определять по аналогии с уставкой **«Uозз 1»** по формуле (3.233).

Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** уставка **«Тозз»** является задержкой срабатывания сигнализации по $3U_0$, поэтому при использовании функции на сигнал ее следует принимать по аналогии с уставкой **«Тозз 1»**, то есть по формуле (3.235). При использовании данной функции на отключение значение уставки следует выбирать по аналогии с уставкой **«Тозз 1 откл»**, то есть по формуле (3.237).

---

[1] Согласно СТО 56947007-29.240.10.191-2014 [129], режим «ложной земли» — это феррорезонанс ТН с емкостью ненагруженных шин на частоте 50 Гц, возникающий из-за разновременности включения фаз выключателя при коммутациях элементов сети и, как правило, не приводящий к повреждениям ТН.

[2] Принцип дешунтирования вторичной обмотки ТНП для подавления феррорезонанса соответствует техническому решению по А.с. СССР № 1319158, H02H 9/04, «Устройство для защиты от резонансных перенапряжений трансформатора напряжения в сети с изолированной нейтралью» / Ю.А. Степанов, А.П. Кузнецов, М.Н. Игнатьев // Открытия. Изобретения. 1987. № 23

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставка **«Тозз сигн»** является задержкой срабатывания сигнализации по $3U_0$, поэтому при использовании функции на сигнал ее следует принимать по аналогии с уставкой **«Тозз 1»**, то есть по формуле (5.123). При использовании данной функции на отключение значение уставки следует выбирать по аналогии с уставкой **«Тозз 1 откл»**, то есть по формуле (5.124).

Значение уставки **«Тфр»** рекомендуется выбирать минимально возможным, но достаточным для отстройки от кратковременных коммутационных режимов, при которых возможно кратковременное повышение напряжения $3U_0$. Согласно главе 4 СТО 56947007-29.240.10.191-2014 [129], при разновременности действия фаз выключателя в сети с изолированной нейтралью возникает напряжение нулевой последовательности, и возможны как затухание колебаний с возвратом сети в нормальный режим, так и переход к устойчивому феррорезонансному процессу. Поэтому отстройку от кратковременных коммутационных повышений $3U_0$ следует обеспечивать именно выдержкой времени **«Тфр»**, а не завышением уставки **«3U0 макс 1»**. Дополнительно МУ 34-70-163-87 [88] устанавливают, что устройство фиксации и подавления феррорезонанса должно воздействовать на ТН только при возникновении феррорезонансного процесса, а время от момента фиксации феррорезонанса до начала воздействия на ТН должно быть не более 0,1 с; полное время подавления феррорезонанса должно быть не более 1 с. С учетом этого для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставку **«Тфр»** рекомендуется принимать, как правило:

$$\text{Тфр} = 0{,}1\ [\text{с}] \tag{2.38}$$

Такое значение уставки обеспечивает отстройку от кратковременных коммутационных всплесков напряжения $3U_0$ и одновременно соответствует требованиям к быстродействию противоферрорезонансного устройства.

Значение уставки **«f макс»**[1] рекомендуется выбирать по условию контроля частоты, близкой к номинальной, при которой в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** формируется сигнал **«f есть»** и обеспечивается возможность его использования в логике алгоритма **«АВР»** при формировании сигнала **«Готов к АВР»**. Номинальная частота в энергосистеме составляет 50 Гц, а требования к регулированию частоты установлены ГОСТ Р 55890—2013 [49]; при этом в соответствии с ГОСТ Р 58335—2018, п. 6.3 [52] не допускается восстановление электроснабжения действием АВР со стороны энергорайона со сниженной частотой, если не выполнены специальные условия блокировки. С учетом этого значение уставки **«f макс»** рекомендуется принимать равным:

$$\text{f макс} = 49{,}98\ \ \text{Гц} \tag{2.39}$$

При необходимости значение уставки допускается уточнять исходя из фактических колебаний частоты в рассматриваемой сети и принятой логики работы АВР.

При использовании уставки **«f макс»** для формирования готовности АВР и контроля наличия частоты на резервном источнике питания ее выбор следует выполнять также с учетом требований 10.1.2.

Контроль синхронизма может использоваться как при оперативном включении линии с двусторонним питанием, так и при АПВ линии с контролем наличия напряжения на шинах и на линии; в схемах синхронизации генераторов контроль синхронизма применяется для блокирования включения выключателя при ошибочных действиях персонала. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** сигнал **«Uш/Uвст синхронны»** формируется алгоритмом **«КЭП»**[2] и используется в алгоритме **«Включение выключателя»** для устройств **«Алтей»** и в алгоритме **«Включение»** для устройств **«Лютик-Плюс»**.

[1] Несмотря на наименование **«f макс»**, в алгоритме **«КЭП»** данная уставка используется не как уставка защиты от повышения частоты, а как порог формирования признака наличия частоты «f есть»

[2] В устройстве **«Лютик-Плюс»** отдельный алгоритм **«КЭП»** не выделяется; функции контроля электрических параметров, в том числе связанные с контролем синхронизма, используются в алгоритме **«Включение»**.

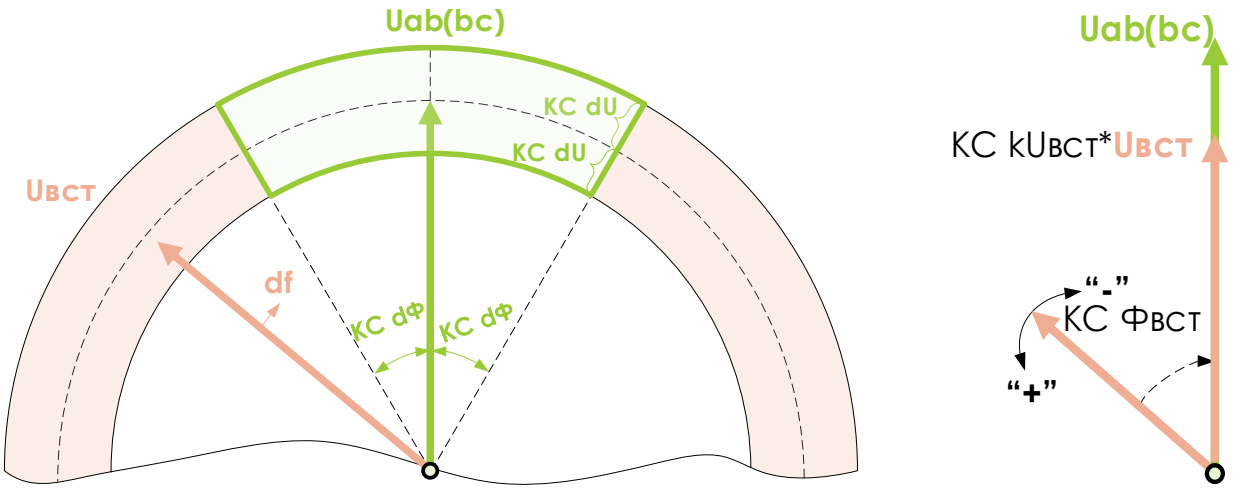


Рисунок 2.2. Контроль синхронизма: а) – логика уставок по амплитуде фазе и частоте; б) логика приведения встречного напряжения к напряжению на шинах.

Условия синхронизма считаются выполненными, если все три контролируемых параметра, задаваемые уставками **«КС dU»**, **«КС df»** и **«КС dФ»** одновременно находятся в пределах нормы, что иллюстрируется логикой, приведенной на рисунке 2.2, а.

Значение уставки **«КС dU»** рекомендуется принимать не более допустимой разности действующих значений сравниваемых напряжений:

$$КС\ dU \le \Delta U_{доп}\ \ В \tag{2.40}$$

где

$\Delta U_{доп}$ В допустимая разность действующих значений контролируемых напряжений

При отсутствии детальных расчетов допускается ориентировочно принимать:

$$КС\ dU = (0{,}1 - 0{,}2) \cdot U_{ном}\ \ В \tag{2.41}$$

где

$U_{ном}$ В номинальное напряжение, принимаемое за базовое при контроле синхронизма. Для устройств **«Алтей»**, а также **«Лютик-Плюс»** $U_{ном}$ следует принимать по базовому напряжению сравнения, к которому уставками **«КС kUвст»** и **«КС Фвст»** приводится встречное напряжение. Выбор линейного либо фазного напряжения должен обосновываться принятой схемой подключения цепей напряжения и расчетом указанных уставок приведения

Значение уставки **«КС df»** рекомендуется принимать не более допустимой разности частот:

$$КС\ df \le \Delta f_{доп}\ \ Гц \tag{2.42}$$

где

$\Delta f_{доп}$ Гц допустимая разность частот контролируемых напряжений, принимается равной:

- 0,05 – для наиболее ответственных схем, к которым предъявляются повышенные требования по контролю синхронизма
- 0,1 – для случаев, допускающих большое время АПВ
- 0,2 – для случаев, когда допустима большая разность частот

Такой выбор значения уставки **«КС df»** обусловлен тем, что при увеличении времени АПВ при одной и той же разности частот относительный угол между сравниваемыми напряжениями изменяется сильнее, поэтому для случаев с большим временем АПВ уставка по Δf должна приниматься с меньшим допустимым значением, а для случаев с малым временем АПВ допустима большая разность частот. В частности, в описании АПВОС [12, 16] отмечено, что при недопустимо большой разности частот схема ожидает восстановления синхронизма либо снижения разности частот до значения, при котором замыкание линии не вызывает асинхронного хода и большого толчка тока.

Значение уставки **«КС dФ»** рекомендуется принимать не более допустимой разности фаз:

$$КС\ d\Phi \le \Delta\varphi_{доп}\ \ град \tag{2.43}$$

где

$\Delta\varphi_{доп}$ град максимально допустимой разности фаз контролируемых напряжений

При отсутствии детальных расчетов допускается ориентировочно принимать:

$$КС\ d\Phi = 10 - 30\ \ град \tag{2.44}$$

Уставки **«КС kUвст»** и **«КС Фвст»** предусмотрены только для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** и предназначены для приведения встречного напряжения к напряжению на шинах по амплитуде и по углу соответственно (рисунок 2.2, б). Необходимость такого приведения может возникать, например, при использовании однофазного ТН со стороны линии, а также в случаях, когда один из ТН — шинный — установлен на стороне НН силового трансформатора, а другой — на стороне ВН, вследствие чего контролируемые напряжения отличаются не только по модулю, но и по фазе. В последнем случае приведение позволяет компенсировать угловой сдвиг, обусловленный группой соединения силового трансформатора. В классических схемах ТАПВ-КС аналогичные задачи решаются за счет согласования входов и компенсации угловых погрешностей; для устройства АПВ типа ПДЭ-2004.01 отдельно рассмотрен случай использования ТН шин, установленного с низкой стороны силового трансформатора [84].

Приведенное встречное напряжение рекомендуется определять по выражению[1]:

$$\underline{U}_{вст.пр} = k_{U.вст} \cdot \underline{U}_{вст} \cdot e^{j\frac{\pi \cdot \Phi_{вст}}{180}} \tag{2.45}$$

где

$\underline{U}_{вст.пр}$ В вектор встречного напряжения после приведения

$k_{U.вст}$ — коэффициент приведения встречного напряжения, определяемый уставкой **«КС kUвст»**

$\underline{U}_{вст}$ В вектор встречного напряжения до приведения

$\Phi_{вст}$ град угол приведения встречного напряжения, определяемый уставкой **«КС Фвст»**

Значение уставки **«КС kUвст»** рекомендуется выбирать по условию равенства базового номинального напряжения со стороны шин и приведенного номинального встречного напряжения после приведения:

$$КС\ kUвст = k_{U.вст} = \frac{U_{ш.баз}}{U_{вст}} \tag{2.46}$$

где

$U_{ш.баз}$ В базовое номинальное напряжение со стороны шин, принятое опорным при контроле синхронизма

$U_{вст}$ В встречное номинальное напряжение до приведения

Если на оба входа устройства подаются одноименные напряжения с одинаковыми номинальными вторичными значениями, следует принимать:

$$КС\ kUвст = 1 \tag{2.47}$$

При использовании линейного напряжения на шинах и фазного напряжения со стороны линии значение уставки рекомендуется определять по формуле:

$$КС\ kUвст = \frac{U_{лин.ш}}{U_{ф.вст}} \tag{2.48}$$

где

$U_{лин.ш}$ В линейное напряжение со стороны шин

$U_{ф.вст}$ В фазное встречное (в частности, со стороны линии)

Значение уставки **«КС Фвст»** рекомендуется выбирать по условию компенсации углового сдвига между напряжением на шинах и встречным напряжением до приведения:

$$КС\ Фвст = \Phi_{вст} = \varphi_{ш.баз} - \varphi_{вст}\ \ град \tag{2.49}$$

где

$\varphi_{ш.баз}$ град угол базового напряжения со стороны шин

$\varphi_{вст}$ град угол встречного напряжения, поданного на вход устройства

[1] Значение уставки **«КС Фвст»** принимается в электрических градусах; множитель π/180 в формуле нужен только для записи угла в экспоненциальной форме комплексного числа

Если расхождение по углу базового и встречного напряжений обусловлено группой соединения силового трансформатора и принятой схемой подключения ТН, значение уставки **«КС Фвст»** рекомендуется определять по выражению:

$$\text{КС Фвст} = -(\varphi_{\text{гр}} + \varphi_{\text{сх}}) \ \text{град} \tag{2.50}$$

где

$\varphi_{\text{гр}}$	град	угол, обусловленный группой соединения силового трансформатора; при сравнении напряжений, измеренных по разным сторонам одного и того же силового трансформатора, $\varphi_{\text{гр}}$ принимается равным фазовому сдвигу между соответствующими напряжениями. Модуль этого угла определяется векторной группой трансформатора и, как правило, кратен 30°; например, для трансформатора группы У/Д-11 данный угол составляет 30°. Необходимость учета такого угла возникает, в частности, в случаях, когда для цепей контроля синхронизма используется ТН шин, установленный со стороны НН силового трансформатора, а сравнение выполняется с напряжением, измеренным по стороне ВН [79, 84].
$\varphi_{\text{сх}}$	град	дополнительный угол, обусловленный принятой схемой сравнения напряжений, то есть выбором конкретных напряжений, подаваемых на входы контроля синхронизма, эл. град. Например, при сравнении линейного напряжения U_{ab} со стороны шин с фазным напряжением U_a со стороны линии величина данного угла составляет 30°

Для группы соединения силового трансформатора У/Д-11 знак уставки **«КС Фвст»** следует определять по фактической векторной диаграмме, принятой полярности цепей напряжения и направлению отсчета угла в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**.

Уставка **«КС df»** используется для проверки статического условия синхронизма при контроле допустимой разности частот между напряжениями шин и встречного источника. Уставка **«УС df»** используется для разрешения режима улавливания синхронизма с учетом времени опережения включения выключателя.

При использовании сигнала **«Uш/Uвст синхронны»** для разрешения включения выключателя ввода в цикле ВНР уставки контроля синхронизма следует выбирать также с учетом 10.2.2.

Улавливание синхронизма рекомендуется применять для АПВ линий, отключение которых сопровождается нарушением синхронной работы частей системы вследствие отсутствия шунтирующих связей или недостаточной пропускной способности последних. В этом случае импульс на включение выключателя должен выдаваться только в определенном диапазоне разности частот и с опережением момента совпадения фаз, что обеспечивает «улавливание» благоприятного момента включения [12, 16].

Значение уставки **«УС df»** рекомендуется выбирать по условию, чтобы за время исполнения команды на включение выключателя изменение угла между контролируемыми напряжениями не превышало допустимого значения угла включения:

$$\Delta\delta = 360 \cdot \Delta f \cdot T_{\text{ус}} \ \text{град} \tag{2.51}$$

$$\text{УС df} = \Delta f_{\text{доп}} \le \frac{\delta_{\text{доп}}}{360° \cdot T_{\text{ус}}} \ \text{Гц} \tag{2.52}$$

где

$\Delta\delta$	град	изменение угла между сравниваемыми напряжениями за время исполнения команды включения
Δf	Гц	разность частот контролируемых напряжений
$T_{\text{ус}}$	с	время исполнения команды включения выключателя, определяемое уставкой **«Тус»**; определяется по формуле (2.54)
$\delta_{\text{доп}}$	град	допустимый угол включения

Такая зависимость соответствует классическому принципу АПВУС[1], при котором при максимально допустимом скольжении угол к моменту замыкания контактов выключателя не должен выходить за пределы допустимого угла включения [12, 16].

При ориентировочных расчетах значение допустимого угла включения $\delta_{\text{доп}}$ допускается принимать равным 90°. В этом случае общая формула выбора уставки **«УС df»** упрощается и принимает вид:

$$\text{УС df} < \frac{1}{4 \cdot T_{\text{ус}}} \ [\text{Гц}] \tag{2.53}$$

[1] АПВ с улавливанием синхронизма

В режиме улавливания синхронизма уставку **«Тус»** следует трактовать как время опережения включения, то есть время от момента выдачи устройством команды на включение до момента фактического замыкания главных контактов выключателя. Значение уставки рекомендуется определять по формуле:

$$Тус = Т_{вкл} + Т_{вых.реле}\ [с] \quad (2.54)$$

где

$Т_{вкл}$ с собственное время включения выключателя, определяемое по паспортным данным или по результатам фактических замеров

$Т_{вых.реле}$ с время срабатывания выходных реле в цепи включения выключателя

Значения уставок **«Фмч»**, **«Uвмб»** и **«U2 вмб»** в настоящем разделе отдельно не рассчитываются. Расчет указанных уставок следует выполнять при расчете уставок максимальной токовой защиты с пуском по напряжению в соответствии с разделом 3.8.5; при этом значение уставки **«Фмч»** определяется в соответствии с разделом 3.9.2, а расчет значений уставок **«Uвмб»** и **«U2 вмб»** – по соответствующим положениям раздела 3.8.5.

Значение уставки **«Uблок»** рекомендуется принимать по условию блокирования АЧР и ЧАПВ при глубоком снижении напряжения. Согласно ГОСТ Р 59232-2020, п. 4.8 [54], устройство АЧР не должно срабатывать при потере цепей напряжения. В связи с этим уставку **«Uблок»** рекомендуется определять по формуле:

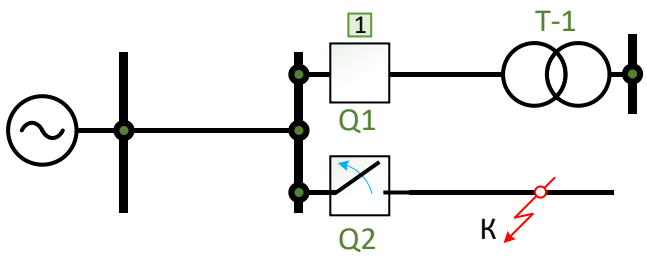
$$Uблок = (0{,}1 - 0{,}2) \cdot U_{ном}\ [В] \quad (2.55)$$

Значение уставки **«ИПБ Iф»** следует выбирать с учетом того, что при расчете уставок токовых защит раздела 3, прежде всего токовой отсечки, должна выполняться отстройка от броска тока намагничивания силовых трансформаторов. Учет БТН приводит к увеличению тока срабатывания ТО и, при необходимости, может учитываться также при выборе отдельных ступеней МТЗ. Поэтому в ряде случаев при наличии соответствующей функции в устройстве РЗА целесообразно применять блокировку ТО и/или МТЗ по относительному содержанию второй гармонической составляющей тока [68, 71, 175]. При этом уставка **«ИПБ Iф»** задает значение информационного признака блокировки – доли второй гармонической составляющей фазного тока, повышение которой рассматривается как эффективный признак наличия или появления БТН. Вместе с тем значение уставки **«ИПБ Iф»** не может быть задано однозначно расчетным путем, поскольку доля второй гармонической составляющей при БТН не является постоянной величиной и зависит от начальных условий возникновения БТН: момента включения трансформатора относительно фазы напряжения, неодновременности замыкания фаз выключателя, способа включения выключателя, уровня остаточной магнитной индукции сердечника, эквивалентного сопротивления питающей системы, а также параметров трансформатора. Некоторые характерные случаи возникновения БТН приведены на рисунке 2.3. Практический опыт и современные исследования показывают, что содержание второй гармоники при БТН может быть ниже уровня 20 % и в отдельных случаях снижаться до 5–7 %, а поэтому уставку целесообразно уточнять по осциллограммам включения конкретного трансформатора или группы трансформаторов [71, 185, 194, 196].

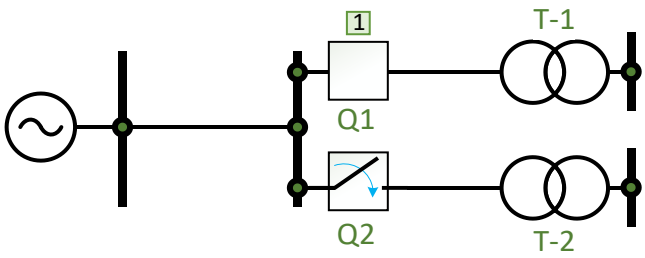
При отсутствии осциллограмм или расчета предельных видов БТН в качестве начального значения уставки **«ИПБ Iф»** рекомендуется принимать [185]:

$$ИПБ\ Iф = 0{,}15\ [о.е.] \quad (2.56)$$

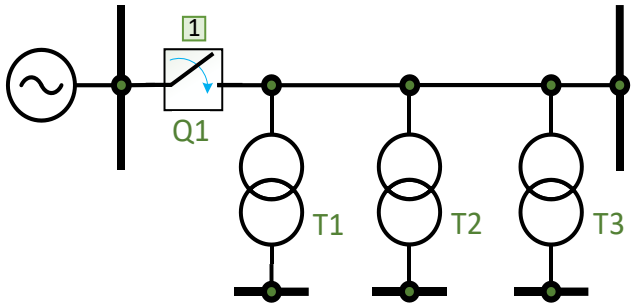
Применение блокировки ТО и/или МТЗ по второй гармонике требует обоснованного выбора уставки; при наличии осциллограмм БТН конкретного трансформатора или группы трансформаторов, присоединенных к защищаемой линии, целесообразность ее применения возрастает. Если по условиям чувствительности возможно выполнить отстройку ТО1 от БТН расчетным путем, такую отстройку рекомендуется выполнять по п. 3.4. При применении блокировки по второй гармонике рекомендуется по возможности вводить ТО2 с выдержкой времени по п. 3.6, обеспечивающей отстройку от БТН.



а)



б)



в)

Рисунок 2.3. Условия, приводящие к возникновению БТН: а) – отключение внешнего КЗ на соседней линии; б) включение соседнего силового трансформатора (индуцированный БТН); в) включение линии с трансформаторами ответвлений

3 ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ

3.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В распределительных сетях напряжением 6–35 кВ токовые защиты от междуфазных КЗ относятся к наиболее массовым и в большинстве случаев используются в качестве основных защит присоединений от многофазных КЗ.

В соответствии с ПУЭ [100, п. 3.2.101, п. 3.2.102] на одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий должны предусматриваться преимущественно ступенчатые защиты тока или ступенчатые защиты тока и напряжения; при этом в качестве дополнительной защиты рекомендуется использовать токовую отсечку без выдержки времени. Для одиночных линий, имеющих питание с двух или более сторон, рекомендуется применять те же защиты, что и на линиях с односторонним питанием, выполняя их при необходимости направленными.

В классической теории релейной защиты токовые защиты подразделяются на максимальные токовые защиты и токовые отсечки. Основное различие между ними заключается в преобладающем способе обеспечения селективности: для МТЗ селективность, как правило, обеспечивается согласованием выдержек времени смежных защит, а для ТО — соответствующим выбором тока срабатывания [2, 156, 158]. Вместе с тем ТО могут выполняться как без выдержки времени, так и с выдержкой времени.

При расчете уставок ТО и МТЗ в настоящем разделе под смежным элементом понимается электрически связанный с рассматриваемым присоединением элемент сети, с защитами которого должно быть обеспечено согласование по току и (или) по времени. Конкретное направление согласования определяется расчетной схемой.

При применении настоящей Методики для объектов, на которые распространяются отраслевые нормативные документы эксплуатирующей организации, окончательный состав защит, действие на сигнализацию или отключение и предельные значения выдержек времени должны уточняться с учетом требований указанных документов.

Ступенчатые токовые защиты от междуфазных КЗ реализуются в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритмах **«Токовая отсечка»** (**«ТО»**) и **«Максимальная токовая защита»** (**«МТЗ»**), защита от перегрузки реализуется в алгоритме **«Защита от перегрузки»** (**«ЗП»**). Основные характеристики указанных алгоритмов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Алгоритмы «Токовая отсечка», «Максимальная токовая защита» и «Защита от перегрузки»

	ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
ТО	Число ступеней	2	2	2	2	2
	Работа по мгновенным значениям	–	+ (ТО1)	+ (ТО1)	+ (ТО1)	+ (ТО1)
	Работа по действующим значениям	+	+	+	+	+
	Направленность	–	+	+	+	+
	Блокировка по 2-й гармонике	–	средствами ГЛ	средствами ГЛ	+	+
	Выдержка времени	ТО2	+	+	+	+
МТЗ	Число ступеней	1	2	2	2	2
	Направленность	–	+	+	+	+
	Пуск по напряжению (ВМБ)	–	+	+	+	+
	Блокировка по 2-й гармонике	–	+	+	+	+
	Загрубление при включении	–	+	+	+	+
	Зависимая ВТХ	+	+	+	+	+
	Ускорение при включении	+	+	+	+	+
ЗП	Число ступеней перегрузки	1	2	2	1	1
	Число ступеней разгрузки	–	2	2	2	2
	Зависимая ВТХ	–	+	+	+	+
	Контролируемая величина[1]	ДПФ	ДПФ/СКЗ/ВГ	ДПФ/СКЗ/ВГ	ДПФ	ДПФ

При выборе и расчете уставок указанных защит должны учитываться состав реализованных ступеней и дополнительные функции конкретного устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**: зависимая ВТХ, ускорение, вольтметровая блокировка, контроль

[1] ДПФ – действующее значение тока основной (первой) гармоники. СКЗ – среднеквадратическое значение тока. ВГ – сумма высших гармонических составляющих тока; в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при выборе контролируемой величины **«ВГ»** используются высшие гармоники фазных токов со 2-й по 13-ю.

направления мощности и иные предусмотренные РЭ возможности. В подразделах **3.4**–**3.8.6** приведен расчет уставок ТО и МТЗ в основных вариантах исполнения, в подразделах **3.9**–**3.10.3** – особенности выбора уставок для линий с двусторонним питанием, вводного и секционного выключателей 6–35 кВ, силовых трансформаторов высшим напряжением 6–35 кВ и батарей статических конденсаторов, а в подразделах **3.11**, **3.12**, **3.14**–**3.15** – расчет уставок логической защиты шин, защиты от дуговых замыканий, защиты от обрыва фазы и несимметрии нагрузки, а также защиты от однофазных замыканий на землю и токовой защиты нулевой последовательности.

В зависимости от схемы подключения ТТ в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в качестве тока фазы В может использоваться:

- измеренное значение тока, если ТТ соединены по схеме «полной звезды» или по схеме «неполной звезды» с подключением нулевого провода;
- вычисленное значение, определяемое по токам фаз А и С – в случае соединения ТТ по схеме «неполной звезды» без нулевого провода (с установкой только двух ТТ).

Таким образом, при подключении ТТ по схеме «неполная звезда» токовые защиты в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** при оценке чувствительности следует рассматривать как трехрелейную схему с контролем трех фазных токов.

При дальнейшем рассмотрении условий согласования уставок токовых защит используются термины, характеризующие взаимное расположение смежных элементов, а также обозначения, применяемые в формулах согласования. Для пояснения взаимного расположения смежных элементов и используемых далее по тексту терминов «предыдущий», «последующий», «нижестоящий» и «вышестоящий» на рисунке 3.1 приведена расчетная схема.

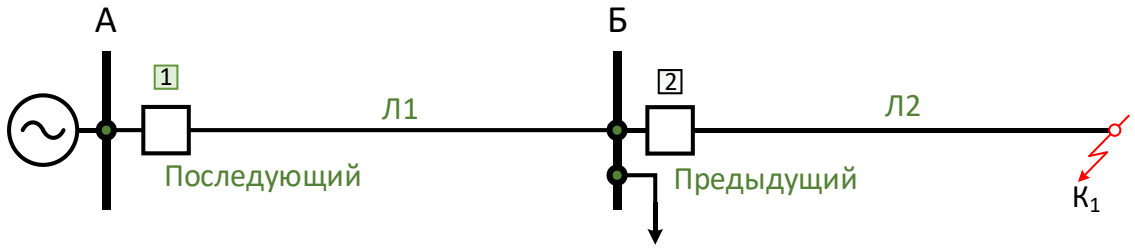


Рисунок 3.1. Расчетная схема для пояснения терминов «предыдущий», «последующий», «нижестоящий» и «вышестоящий»

На рисунке 3.1 применительно к рассматриваемой защите 1 линии Л1 защита 1 является последующей (вышестоящей), а защита 2 линии Л2 – предыдущей (нижестоящей).

Предыдущим следует называть элемент, расположенный дальше от источника питания, а последующим – элемент, расположенный ближе к источнику питания. Предыдущий элемент допустимо также называть нижестоящим, а последующий – вышестоящим. В дальнейшем указанные термины следует считать равнозначными.

Указанные термины используются далее при рассмотрении условий согласования уставок токовых защит смежных элементов.

Для пояснения обозначений n и N, используемых далее в формулах согласования уставок токовых защит, на рисунке 3.2 приведена расчетная схема.

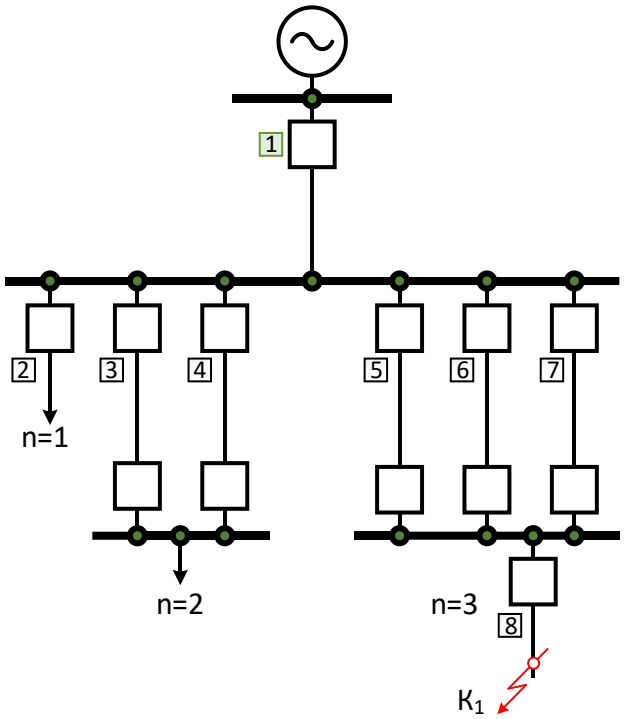


Рисунок 3.2. Расчетная схема с параллельно работающими элементами (2–7), для пояснения обозначений n и N в формулах согласования уставок токовых защит

На рисунке 3.2 через n обозначено число предыдущих элементов, с защитами которых выполняется согласование, а через N – общее число предыдущих элементов, ток нагрузки которых может протекать через рассматриваемую последующую защиту. Соответственно, N–n обозначает число предыдущих элементов, с защитами которых согласование в рассматриваемом случае не выполняется.

3.2 КОЭФФИЦИЕНТ НАДЕЖНОСТИ СОГЛАСОВАНИЯ

При расчете уставок токовых защит по условиям согласования со смежными защитами следует использовать коэффициент надежности согласования $k_{нс}$, учитывающий погрешности работы реле, микропроцессорных устройств (терминалов) РЗА, ТТ а также погрешности задания уставок [**163**].

Значение коэффициента надежности согласования рекомендуется принимать по таблице 3.2.

Таблица 3.2. Рекомендуемые значения коэффициента надежности согласования для токовых защит

ЗАЩИТА, С КОТОРОЙ ВЫПОЛНЯЕТСЯ СОГЛАСОВАНИЕ	ЗНАЧЕНИЕ $K_{НС}$
Устройства «Алтей» или «Лютик», другие микропроцессорные терминалы и устройства РЗА, а также защиты на реле типа РТ-40, РСТ и аналогичных им	1,1
Защиты на реле прямого действия типа РТВ	1,3–1,4
Защитные аппараты стороны 0,4 кВ с защитой от перегрузки: автоматические выключатели с тепловыми, электронными или микропроцессорными расцепителями, предохранители	1,3–1,4[1]

Приведенные в таблице 3.2 значения коэффициента надежности согласования являются общими рекомендуемыми. Если для конкретной функции или расчетного случая в соответствующем подразделе настоящей Методики прямо указано иное значение коэффициента, следует применять это значение.

3.3 СТУПЕНЬ СЕЛЕКТИВНОСТИ ТОКОВЫХ ЗАЩИТ

Согласно Приказу Минэнерго № 546 [**145**] выдержка времени – преднамеренная задержка исполнения алгоритма (части алгоритма) функционирования устройства релейной защиты и автоматики. В классической литературе и нормативно-технических документах преимущественно применяется термин «выдержка времени». В руководствах по эксплуатации

[1] При наличии в документации на защитный аппарат диапазона срабатывания в расчет следует принимать верхнюю границу указанного диапазона

устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** для соответствующих уставок, как правило, используется термин «задержка срабатывания». В настоящей Методике указанные термины рассматриваются как эквивалентные; при этом термин «задержка срабатывания» применяется преимущественно при описании конкретных уставок устройств **«Алтей»** и **«Лютик»**.

Для обеспечения селективности времена срабатывания (выдержки времени) токовых защит выбираются по ступенчатому принципу, в соответствии с которым время срабатывания последующей защиты принимается на ступень селективности больше времени срабатывания предыдущей защиты. Ступень селективности должна выбираться таким образом, чтобы при КЗ на предыдущем элементе сети защита последующего элемента не успевала сработать. Значение ступени селективности определяется типом согласуемых защит, характеристиками выключателя и точностью работы органов выдержки времени [156, 158, 163, 175].

Расчетное значение ступени селективности для устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** рекомендуется определять по формуле:

$$\Delta t = t_{откл.пред} + \Delta t_{погр.пред} + \Delta t_{погр.послед} + t_{доп.в.послед} + t_{зап} \quad (3.1)$$

где

$t_{откл.пред}$ – полное время отключения выключателя предыдущего элемента до прекращения тока КЗ, включающее собственное время выключателя и время действия цепи отключения, в том числе промежуточного реле или контактора, если действие на электромагнит отключения выключателя производится через него

$\Delta t_{погр.пред}$ – абсолютное значение максимально возможного отклонения времени срабатывания предыдущей защиты в сторону замедления ее действия, принимаемое по пределу допускаемой основной погрешности по времени срабатывания, указанному в РЭ соответствующего устройства[1]

$\Delta t_{погр.послед}$ – абсолютное значение максимально возможного отклонения времени срабатывания последующей защиты в сторону ускорения ее действия, принимаемое по пределу допускаемой основной погрешности по времени срабатывания, указанному в РЭ соответствующего устройства[2]

$t_{доп.в.послед}$ – дополнительное время, учитывающее возможность излишнего действия последующей защиты после отключения внешнего КЗ; для электромеханических защит с зависимой характеристикой времени данная величина принимается равной времени инерционной ошибки защиты, а для микропроцессорных устройств — времени возврата последующей защиты

$t_{зап}$ – время запаса, принимаемое равным 0,1 с согласно СРМ [119]

Принимаемая ступень селективности должна быть не менее расчетного значения, определенного по формуле (3.1). Для ориентировочного выбора и в качестве типовых принимаемых значений ступени селективности для устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** при согласовании с различными типами защит следует использовать значения, приведенные в таблице 3.3. При этом значение, принимаемое по таблице 3.3 [158, 163, 175], не должно быть меньше расчетного значения, определенного по формуле (3.1).

Таблица 3.3. Рекомендуемая ступень селективности для токовых защит

ЗАЩИТА, С КОТОРОЙ ВЫПОЛНЯЕТСЯ СОГЛАСОВАНИЕ	СТУПЕНЬ СЕЛЕКТИВНОСТИ, С
Устройства «Алтей» или «Лютик»	0,3
Другие микропроцессорные терминалы и устройства РЗА	0,3
Устройства «Алтей», «Лютик» или другие микропроцессорные терминалы и устройства РЗА при обоснованном уменьшении ступени селективности[3]	менее 0,3, но не ниже 0,2
Защиты с применением реле типа РВ и ЭВ	0,4
Защиты с применением реле времени типа РВМ-12 и РВМ-13	0,5÷0,6
Предыдущая защита, выполненная без реле времени (например, ТО и др.)	0,3
Полупроводниковые (статические) реле типа РВ-01, ЯРЭ и др.	0,3÷0,4
Электромеханические реле, имеющие зависимую выдержку времени типа РТ-80, РТ-90	0,6

[1] Для нижестоящей защиты учитывается наихудшее по условию селективности отклонение времени срабатывания в сторону его увеличения

[2] Для вышестоящей защиты учитывается наихудшее по условию селективности отклонение времени срабатывания в сторону его уменьшения

[3] Уменьшение ступени селективности допускается при наличии соответствующего обоснования, в том числе при применении быстродействующих выключателей и согласуемых защит с высокой точностью и стабильностью по времени срабатывания

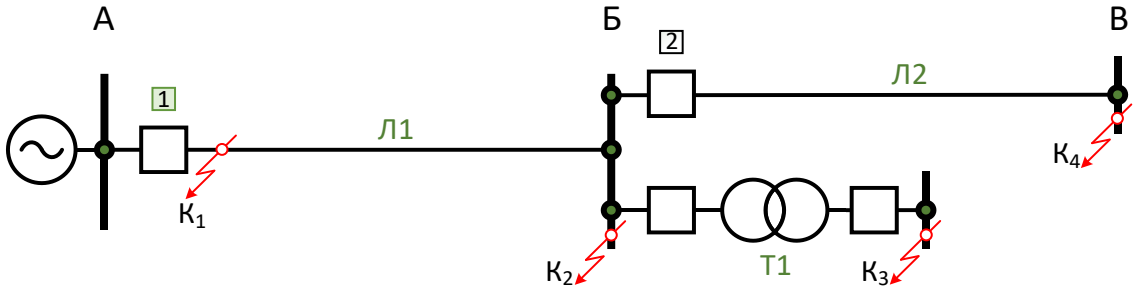
Реле тока с ограниченно зависимой выдержкой времени типа РТВ	0,8
Плавкая вставка предохранителя	как правило, 0,3…0,5

3.4 ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА, ПЕРВАЯ СТУПЕНЬ (БЕЗ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ)

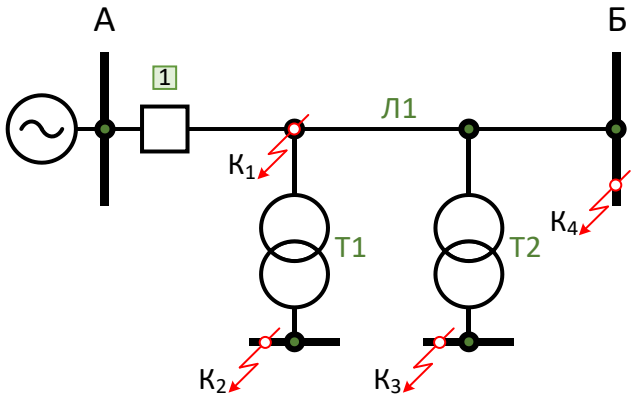
3.4.1 Общие сведения

Первая ступень ТО представляет собой быстродействующую токовую защиту от междуфазных КЗ без выдержки времени, имеющую ограниченную зону действия. В учебной литературе такую защиту, как правило, называют мгновенной токовой отсечкой или отсечкой без выдержки времени [2, 63, 158]. Зона действия первой ступени ТО, как правило, ограничивается участком защищаемого присоединения до ближайшего элемента, за пределами которого требуется обеспечить селективность с защитами смежных элементов.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** для первой ступени ТО наряду с традиционной реализацией по действующему значению тока может использоваться работа по мгновенным значениям тока. Работа первой ступени ТО по мгновенным значениям тока может быть целесообразна для повышения быстродействия защиты, в частности на присоединениях, отходящих от шин мощных центров питания, при больших токах КЗ, значительной апериодической составляющей и сравнительно малом коэффициенте трансформации ТТ, когда возможно раннее насыщение ТТ. В этих условиях использование мгновенных значений тока позволяет сформировать пуск защиты по начальному участку переходного процесса, до существенного искажения вторичного тока вследствие насыщения ТТ [180, 182].



а)



б)

Рисунок 3.3. Схемы участка сети: а) типовая схема линии; б) схема магистральной линии с трансформаторами на ответвлениях (тип коммутационных аппаратов на стороне ВН и НН трансформаторов принимается в зависимости от схемы электроустановки)

Типовые варианты расчетных схем защищаемого присоединения и смежных элементов, используемых далее при выборе уставок ТО и МТЗ, приведены на рисунке 3.3.

Первая ступень токовой отсечки в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** реализуется ступенью ТО1 алгоритма **«Токовая отсечка»**.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Уставки алгоритма «Токовая отсечка» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Токовая отсечка (ТО)							
Iто 1 ВН	А	5	1	400	0,01	0,95	ТО 1 - ток срабатывания
Тто 1 ВН	с	0	0	1	0,01	-	ТО 1 - задержка срабатывания
Iто 2 ВН	А	5	1	400	0,01	0,95	ТО 2 - ток срабатывания
Тто 2 ВН	с	0	0	1	0,01	-	ТО 2 - задержка срабатывания

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.5.

Таблица 3.5. Уставки алгоритма «Токовая отсечка» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Токовая отсечка (ТО)							
Iто 1	А	5	1	150	0,01	0,95	ТО 1 – ток срабатывания
Тто 1	с	0	0	1	0,01	-	ТО 1 – задержка срабатывания
Iто 2	А	5	1	150	0,01	0,95	ТО 2 - ток срабатывания
Тто 2	с	0	0	1	0,01	-	ТО 2 - задержка срабатывания
Твозвр. дв	с	3	0	10	0,01	-	Задержка возврата действия на отключение ТО и МТЗ

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.6.

Таблица 3.6. Уставки алгоритма «Токовая отсечка» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Токовая отсечка (ТО)							
Iто 1	А	5	1	150	0,01	0,95	ТО 1 - ток срабатывания
Iто 2	А	5	1	150	0,01	0,95	ТО 2 - ток срабатывания
Тто 2	с	0,3	0	10	0,01	-	ТО 2 - задержка срабатывания

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТ и ТН.

3.4.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iто 1»** следует определять по условию отстройки от максимального тока КЗ в расчетной точке. В качестве расчетной точки могут приниматься:

- конец защищаемой линии; для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), это точка $К_1$;
- точка подключения ближайшей отпайки (ответвления) от защищаемой линии; для схемы, приведенной на рисунке 3.3 б), это точка $К_1$;
- точки за трансформаторами ответвительных подстанций (на стороне НН, приведенной к стороне ВН); для схемы, приведенной на рисунке 3.3 б), это точки $К_2$, $К_3$ и $К_4$.

Для линий с ответвлениями выбор расчетной точки КЗ определяется схемой сети и принятым способом обеспечения селективности. При наличии на ответвлениях быстродействующих защит (например, ТО) в качестве расчетной точки, как правило, принимается место присоединения ближайшего ответвления. При отсутствии таких защит, а также при необходимости обеспечения несрабатывания ТО при КЗ за трансформаторами ответвительных подстанций, в качестве расчетной точки принимается КЗ за этими трансформаторами [**2**, **63**, **161**].

Значение уставки **«Iто 1»** рекомендуется определять по формуле [63, 161]:

$$Iто\ 1 = k_{отс} \cdot I^{(3)}_{кз.макс} \quad А \tag{3.2}$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,2–1,3. Значение 1,1 допускается при наличии обоснования, учитывающего точность расчета токов КЗ, характеристик измерительных органов устройств **«Алтей»** или **«Лютик»**, а также погрешностей ТТ

$I^{(3)}_{кз.макс}$ А максимальное значение тока трехфазного КЗ в расчетной точке

Дополнительно значение уставки **«Iто 1»** должно удовлетворять условию отстройки от БТН трансформаторов [2, 63, 161]:

$$Iто\ 1 = k_{бтн} \cdot \sum I_{ном.тр} \quad А \tag{3.3}$$

где

$k_{бтн}$ – коэффициент отстройки от БТН, принимаемый из диапазона:

- 5–6 – при суммарном времени действия защиты менее 0,1 с (в том числе при отсутствии выдержки времени) и работе по мгновенным значениям тока
- 3–4 – при суммарном времени действия защиты менее 0,1 с и работе по действующему значению тока
- 2–3 – при суммарном времени действия защиты 0,1 с и более

$\sum I_{ном.тр}$ А сумма номинальных токов всех трансформаторов, которые могут быть подключены одновременно к данной линии

Под суммарным временем действия защиты понимается время работы устройства (с учетом его выходных реле) и, при наличии, время работы выходного промежуточного реле, действующего на отключение.

Отстройка ТО от БТН должна обеспечиваться либо выбором уставки **«Iто 1»** по условию (3.3), либо применением блокировки по второй гармонике с использованием уставки **«ИПБ Iф»** (см. п. 2.2.2). При применении блокировки допускается не выполнять условие отстройки от БТН по току при условии обеспечения надежной работы блокировки при БТН и отсутствия ее воздействия при КЗ, в том числе при искаженной форме тока, обусловленной насыщением ТТ.

Окончательное значение уставки **«Iто 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (3.2) и (3.3).

Коэффициент чувствительности следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(3)}_{кз}}{Iто\ 1} \tag{3.4}$$

где

$I^{(3)}_{кз}$ А значение тока трехфазного КЗ в месте установки защиты; для схемы, приведенной на рисунке 3.3 – в точке $К_1$

Коэффициент чувствительности первой ступени ТО должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.26]:

- около 1,2 – при КЗ в месте установки защиты в наиболее благоприятном по условию чувствительности режиме

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 20]:

- не менее 1,2 – при трехфазном КЗ в месте установки защиты в нормальной схеме энергосистемы.

При невыполнении нормируемых требований к коэффициенту чувствительности, установленных ПУЭ [100, п. 3.2.26], первая ступень ТО не должна рассматриваться как защита, удовлетворяющая требованиям ПУЭ для дополнительной защиты линии.

Значение уставки **«Tто 1»** при отсутствии необходимости отстройки от БТН следует определять по формуле:

$$Tто\ 1 = 0 \quad с \tag{3.5}$$

Значение уставки **«Tто 1»** при необходимости отстройки от БТН следует определять по формуле [163]:

$$Tто\ 1 \geq 0{,}1 \quad с \tag{3.6}$$

Для устройства **«Лютик»** уставка **«Тто 1»** не предусмотрена. При применении первой ступени ТО в устройстве **«Лютик»** отстройку от БТН следует обеспечивать выбором значения уставки **«Iто 1»** по условию (3.3). При невозможности обеспечения требуемой отстройки первая ступень ТО должна быть выведена либо должна применяться вторая ступень ТО с выдержкой времени **«Тто 2»**, если такое решение удовлетворяет требованиям селективности и чувствительности.

Вместе с тем первая ступень ТО предусмотрена в составе функций устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** и может использоваться как дополнительная быстродействующая ступень ограниченной зоны действия, если ее работа не приводит к нарушению селективности и способствует повышению надежности отключения близких повреждений. Такой подход не противоречит требованиям эксплуатации электроустановок по обеспечению надежности электроснабжения и предотвращению развития аварийных режимов [104], а также согласуется с положениями учебной и справочной литературы по релейной защите и эксплуатации электроустановок [157, 158], в которой отмечается необходимость быстрого ограничения последствий повреждений, в том числе возникающих при ошибочных оперативных переключениях.

При использовании в алгоритме ТО контроля направления мощности, а также при выборе задержки возврата действия ступеней на отключение после оперативного перевода на сигнализацию, следует дополнительно руководствоваться 3.7.

3.5 НЕСЕЛЕКТИВНАЯ ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА БЕЗ ВЫДЕРЖКИ ВРЕМЕНИ

3.5.1 Общие сведения

Неселективная токовая отсечка без выдержки времени представляет собой быстродействующую токовую защиту от междуфазных КЗ, допускающую срабатывание не только при повреждениях в пределах защищаемого присоединения, но и при части внешних КЗ, если такое решение требуется по условиям обеспечения необходимого быстродействия. Неселективное действие такой отсечки при внешних повреждениях должно устраняться действием АПВ отключившегося присоединения. Такой подход применяется, когда селективные ТО не обеспечивают требуемой скорости отключения КЗ, в том числе при необходимости сохранения допустимого остаточного напряжения на шинах питающей подстанции, по условиям обеспечения устойчивости синхронных двигателей и генераторов, для ограничения длительности провалов напряжения у ответственных потребителей, а также в отдельных случаях по условиям термической стойкости кабелей и проводников [158, 163].

В распределительных сетях 6–35 кВ неселективную ТО, как правило, целесообразно рассматривать не как отдельную защиту, а как специальный вариант применения первой ступени ТО без выдержки времени. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** неселективная ТО реализуется ступенью ТО1 алгоритма **«Токовая отсечка»**. В связи с этим при выполнении неселективной ТО в указанных устройствах используется тот же набор уставок, что и для первой ступени ТО, и приведен в таблицах 3.4, 3.5, 3.6.

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ и ТН.

3.5.2 Расчет уставок

Ступень ТО1, используемая в качестве неселективной ТО, выполняется без выдержки времени; значение уставки **«Тто 1»** принимается равным нулю (см. (3.5)).

3.5.2.1 По условию обеспечения устойчивости синхронных машин

Значение уставки **«Iто 1»** по условию обеспечения надежного срабатывания в тех зонах, где трехфазные КЗ вызывают снижение напряжения в месте установки отсечки ниже допустимого значения, следует определять по формуле [163]:

$$I_{то\ 1} \leq \frac{U_{с.мин}}{\sqrt{3} \cdot k_{н} \cdot (z_{с.мин} + k_{0} \cdot z_{с.мин})} \quad А \tag{3.7}$$

где

$U_{с.мин}$	В	междуфазное напряжение питающей энергосистемы в минимальном режиме ее работы
$z_{с.мин}$	Ом	сопротивление питающей энергосистемы в минимальном режиме ее работы до места установки защиты
k_0	–	коэффициент, учитывающий относительную удаленность трехфазного КЗ, при котором остаточное напряжение в месте установки отсечки снижается до допустимого значения, определяется по формуле (3.8)
$k_н$	–	коэффициент надежности, принимаемый из диапазона 1,1–1,2

Коэффициент, учитывающий относительную удаленность точки КЗ, следует определять через допустимое остаточное напряжение по формуле [163]:

$$k_0 = \frac{U_{кр}}{1-U_{кр}} \qquad (3.8)$$

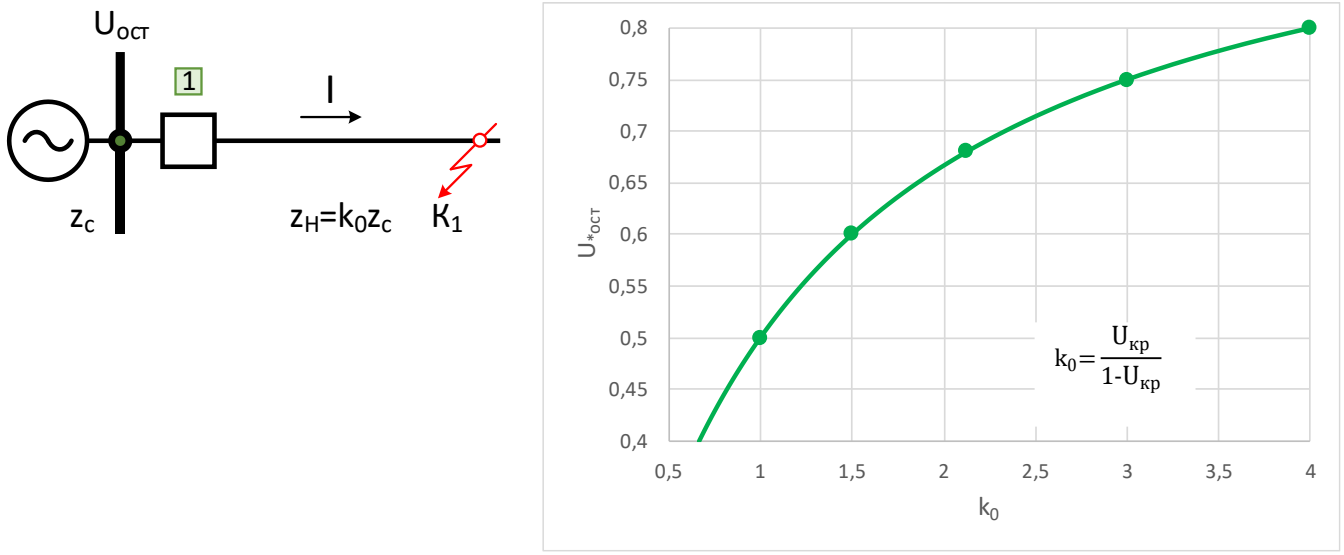
где

$U_{кр}$ о.е. допустимое относительное остаточное напряжение в месте установки защиты (в долях от номинального напряжения), при котором требуется обеспечить срабатывание отсечки. Значение $U_{кр}$ следует принимать в зависимости от условий обеспечения устойчивости электроприемников и требований к допустимой глубине провала напряжения. В приближенных расчетах рекомендуется принимать:

≈ 0,5 – для обеспечения устойчивости синхронных электродвигателей

≈ 0,6 – для обеспечения устойчивости синхронных генераторов

Пояснение к определению коэффициента k_0 по формуле (3.8) приведено на рисунке 3.4.



а) б)

Рисунок 3.4. К определению коэффициента k_0 для расчета уставки неселективной ТО по условию обеспечения допустимого остаточного напряжения

Выбранное по выражению (3.7) значение тока срабатывания подлежит проверке по следующим условиям. Для выполнения указанных условий значение уставки **«Iто 1»** должно быть больше или равно значениям, определяемым по условиям:

- отстройки от КЗ на стороне НН трансформаторов, подключенных к защищаемой линии;
- согласования (отстройка от конца зоны действия) с первой ступенью токовой отсечки предыдущего (линии или трансформатора) элемента;
- отстройки от БТН трансформаторов, подключенных к защищаемой линии.

Значение уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от КЗ на стороне НН трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, следует определять по выражению (3.2), где $I^{(3)}_{кз.макс}$ – трехфазный ток КЗ на стороне НН трансформатора, приведенный к стороне ВН, в максимальном режиме работы системы. При наличии нескольких трансформаторов указанную проверку следует выполнять для каждого из них; в качестве расчетного следует принимать наибольшее из полученных значений.

Значение уставки **«Iто 1»** по условию согласования (отстройки от конца зоны действия) с первой ступенью токовой отсечки предыдущего элемента следует определять по формуле [163]:

$$I_{то\,1} \geq k_{отс} \cdot I_{то1.ниж} \quad А \qquad (3.9)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,1–1,2

$I_{то1.ниж}$ А ток срабатывания первой ступени токовой отсечки нижестоящего элемента, с которым производится согласование

В случае, если трансформаторы ответвительных подстанций защищены плавкими предохранителями по стороне ВН, выбранное значение тока срабатывания подлежит проверке по условию обеспечения селективности с предохранителями при устойчивом КЗ на выводах трансформатора.

Проверку следует выполнять в следующем порядке [**163**].

Расчетный ток для определения времени плавления плавкой вставки следует принимать равным:

$$I_{расч}=0{,}8\cdot Iто\ 1 \quad А \tag{3.10}$$

где

$Iто\ 1$ А значение уставки тока срабатывания ступени ТО1, выбранное по формуле (3.7)

Коэффициент 0,8 в формуле (3.10) учитывает возможный разброс времятоковой характеристики плавкой вставки предохранителя в пределах ±20 %.

По времятоковой характеристике предохранителя при токе $I_{расч}$ определяется время плавления плавкой вставки $t_{пл}$.

Если выполняется условие:

$$t_{пл}<0{,}1 \quad с \tag{3.11}$$

То плавкая вставка предохранителя успевает расплавиться за время протекания тока КЗ до отключения выключателя линии действием неселективной ТО. При последующем АПВ поврежденный трансформатор остается отделенным предохранителем, и АПВ линии будет успешным. В этом случае корректировка значения уставки **«Iто 1»** не требуется.

Если условие (3.11) не выполняется, то есть:

$$t_{пл}\geq 0{,}1 \quad с \tag{3.12}$$

То плавкая вставка предохранителя не успевает расплавиться за время протекания тока КЗ до отключения выключателя линии действием неселективной ТО. При последующем АПВ линия будет повторно включена на неотделенное повреждение, и АПВ будет неуспешным. В этом случае значение уставки **«Iто 1»** следует увеличить до такого значения, при котором выполняется условие (3.11).

Если к защищаемой линии подключено несколько ответвительных трансформаторов, указанную проверку следует выполнять для каждого предохранителя; в качестве расчетного следует принимать наибольшее из полученных значений уставки **«Iто 1»**.

Значение уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от БТН трансформаторов, подключенных к защищаемой линии, следует определять по формуле (3.3).

3.5.2.2 По условию ограничения длительности провалов напряжения у ответственных потребителей

Значение уставки **«Iто 1»** по условию ограничения длительности провалов напряжения у ответственных потребителей следует выбирать из условия обеспечения отключения КЗ за время, не превышающее допустимую длительность провала напряжения.

Условие ограничения длительности провала напряжения может быть записано в виде:

$$t_{откл} \leq t_{доп} \quad с \tag{3.13}$$

где

$t_{откл}$ с расчетное время отключения короткого замыкания с учетом действия АПВ (при наличии), определяется по формуле (3.16)

$t_{доп}$ с допустимая длительность провала напряжения у ответственных потребителей

Значение уставки **«Iто 1»** выбирается таким образом, чтобы зона действия первой ступени неселективной ТО охватывала участки сети, при возникновении КЗ на которых, время отключения по условиям работы последующих ступеней защиты превышает допустимое значение $t_{доп}$.

Значение уставки **«Iто 1»** должно удовлетворять условию:

$$Iто\ 1 \leq I_{кз.гр} \quad А \tag{3.14}$$

где

$I_{кз.гр}$ А ток КЗ в граничной точке сети, определяемой из условия $t_{откл}=t_{доп}$

Граничная точка определяется по расчетной схеме сети как наиболее удаленная точка, при КЗ в которой отключение повреждения последующими ступенями защиты не удовлетворяет условию (3.13). Для повреждений, расположенных ближе

этой точки, следует применять неселективную ТО, если селективная ТО без выдержки времени, рассчитанная согласно п. **3.4.2**, не обеспечивает выполнения условия (3.13).

При этом выбранное значение уставки должно удовлетворять условиям отстройки от БТН, КЗ на стороне НН трансформаторов, а также условиям согласования с защитами и предохранителями, приведенным в п. **3.5.2.1**.

Такое решение может применяться, в частности, для ограничения длительности провалов напряжения у ответственных потребителей, а также для обеспечения устойчивой работы технологических установок, чувствительных к снижению напряжения.

3.5.2.3 По условию обеспечения термической стойкости кабелей и проводников

Значение уставки **«Iто 1»** по условию обеспечения термической стойкости кабелей и проводников следует определять по формуле [**112**, **114**]:

$$I_{то\ 1} \le \frac{S_{пр} \cdot C}{\sqrt{t_{откл}}} \quad А \tag{3.15}$$

где

$S_{пр}$	мм^2	сечение жилы кабеля или проводника
C		параметр, учитывающий материал проводника, тип изоляции и допустимые температуры нагрева; значение параметра следует принимать по РД 153-34.0-20.527-98 [**112**]: для жестких шин — по табл. 8.2, для кабелей — по табл. 8.3, для проводов — по табл. 8.4. Для кабелей по табл. 8.3, в частности, могут быть приняты следующие значения: 140 — для кабелей до 10 кВ с медными жилами 90 — для кабелей до 10 кВ с алюминиевыми жилами
$t_{откл}$	с	расчетное время отключения КЗ с учетом действия АПВ (при наличии), определяется по формуле (3.16)

При этом выбранное значение уставки должно удовлетворять условиям отстройки от БТН, КЗ на стороне НН трансформаторов, а также условиям согласования с защитами и предохранителями, приведенным в п. **3.5.2.1**.

Согласно ПУЭ [**100**, п.1.4.8] при расчете термической стойкости в качестве расчетного времени следует принимать сумму времен, получаемую от сложения времени действия основной защиты (с учетом действия АПВ), установленной у ближайшего к месту КЗ выключателя, и полного времени отключения этого выключателя (включая время горения дуги).

Расчетное время отключения КЗ следует определять по формуле [**114**]:

$$t_{откл} = t_{рз} + n \cdot t_{откл.в} \quad с \tag{3.16}$$

где

$t_{рз}$	с	время действия неселективной ТО, принимается равным 0
n	—	число отключений выключателя при ликвидации повреждения, учитывающее действие АПВ, принимается равным: 1 — при отсутствии АПВ 2 — при однократном АПВ 3 — при двукратном АПВ
$t_{откл.в}$	с	полное время отключения выключателя

3.6 ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА, ВТОРАЯ СТУПЕНЬ (С ВЫДЕРЖКОЙ ВРЕМЕНИ)

3.6.1 Общие сведения

Вторая ступень ТО представляет собой токовую защиту от междуфазных КЗ, выполняемую с выдержкой времени и входящую в состав ступенчатой токовой защиты линии. В отличие от первой ступени ТО, выполняемой без выдержки времени и имеющей ограниченную зону действия, вторая ступень ТО обладает более широкой зоной действия и предназначена для ускоренного отключения повреждений в пределах большей части защищаемого элемента. Применение второй ступени ТО обусловлено необходимостью повышения быстродействия отключения междуфазных КЗ по сравнению с МТЗ. При этом первая ступень ТО обеспечивает мгновенное отключение повреждений в ближайшей части защищаемого элемента, а вторая ступень ТО — ускоренное отключение повреждений в оставшейся части зоны, где первая ступень уже не обеспечивает требуемой чувствительности. Отключение повреждений, не отключаемых первой и второй ступенями ТО, как правило, обеспечивается МТЗ [**156**, **163**].

Поскольку зона действия второй ступени токовой отсечки, как правило, выходит за пределы защищаемого элемента, селективность ее действия обеспечивается согласованием по току и по времени с защитами смежных элементов. В этом случае выдержка времени второй ступени ТО выбирается с учетом ступени селективности относительно защит предыдущего элемента, что соответствует общим принципам построения ступенчатых токовых защит.

Применение второй ступени ТО целесообразно при наличии на смежном элементе быстродействующей токовой ступени, как правило, ТО, с которой может быть обеспечено согласование по току и по времени. При отсутствии на смежном элементе быстродействующих ступеней и наличии только МТЗ применение ТО2 требует дополнительной проверки условий селективности, поскольку в этом случае возможно неселективное действие защиты при КЗ на смежном элементе.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** вторая ступень ТО реализуется ступенью ТО2 алгоритма **«Токовая отсечка»**. В связи с этим при выполнении второй ступени ТО в указанных устройствах используется тот же набор уставок, что и для первой ступени ТО, и приведен в таблицах 3.4, 3.5, 3.6.

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ и ТН.

3.6.2 Расчет уставок

Значение уставки тока срабатывания второй ступени ТО **«Iто 2»** следует определять исходя из условия обеспечения срабатывания защиты при КЗ в конце защищаемой линии и согласования с защитами смежных элементов [163].

Значение уставки **«Iто 2»** по условию согласования с первой ступенью ТО (или со второй ступенью ТО, при наличии) предыдущего элемента, с учетом тока нагрузки неповрежденных элементов, рекомендуется определять по формуле:

$$I_{то\ 2} = k_{н.с} \cdot k_{р} \cdot \left(\sum_{1}^{n} I_{то.пред.макс\ (n)} + \sum_{1}^{N-n} I_{раб.макс\ (N-n)} \right) \ А \qquad (3.17)$$

где

$k_{н.с}$	–	коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.3
$k_{р}$	–	коэффициент токораспределения
$\sum_{1}^{n} I_{то.пред.макс\ (n)}$	А	наибольшая из геометрических сумм токов срабатывания ТО параллельно работающих предыдущих элементов n, с защитами которых производится согласование; при разнице между углами фазового сдвига напряжения и тока для всех указанных предыдущих элементов не более 50° допускается арифметическое сложение вместо геометрического
$\sum_{1}^{N-n} I_{раб.макс\ (N-n)}$	А	геометрическая сумма максимальных рабочих токов всех предыдущих элементов N, за исключением тех элементов n, с защитами которых производится согласование; при примерно однородной нагрузке допускается арифметическое сложение максимальных рабочих токов

В настоящей Методике для токовых защит коэффициент токораспределения $k_{р}$ определяется как отношение тока КЗ, протекающего в месте установки рассматриваемой защиты, к току КЗ в смежном элементе, с защитой которого выполняется согласование, при одном и том же месте КЗ и в одном и том же расчетном режиме.

Для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), при предположении, что согласование выполняется только с соответствующей ступенью ТО защиты 2 ПС Б, расчетные величины следует принимать равными:

$$\sum_{1}^{n} I_{то.пред.макс\ (n)} = I_{то.2}$$

где

$I_{то.2}$	А	ток срабатывания соответствующей ступени токовой отсечки защиты 2 ПС Б

$$\sum_{1}^{N-n} I_{раб.макс\ (N-n)} = I_{раб.макс.Т1}$$

$I_{раб.макс.Т1}$	А	максимальный рабочий ток трансформатора Т1 ПС Б

Формула (3.17) записана в общем виде. В зависимости от конфигурации сети вместо геометрических сумм могут использоваться отдельные значения токов срабатывания и рабочих токов. Обозначения N и n приняты в соответствии с 3.1 и рисунком 3.2.

При наличии на трансформаторе приемной подстанции быстродействующей защиты значение уставки **«Iто 2»** по условию отстройки от максимального тока КЗ за трансформатором рекомендуется определять по формуле:

$$Iто\ 2 = k_{отс} \cdot I^{(3)}_{кз.макс} \quad А \tag{3.18}$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,1–1,15

$I^{(3)}_{кз.макс}$ А максимальный ток трехфазного КЗ в расчетной точке за трансформатором приемной подстанции, приведенный к стороне установки защиты; для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), указанной расчетной точкой является точка $К_3$

При наличии на защищаемой линии ответвительных трансформаторов, защищенных плавкими предохранителями, значение уставки **«Iто 2»** следует выбирать с учетом необходимости обеспечения селективности действия защиты по отношению к указанным предохранителям. В таких случаях дополнительно должно выполняться согласование по току и, при необходимости, по времени с характеристиками плавких предохранителей трансформаторов ответвлений. При этом в отдельных случаях именно условие согласования с предохранителями может являться определяющим при выборе уставок второй ступени ТО, что может потребовать увеличения выдержки времени или повышения тока срабатывания защиты [163]. Расчет и проверку указанных условий рекомендуется выполнять по аналогии с указаниями 3.4.2.

Отстройка от БТН не требуется, так как вторая ступень ТО имеет выдержку времени, задаваемую уставкой **«Tто 2»**, за время которой токи намагничивания затухают и становятся недостаточными для ее срабатывания.

Окончательное значение уставки **«Iто 2»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (3.17) и (3.18), с учетом дополнительных условий согласования с предохранителями, при их наличии.

Коэффициент чувствительности для ТО2, выполняющей функции основной защиты, следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.мин}}{Iто\ 2} \tag{3.19}$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин}$ А минимальный ток двухфазного КЗ в конце защищаемого элемента, определяемый в расчетном по чувствительности режиме

Коэффициент чувствительности второй ступени ТО должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, 3.2.21]:

- около 1,5 — при металлическом КЗ в пределах защищаемой зоны;
- 1,3 — при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 — для токовых измерительных органов защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента;
- 1,3 — при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), проверку коэффициента чувствительности второй ступени ТО, выполняющей функции основной защиты, следует выполнять при КЗ в точке $К_2$, расположенной в конце линии Л1, на шинах ПС Б.

Коэффициент чувствительности для второй ступени ТО, выполняющей функции резервной защиты**,** следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.рез}}{Iто\ 2} \tag{3.20}$$

где

$I^{2}_{кз.мин.рез}$ А минимальный ток двухфазного КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательно включенных элементов, входящих в зону резервирования, определяемый в расчетном по чувствительности режиме

Коэффициент чувствительности второй ступени ТО, выполняющей функции резервной защиты, должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, 3.2.25]:

- около 1,2 — при КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательно включенных элементов, входящих в зону резервирования.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 15]:

- 1,2 — для токовых измерительных органов защит, выполняющих функции дальнего резервирования.

Для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), проверку коэффициента чувствительности второй ступени ТО, выполняющей функции резервной защиты, следует выполнять в точках $К_3$ и $К_4$: при КЗ в точке $К_3$ — за трансформатором Т1 ПС Б; при КЗ в точке $К_4$ — в конце линии Л2, на шинах ПС В.

При наличии на защищаемой линии нескольких трансформаторов на ответвлениях проверку коэффициента чувствительности в зоне резервирования следует выполнять за каждым из трансформаторов ответвлений.

Значение уставки **«Тто 2»** при определяющем условии (3.17), когда производится согласование по времени с первой ступенью ТО (или со второй ступенью ТО, при наличии) предыдущего элемента, следует принимать на ступень селективности больше выдержки времени защиты, с которой производится согласование. Расчетное значение уставки определяется по формуле:

$$Тто\ 2 = t_{то.пред} + \Delta t \quad с \tag{3.21}$$

где

$t_{то.пред}$ с — выдержка времени срабатывания соответствующей ступени ТО предыдущей защиты, с которой производится согласование; при наличии нескольких защит за расчетное значение принимается наибольшая из их выдержек времени

Δt с — ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Значение уставки **«Тто 2»** при определяющем условии (3.18), когда производится согласование по времени с быстродействующей защитой трансформатора, следует определять по формуле:

$$Тто\ 2 = \Delta t \quad с \tag{3.22}$$

Значение уставки **«Тто 2»** при определяющем условии согласования по времени с плавкой вставкой предохранителя следует определять по формуле:

$$Тто\ 2 = t_{пл} + \Delta t \quad с \tag{3.23}$$

где

$t_{пл}$ с — время плавления плавкой вставки предохранителя, определяемое по его ВТХ при токе, равном значению уставки **«Iто 2»**

Дополнительные условия выбора выдержки времени второй ступени ТО и задержки возврата действия ступеней на отключение после оперативного перевода на сигнализацию приведены в 3.7.

3.7 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВЫБОРА ВЫДЕРЖЕК ВРЕМЕНИ

В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при использовании контроля направления мощности в алгоритме ТО для отстройки от переходных процессов рекомендуется выбирать выдержку времени соответствующей ступени не менее 0,02 с. Следовательно, при введенном контроле направления мощности значения уставок **«Тто 1»** и **«Тто 2»** рекомендуется определять по формуле:

$$Тто\ 1 \geq 0{,}02 \quad с \tag{3.24}$$

$$Тто\ 2 \geq 0{,}02 \quad с \tag{3.25}$$

Расчет уставок направленных ТО приведен в п. 3.9.3.

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, в которых предусмотрен оперативный перевод действия ступеней ТО на сигнализацию, возврат действия ступеней на отключение выполняется с регулируемой задержкой. Указанная задержка является общей для ступеней ТО и МТЗ.

Значение уставки **«Твозвр. дв»** следует определять по условию отстройки от кратковременного исчезновения сигнала оперативного перевода действия ступеней на сигнализацию, которое может быть вызвано дребезгом контактов, кратковременными провалами напряжения оперативного питания и т.п. При отсутствии исходных данных значение уставки рекомендуется принимать равным:

$$Твозвр.дв = 3 \ с \quad (3.26)$$

3.8 МАКСИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

3.8.1 Общие сведения

Максимальная токовая защита предназначена для отключения междуфазных КЗ на защищаемом элементе, а также для резервирования защит смежных элементов сети. При выборе и проверке уставок МТЗ следует учитывать, что она может выполнять как функции основной защиты защищаемого элемента, так и функции резервной защиты в зоне резервирования.

В зависимости от состава установленных защит и их чувствительности МТЗ может выполнять функции как основной, так и резервной защиты. Селективность действия МТЗ, как правило, обеспечивается выдержкой времени, выбираемой по ступенчатому принципу. При этом уставки МТЗ должны быть согласованы со смежными защитами по току и времени [2, 63, 156].

Ниже по тексту под «максимальным рабочим током» понимается наибольший возможный рабочий ток, соответствующий наиболее тяжелым, но реалистичным эксплуатационным режимам работы оборудования.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** данная защита реализовывается с помощью первой и второй ступени (МТЗ 1 и МТЗ 2) в алгоритмах **«Максимальная токовая защита 1»** и **«Максимальная токовая защита 2»**. В устройстве **«Лютик»** данная защита реализовывается в алгоритме **«Максимальная токовая защита»**.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Уставки алгоритма «Максимальная токовая защита 1», «Максимальная токовая защита 2» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Максимальная токовая защита 1 (МТЗ 1)							
Iмтз 1	А	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 1 - ток срабатывания
Тмтз 1	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 1 - задержка срабатывания
ВТХ мтз 1	-	0	0	4	1	-	МТЗ 1 – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 - пологая
квтх 1	-	1	0,05	2	0,01	-	МТЗ 1 - коэффициент времени ВТХ
Твтх 1	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 1 – дополнительная задержка срабатывания ВТХ
Тумтз 1	с	0,1	0	1	0,01	-	МТЗ 1 - задержка ускоренного срабатывания
Iмтз 1 гр	А	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 1 - ток срабатывания грубой ступени
Тмтз 1 гр	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 1 – длительность действия грубой ступени
Максимальная токовая защита 2 (МТЗ 2)							
Iмтз 2	А	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 2 - ток срабатывания
Тмтз 2	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 2 - задержка срабатывания
ВТХ мтз 2	-	0	0	4	1	-	МТЗ 2 – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 - пологая
квтх 2	-	1	0,05	2	0,01	-	МТЗ 2 - коэффициент времени ВТХ
Твтх 2	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 2 – дополнительная задержка срабатывания ВТХ
Тумтз 2	с	0,1	0	1	0,01	-	МТЗ 2 - задержка ускоренного срабатывания

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Iмтз 2 гр	A	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 2 - ток срабатывания грубой ступени
Тмтз 2 гр	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 2 – длительность действия грубой ступени

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.8.

Таблица 3.8. Уставки алгоритма «Максимальная токовая защита 1», «Максимальная токовая защита 2» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Максимальная токовая защита 1 (МТЗ 1)							
Iмтз 1	A	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 1 - ток срабатывания
Тмтз 1	с	1	0	20/10*	0,01	-	МТЗ 1 - задержка срабатывания
ВТХ мтз 1	-	0	0	5	1	-	МТЗ 1 – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 – пологая 5 – RI
kвтх 1	-	1	0,05	2	0,001	-	МТЗ 1 - коэффициент времени ВТХ
Твтх 1	с	0	0	20/10*	0,01	-	МТЗ 1 – дополнительная задержка срабатывания ВТХ
Тумтз 1	с	0,1	0	1	0,01	-	МТЗ 1 - задержка ускоренного срабатывания
Iмтз 1 гр	A	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 1 - ток срабатывания грубой ступени
Тмтз 1 гр	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 1 – длительность действия грубой ступени
kI2г мтз 1	о.е.	0,15	0,01	1	0,01	1	МТЗ 1 – Уставка отношения действующего значения 2 гармоники к 1
Тпб 2г МТЗ 1	с	1	0	20	0,01	-	МТЗ 1 – максимальная длительность перекрестного блокирования по 2 гармонике
Iмтз 2	A	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 2 - ток срабатывания
Тмтз 2	с	1	0	20/10*	0,01	-	МТЗ 2 - задержка срабатывания
ВТХ мтз 2	-	0	0	5	1	-	МТЗ 2 – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 – пологая 5 – RI
kвтх 2	-	1	0,05	2	0,001	-	МТЗ 2 - коэффициент времени ВТХ
Твтх 2	с	0	0	10	0,01	-	МТЗ 2 – дополнительная задержка срабатывания ВТХ
Тумтз 2	с	0,1	0	1	0,01	-	МТЗ 2 - задержка ускоренного срабатывания
Iмтз 2 гр	A	5	0,1	125	0,01	0,95	МТЗ 2 - ток срабатывания грубой ступени
Тмтз 2 гр	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ 2 – длительность действия грубой ступени
kI2г мтз 2	о.е.	0,15	0,01	1	0,01	1	МТЗ 2 – Уставка отношения действующего значения 2 гармоники к 1
Тпб 2г МТЗ 2	с	1	0	20	0,01	-	МТЗ 2 – максимальная длительность перекрестного блокирования по 2 гармонике

*– уставки алгоритма к устройству **«Лютик-Плюс»**

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.9.

Таблица 3.9. Уставки алгоритма «Максимальная токовая защита» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Iмтз	А	5	0,5	125	0,01	0,95	МТЗ - ток срабатывания
Тмтз	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ - задержка срабатывания
ВТХ мтз	-	0	0	4	1	-	МТЗ – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 – пологая
kвтх	-	0,05	0,03	3	0,001	-	МТЗ - коэффициент времени ВТХ
Твтх	с	1	0	10	0,01	-	МТЗ – дополнительная задержка срабатывания ВТХ
Тумтз	с	0	0	1	0,01	-	МТЗ - задержка ускоренного срабатывания

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТ и ТН.

3.8.2 Расчет уставок

Расчет значения уставки **«Iмтз 1»** тока срабатывания следует выполнять по следующим условиям:

- отстройки от максимально возможного тока присоединения с учетом самозапуска двигательной нагрузки;
- согласования по чувствительности с МТЗ предыдущего элемента с учетом тока нагрузки;
- согласования по чувствительности с ДЗ предыдущего элемента (при наличии)

Значение уставки **«Iмтз 1»** тока срабатывания по условию отстройки от максимально возможного тока присоединения с учетом самозапуска двигательной нагрузки при отключении близкого внешнего КЗ следует определять по формуле:

$$I_{мтз\ 1} = \frac{k_{отс} \cdot k_{сзп}}{k_{в}} \cdot I_{раб.макс} \quad А \tag{3.27}$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1

$k_{сзп}$ – коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока нагрузки при самозапуске электродвигателей

$k_{в}$ – коэффициент возврата уставки **«Iмтз 1»**, принимаемый по таблицам 3.7, 3.8, 3.9 для соответствующих устройств

$I_{раб.макс}$ А максимальный рабочий ток защищаемого присоединения

Коэффициент самозапуска зависит от характера нагрузки потребителей, а также от схемы и параметров питающей энергосистемы [**63**, **156**, **158**, **162**]:

- 1,2–1,3 — для бытовой нагрузки городских сетей, содержащей относительно малую долю электродвигателей;
- 1,1–1,3 — для городских электрических сетей;
- 2,9 — для обобщенной нагрузки, то есть для промышленной нагрузки, имеющей в своем составе значительное число электродвигателей 0,4 кВ и, как правило, не имеющей электродвигателей напряжением 6–10 кВ[1].

[1] Указанное значение принято исходя из допущения о приведенном сопротивлении нагрузки, равном 0,35 о.е

Для электродвигателей напряжением выше 1 кВ, одновременно участвующих в самозапуске, токи самозапуска следует определять расчетом исходя из конкретных условий; при этом каждый электродвигатель должен учитываться в расчете своими индивидуальными параметрами. Если от городских сетей питаются котельные, насосные станции, крупные вентиляционные установки и другие потребители со значительной двигательной нагрузкой, значение $k_{сзп}$ также следует определять расчетом.

В случае, если максимальный возможный ток присоединения создается при пуске или самозапуске высоковольтного электродвигателя или группы электродвигателей, то значение уставки **«Iмтз1»** следует определять по формуле:

$$I_{мтз\ 1} = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot \left(I_{раб.макс.пост} + I_{\sum сзп}\right)\ А \qquad (3.28)$$

где

$I_{раб.макс.пост}$ А максимальный рабочий ток электроприемников защищаемого присоединения, работающих в установившемся режиме и не участвующих в пуске или самозапуске

$I_{\sum сзп}$ А расчетный суммарный ток пуска или самозапуска высоковольтного электродвигателя или группы высоковольтных электродвигателей

Для присоединений с резкопеременной технологической нагрузкой (например, сталеплавильными печами, прокатными станами и т.п.) вместо $I_{\Sigma сзп}$ в формуле (3.28) следует принимать максимальный ток толчкового характера, соответствующий наиболее тяжелому, но реально возможному режиму работы такой нагрузки.

При определении $I_{раб.макс}$ следует учитывать наиболее тяжелый, но реально возможный режим работы присоединения, в том числе послеаварийные режимы после действия АПВ, АВР или отключения параллельно работающего элемента. Для вводных и секционных выключателей соответствующие особенности приведены в разделе **3.10**.

Значение уставки **«Iмтз1»** по условию согласования МТЗ предыдущего элемента, с учетом тока нагрузки неповрежденных элементов, рекомендуется определять по формуле [**163**]:

$$I_{мтз\ 1} = k_{н.с} \cdot k_{р} \cdot \left(\sum_{1}^{n} I_{мтз.пред.макс\ (n)} + \sum_{1}^{N-n} I_{раб.макс\ (N-n)}\right)\ А \qquad (3.29)$$

где

$k_{н.с}$ – коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.2

$k_{р}$ – коэффициент токораспределения

$\sum_{1}^{n} I_{мтз.пред.макс\ (n)}$ А наибольшая из геометрических сумм токов срабатывания МТЗ параллельно работающих предыдущих элементов n, с защитами которых производится согласование; при разнице между углами фазового сдвига напряжения и тока для всех указанных предыдущих элементов не более 50° допускается арифметическое сложение вместо геометрического

$\sum_{1}^{N-n} I_{раб.макс\ (N-n)}$ А геометрическая сумма максимальных рабочих токов всех предыдущих элементов N, за исключением тех элементов n, с защитами которых производится согласование; при примерно однородной нагрузке допускается арифметическое сложение максимальных рабочих токов

Для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), при предположении, что согласование выполняется с МТЗ защиты 2 ПС Б, расчетные величины следует принимать равными:

$$\sum_{1}^{n} I_{мтз.пред.макс\ (n)} = I_{мтз.2}$$

где

$I_{мтз.2}$ А ток срабатывания МТЗ защиты 2 ПС Б

$$\sum_{1}^{N-n} I_{раб.макс\ (N-n)} = I_{раб.макс.Т1}$$

$I_{раб.макс.Т1}$ А максимальный рабочий ток трансформатора Т1 ПС Б

Формула (3.29) записана в общем виде. В зависимости от конфигурации сети вместо геометрических сумм могут использоваться отдельные значения токов срабатывания и рабочих токов. Обозначения N и n приняты в соответствии с **3.1** и рисунком 3.2.

Значение уставки **«Iмтз 1»** тока срабатывания по условию согласования по чувствительности с дистанционной защитой предыдущего элемента, при наличии данной защиты, следует определять по формуле [**118**, п. 10.3.2]:

$$Iмтз\ 1 \geq \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}\left(\frac{Z_{\sum з}}{k'_{ток}} + \frac{Z_{сз.пред}}{k_{ток}} + \Delta Z\right)}\ [А] \quad (3.30)$$

где

$U_{ном}$	В	первичное междуфазное номинальное напряжение сети
$Z_{\sum з}$	Ом	результирующее сопротивление до места установки рассматриваемой токовой защиты со стороны питания при КЗ на предыдущем элементе
$Z_{сз.пред}$	Ом	сопротивление срабатывания защиты предыдущего элемента, с которой производится согласование
ΔZ	Ом	сопротивление от места установки рассматриваемой токовой защиты до места установки защиты предыдущего элемента, с которой производится согласование
$k'_{ток}$	–	коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки рассматриваемой защиты к току в предыдущем элементе, с защитой которого производится согласование
$k_{ток}$	–	коэффициент токораспределения, равный отношению тока в месте установки рассматриваемой защиты к току в сопротивлении $Z_{\sum з}$

Окончательное значение уставки **«Iмтз 1»** при применении ВМБ следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (3.29), (3.30) и (3.35). Условия (3.27) и (3.28) следует учитывать только в случае, если действие МТЗ не блокируется ВМБ в режимах пуска или самозапуска нагрузки либо если такое требование задано проектными решениями или требованиями эксплуатирующей организации.

Проверку коэффициента чувствительности следует выполнять как при КЗ в конце защищаемого элемента, так и в зоне резервирования. Для зоны резервирования в качестве расчетных следует принимать наиболее удаленные точки смежных элементов, в которых должна обеспечиваться требуемая чувствительность защиты.

Коэффициент чувствительности в основной зоне действия защиты следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.мин}}{Iмтз\ 1} \quad (3.31)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин}$	А	минимальный ток двухфазного КЗ в конце защищаемого элемента, определяемый в расчетном по чувствительности режиме

Коэффициент чувствительности МТЗ, выполняющей функции основной защиты, должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.21]:

- около 1,5 – при металлическом КЗ в конце защищаемого участка, без учета резервного действия;
- около 1,3 – при наличии надежно действующей селективной резервной ступени.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 14]:

- 1,5 – для токовых измерительных органов защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента;
- 1,3 – при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), проверку коэффициента чувствительности МТЗ, выполняющей функции основной защиты, следует выполнять при КЗ в точке $К_2$, расположенной в конце линии Л1, на шинах ПС Б.

Коэффициент чувствительности для МТЗ, выполняющей функции резервной защиты, следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.рез}}{Iмтз\ 1} \quad (3.32)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин.рез}$	А	минимальный ток двухфазного КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательно включенных элементов, входящих в зону резервирования, определяемый в расчетном по чувствительности режиме

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.25]:

- 1,2 – при КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательно включенных элементов, входящих в зону резервирования.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 15]:

- 1,2 — для токовых измерительных органов защит, выполняющих функции дальнего резервирования.

Для схемы, приведенной на рисунке 3.3 а), проверку коэффициента чувствительности МТЗ, выполняющей функции резервной защиты, следует выполнять в точках $К_3$ и $К_4$: при КЗ в точке $К_3$ — за трансформатором Т1 ПС Б; при КЗ в точке $К_4$ — в конце линии Л2, на шинах ПС В.

При наличии на защищаемой линии нескольких трансформаторов на ответвлениях проверку коэффициента чувствительности в зоне резервирования следует выполнять за каждым из трансформаторов ответвлений.

Если коэффициент чувствительности МТЗ в зоне резервирования, определенный по формуле 3.31), меньше требуемого значения, дальнее резервирование данной ступенью не обеспечивается. В соответствии с ПУЭ [100, п. 3.2.17] в случаях, когда полное обеспечение дальнего резервирования связано со значительным усложнением защиты или технически невозможно, допускается не резервировать отключения КЗ за трансформаторами, на реактированных линиях и в конце длинного смежного участка линии 6–35 кВ. В целях повышения чувствительности МТЗ может применяться вольтметровая блокировка (пуск по напряжению), расчет уставок которой приведен в разделе 3.8.5.

Значение уставки **«Тмтз 1»** по условию согласования по времени следует принимать на ступень селективности больше выдержки времени защиты, с которой производится согласование. При этом расчетное значение уставки следует определять по формуле:

$$Тмтз\ 1 = t_{мтз.пред} + \Delta t\ [с] \tag{3.33}$$

где

$t_{мтз.пред}$ с — выдержка времени срабатывания МТЗ, с которой производится согласование; при наличии нескольких защит за расчетное значение принимается наибольшая из их выдержек времени

Δt с — ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

3.8.3 Ускорение при включении

Ускорение действия МТЗ при включении выключателя, в том числе в циклах АПВ, применяется для сокращения времени отключения КЗ. Ускорение при первом включении рекомендуется применять, если выдержка времени срабатывания МТЗ без ускорения превышает 1,5 с[1]. Ускорение в циклах АПВ применяется, когда необходимо сократить длительность протекания токов КЗ при устойчивых повреждениях.

Значение уставки **«Тумтз 1»** следует определять из условий:

$$\begin{cases} 0 \le Тумтз\ 1 \le 1\ с \\ Тумтз\ 1 < Тмтз\ 1 \end{cases} \tag{3.34}$$

где

$Тмтз\ 1$ с — выдержка времени срабатывания МТЗ 1 без ускорения

3.8.4 Грубые ступени

Грубые ступени МТЗ могут применяться для различных задач, связанных с временным изменением параметров токовой защиты при включении присоединения. Одним из характерных случаев их применения является включение на холодную нагрузку (ВХН)[2]. После включения присоединения может возникать переходный процесс, сопровождающийся повышенным током, обусловленным БТН трансформаторов, токами включения осветительной нагрузки, пусковыми токами двигателей, бросками тока БСК, а также одновременным включением электроприемников, которые в нормальном режиме работают разновременно. К числу таких электроприемников относятся, в частности, системы отопления и кондиционирования, тепловые насосы, компрессоры холодильников и кондиционеров, а также двигатели морозильных и холодильных установок. Поскольку

[1] В соответствии с ПУЭ, п. 3.3.4, для линий 35 кВ и ниже допускается не ускорять после АПВ действие защит, если время их действия при металлическом КЗ вблизи места установки не превосходит 1,5 с

[2] Следует отметить, что в отечественной практике данный термин пока не получил полностью устоявшегося единообразного применения. В различных источниках для близких по смыслу режимов используются обозначения ВХН, ФВН и Cold Load Pickup (CLPU). В настоящей Методике термин «включение на холодную нагрузку» используется как частное наименование одного из возможных случаев применения грубых ступеней МТЗ

нагрузка присоединения, как правило, является комплексной, величина и длительность суммарного тока при включении определяются составом нагрузки, продолжительностью отключения, способом восстановления питания, временем суток, погодными условиями и другими факторами, то есть в значительной степени носят случайный характер [186, 189, 192]. При этом ВХН следует рассматривать лишь как один из возможных случаев применения грубых ступеней МТЗ.

Значение уставки **«Iмтз 1 гр»** рекомендуется выбирать по условию отстройки от максимального ожидаемого тока включения присоединения в наиболее тяжелом расчетном режиме, а значение уставки **«Тмтз 1 гр»** – принимать по условию действия грубой ступени МТЗ в течение всего времени существования повышенного тока включения в том же режиме. При этом уставку **«Тмтз 1 гр»** целесообразно принимать минимально необходимой, достаточной для завершения переходного процесса, чтобы не увеличивать без необходимости время действия загрубленной ступени после включения присоединения [189].

3.8.5 Пуск по напряжению (вольтметровая блокировка)

Пуск по напряжению, или вольтметровая блокировка (ВМБ), применяется для отстройки МТЗ от пусковых режимов электродвигателей, что позволяет выбирать более чувствительные уставки по току. При применении ВМБ уставка МТЗ по току, как правило, не выбирается по условию отстройки от тока самозапуска нагрузки, поскольку в пусковых режимах действие МТЗ блокируется ВМБ. При этом уставка ВМБ по напряжению должна выбираться с учетом отстройки от напряжения самозапуска заторможенных электродвигателей после действия АПВ или АВР.

В настоящем подразделе термины «пуск по напряжению» и «ВМБ» используются как равнозначные; далее по тексту применяется термин «ВМБ».

ВМБ реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«КЭП»**. В нормальном режиме и при пуске электродвигателей действие МТЗ блокируется сигналом **«ВМБ сраб»**. При КЗ происходит снижение линейных напряжений, а при несимметричных КЗ также появляется напряжение обратной последовательности, что приводит к снятию сигнала **«ВМБ сраб»** и разрешению действия токовых защит.

Описание уставок **«Uвмб»** и **«U2 вмб»** приведено ранее, в разделе 2.2.1 при рассмотрении алгоритма **«КЭП»**. В настоящем подразделе рассматривается выбор указанных уставок применительно к МТЗ с ВМБ.

Расчет уставки **«Iмтз 1»** тока срабатывания следует выполнять в соответствии с п. 3.8.2 по формулам (3.27)–(3.30). При применении ВМБ для условия отстройки от максимального рабочего тока значение уставки **«Iмтз 1»** определяется по формуле:

$$I_{мтз\ 1} = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot I_{раб.макс} \quad А \tag{3.35}$$

Окончательное значение уставки **«Iмтз 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (3.27)–(3.30) и (3.35).

Коэффициент чувствительности по току МТЗ с пуском по напряжению должен соответствовать требованиям, приведенным в п. 3.8.2, и определяется по формулам (3.31), (3.32).

При применении ВМБ выдержка времени ступени МТЗ выбирается по тем же условиям селективности, что и для МТЗ без ВМБ, поэтому расчет уставки **«Тмтз 1»** задержки срабатывания следует выполнять в соответствии с п. 3.8.2 по формуле (3.33).

Значение уставки **«Uвмб»** следует выбирать наименьшее из двух значений, рассчитанных по условиям [118]:

- возврата пускового органа после отключения внешнего КЗ;
- отстройки от напряжения самозапуска заторможенных двигателей нагрузки от действия АПВ или АВР.

Значение уставки **«Uвмб»** по условию возврата пускового органа после отключения внешнего КЗ следует определять по формуле [118, п.10.4.1.1]:

$$U_{вмб} \leq \frac{U_{мин}}{k_{отс} \cdot k_{в}} \quad В \tag{3.36}$$

где

$U_{мин}$ В — первичное действующее значение междуфазного напряжения в месте установки ТН, к которому подключена защита, после отключения внешнего КЗ; при ориентировочных расчетах может быть принято в пределах (0,85–0,9)$U_{ном}$ в соответствии с [118, п.10.4.1.1]

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1

$k_{в}$ – коэффициент возврата уставки **«Uвмб»**, принимаемый по таблицам 2.6 и 2.7 для соответствующих устройств

Расчет значения уставки **«Uвмб»** по условию отстройки от напряжения самозапуска заторможенных двигателей после АПВ или АВР следует выполнять по формуле [118, п.10.4.1.2]:

$$Uвмб \leq \frac{U_{зап}}{k_{отс}} \quad В \tag{3.37}$$

где

$U_{зап}$ В — первичное действующее значение междуфазного напряжения в месте установки ТН, к которому подключена защита, в условиях самозапуска двигательной нагрузки после срабатывания АПВ или АВР (определяется расчетом); в ориентировочных расчетах может быть принято 0,7$U_{ном}$ в соответствии с [118, п.10.4.1.2]

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1

В качестве значения уставки **«U2 вмб»** рекомендуется принять минимально возможное значение, принимаемое согласно [118, п. 10.4.2]:

$$U2\ вмб = 6 \quad В \tag{3.38}$$

Значение уставки по формуле (3.38) задается во вторичных величинах и в большинстве случаев обеспечивает отстройку от напряжения обратной последовательности, возникающего при небалансе в нагрузочном режиме. Значение уставки может быть уточнено по опыту эксплуатации исходя из реальных значений напряжения небаланса.

При проверке чувствительности уставок **«Uвмб»** и **«U2 вмб»** в качестве расчетных следует принимать те же точки КЗ, что и при расчете коэффициента чувствительности по току в соответствии с п. **3.8.2**.

Коэффициент чувствительности уставки **«Uвмб»** следует определять по формуле:

$$k_{ч} = \frac{Uвмб}{U_{кз.макс}} \tag{3.39}$$

где

$U_{кз.макс}$ В — первичное действующее значение междуфазного напряжения в месте установки защиты при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме, обусловливающем наибольшее значение этого напряжения

Коэффициент чувствительности уставки **«U2 вмб»** следует определять по формуле:

$$k_{ч} = \frac{U_{кз.мин}}{U2\ вмб \cdot k_{ТН}} \tag{3.40}$$

где

$U_{кз.мин}$ В — первичное значение междуфазного напряжения обратной последовательности в месте установки ТН, к которому подключена защита, при металлическом междуфазном КЗ в расчетной точке в режиме, обуславливающем наименьшее значение этого напряжения

$k_{ТН}$ – коэффициент трансформации основной обмотки ТН, определяемый по формуле (2.13)

Коэффициент чувствительности по напряжению для МТЗ с пуском по напряжению, выполняющей функции основной защиты, должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21]:

- около 1,5 – при металлическом КЗ в конце защищаемого участка, без учета резервного действия;
- около 1,3 – при наличии надежно действующей селективной резервной ступени.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 – для измерительных органов тока и напряжения защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента;

- 1,3 – для измерительных органов тока и напряжения при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Коэффициент чувствительности по напряжению для МТЗ с пуском по напряжению, выполняющей функции резервной защиты, должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.25]:

- 1,2 – при КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательно включенных элементов, входящих в зону резервирования.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 15]:

- 1,2 – для измерительных органов напряжения защит, выполняющих функции дальнего резервирования.

3.8.6 Зависимые времятоковые характеристики

3.8.6.1 Общие сведения

МТЗ с зависимой выдержкой времени может применяться в тех случаях, когда требуется уменьшить время отключения близких междуфазных КЗ при сохранении селективности с защитами смежных элементов. В отличие от МТЗ с независимой выдержкой времени, при использовании зависимой ВТХ время срабатывания защиты уменьшается с увеличением кратности тока КЗ, что в ряде случаев позволяет повысить быстродействие отключения повреждений. Применение зависимой ВТХ особенно целесообразно в случаях, когда смежные защиты также имеют зависимые ВТХ, например выполнены на реле типов РТВ-1, РТ-80, цифровых реле с ВТХ, либо когда требуется согласование с ВТХ плавких предохранителей. При выборе зависимой ВТХ следует учитывать, что селективность должна быть проверена во всем диапазоне возможных токов КЗ [123, 124].

Типы ВТХ, реализованные в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 3.10.

Таблица 3.10. Типы ВТХ ступеней МТЗ

ВТХ	ТИП	ВРЕМЯ СРАБАТЫВАНИЯ Т, С	УСТРОЙСТВО	
0	IEC 60255-151-2014 «Нормально инверсная»	$T = \frac{0{,}14 \cdot k_{втх}}{\left(I/I_{мтз}\right)^{0{,}02} - 1} + T_{втх}$	«Алтей», «Лютик»	(3.41)
1	IEC 60255-151-2014 «Сильно инверсная»	$T = \frac{13{,}5 \cdot k_{втх}}{I/I_{мтз} - 1} + T_{втх}$	«Алтей», «Лютик»	(3.42)
2	IEC 60255-151-2014 «Чрезвычайно инверсная»	$T = \frac{80 \cdot k_{втх}}{\left(I/I_{мтз}\right)^{2} - 1} + T_{втх}$	«Алтей», «Лютик»	(3.43)
3	Аналог реле РТВ-1 «Крутая»	$T = \frac{1}{30 \cdot \left(I/I_{мтз} - 1\right)^{3}} + T_{втх}$	«Алтей», «Лютик»	(3.44)
4	Аналог реле РТ-80 «Пологая»	$T = \frac{1}{20 \cdot \left(\frac{I/I_{мтз} - 1}{6}\right)^{1{,}8}} + T_{втх}$	«Алтей», «Лютик»	(3.45)
5	RI	$T = \frac{k_{втх}}{0{,}339 - 0{,}236 \cdot I/I_{мтз}} + T_{втх}$	«Алтей-01», «Лютик-Плюс»	(3.46)

Обозначения для таблицы 3.10:

$k_{втх}$	–	коэффициент времени ВТХ
$I_{мтз}$	А	уставка срабатывания токозависимой МТЗ
$T_{втх}$	с	дополнительная задержка срабатывания ВТХ

I	A	ток через защиту
T	c	время срабатывания при токе I через защиту

Значения и диапазоны задания временного коэффициента $k_{ВТХ}$, используемого при выборе выдержки времени МТЗ с ВТХ, приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Временной коэффициент

ВТХ	ТИП	ВРЕМЕННОЙ КОЭФФИЦИЕНТ «К ВТХ 1» («К ВТХ 2»)	
0	IEC 60255-151-2014 «Нормально инверсная»	$k_{ВТХ} = \frac{(T - T_{ВТХ}) \cdot \left[\left(I/I_{МТЗ}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14}$	(3.47)
1	IEC 60255-151-2014 «Сильно инверсная »	$k_{ВТХ} = \frac{(T - T_{ВТХ}) \cdot \left[I/I_{МТЗ} - 1\right]}{13,5}$	(3.48)
2	IEC 60255-151-2014 «Чрезвычайно инверсная »	$k_{ВТХ} = \frac{(T - T_{ВТХ}) \cdot \left[\left(I/I_{МТЗ}\right)^{2} - 1\right]}{80}$	(3.49)
3	Аналог реле РТВ-1 «Крутая»	Не определяется	
4	Аналог реле РТ-80 «Пологая»	Не определяется	
5	RI	$k_{ВТХ} = (T - T_{ВТХ}) \cdot \left(0,339 - 0,236 \cdot I/I_{МТЗ}\right)$	(3.50)

3.8.6.2 Общие указания по расчету и согласованию

Выбор уставок МТЗ с ВТХ проводится как аналитическим, так и графическим методом. В общем случае предпочтительным является графический метод, основанный на построении карты селективности, поскольку он обеспечивает наглядную оценку согласования защит и позволяет проверить выполнение условий селективности во всем диапазоне возможных токов КЗ, а не только в одной расчетной точке.

Построение карты селективности, как правило, не требуется в случае согласования МТЗ с независимой выдержкой времени, а также при согласовании однотипных ВТХ, когда требуемые параметры могут быть определены аналитически. В случае согласования МТЗ с разнотипными ВТХ, в том числе при сочетании зависимой и независимой характеристик, двух различных зависимых характеристик, ВТХ цифрового реле и времятоковой характеристики плавкой вставки предохранителя, построение карты селективности в координатах «ток – время» является обязательным [123, 124, 163].

При выполнении согласования на карту селективности должны быть нанесены ВТХ рассматриваемой защиты и смежной защиты, с которой выполняется согласование, а при необходимости — также ВТХ плавкой вставки предохранителя или электромеханического реле. ВТХ смежных защит должны быть приведены к стороне установки рассматриваемой защиты. Для построения ВТХ каждой из защит следует определить несколько точек при различных кратностях тока КЗ и по ним построить зависимость времени срабатывания от тока.

Для ВЛ и КЛ 6(10) кВ, питающих протяженные технологические объекты, в том числе объекты предприятий нефтяного сектора, трубопроводного транспорта и иных производств с распределенной линейной инфраструктурой, при наличии автоматических пунктов секционирования условия селективности токовых защит от междуфазных КЗ следует проверять с учетом защит, установленных в указанных пунктах секционирования. При невозможности обеспечения селективности токовых защит с независимыми выдержками времени следует рассматривать применение ступеней МТЗ с зависимой ВТХ.

При расчете токов, используемых для согласования ВТХ, следует учитывать не только ток КЗ в расчетной точке, но и полный ток, проходящий через каждую из согласуемых защит. В ряде схем через вышестоящую защиту, кроме тока КЗ, может дополнительно проходить ток нагрузки неповрежденных присоединений. Игнорирование указанной составляющей может

привести к нарушению селективности, поэтому расчетные токи для построения карты селективности должны определяться с учетом реальных токов, протекающих через соответствующие защиты в рассматриваемом режиме [123, 124, 163].

Выбор типа ВТХ следует производить исходя из условий согласования с характеристиками смежных защит. Типы ВТХ, реализованные в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 3.10. Значения временного коэффициента, используемого при выборе выдержки времени МТЗ с ВТХ, приведены в таблице 3.11. В качестве исходного варианта расчет, как правило, целесообразно начинать с нормально инверсной ВТХ, после чего при необходимости следует выполнить проверку возможности применения других типов ВТХ [124, 163].

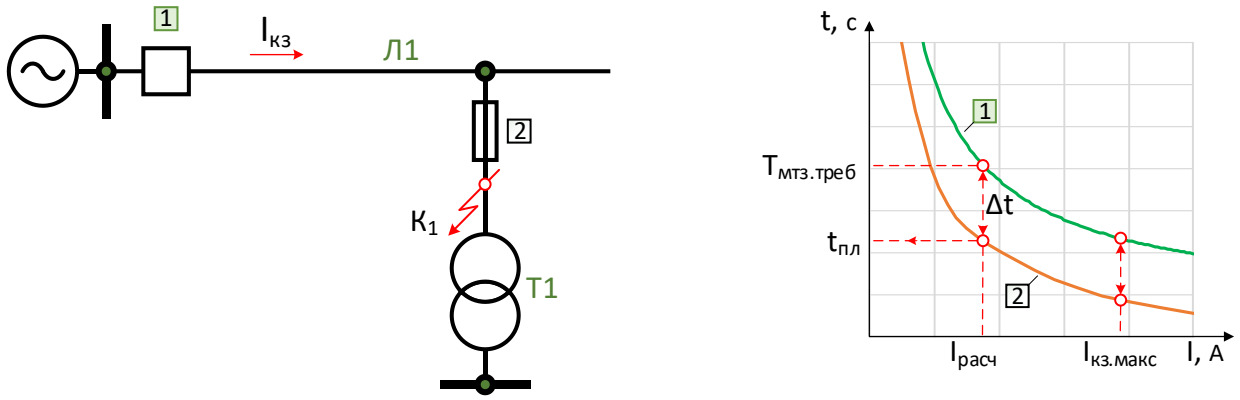
Селективность МТЗ с ВТХ должна считаться обеспеченной только в том случае, если по построенным характеристикам подтверждается выполнение требуемой ступени селективности во всем рассматриваемом диапазоне токов КЗ. В случаях, когда требуемое согласование не обеспечивается выбором одного только типа ВТХ и временного коэффициента, допускается применение дополнительной выдержки времени ВТХ **«Твтх 1»**[1].

Порядок согласования МТЗ с ВТХ зависит от типа смежной защиты, с которой выполняется согласование, и рассматривается далее для наиболее распространенных на практике случаев.

Для получения наилучших условий согласования целесообразно последовательно проверить все доступные типы ВТХ рассматриваемой защиты и принять тот вариант, который обеспечивает требуемую селективность и наименьшее возможное время отключения КЗ.

3.8.6.3 Согласование с предыдущим элементом – плавкой вставкой предохранителя

Согласование МТЗ с ВТХ с плавкой вставкой предохранителя следует выполнять в тех случаях, когда предыдущим элементом является, как правило, понижающий трансформатор 35(10; 6)/0,4 кВ, защита которого выполнена плавкими предохранителями, а последующим элементом является линия 35(10; 6) кВ, защита которой выполнена на цифровом реле с ВТХ. Выбор уставок в указанном случае следует выполнять с использованием карты селективности (рисунок 3.5).



а) б)

Рисунок 3.5. Согласование МТЗ с ВТХ с плавкой вставкой предохранителя: а — расчетная схема; б — карта селективности

При согласовании МТЗ с ВТХ с плавкой вставкой предохранителя селективность следует обеспечивать по условию опережающего действия предохранителя, защищающего трансформатор, по отношению к защите питающей линии. Главной задачей расчета в этом случае является обеспечение селективности работы рассматриваемой защиты линии при устойчивом междуфазном КЗ на выводах ВН рассматриваемого трансформатора [163].

Выбор типа ВТХ МТЗ линии следует производить по карте селективности путем сопоставления ВТХ рассматриваемой защиты с времятоковой характеристикой плавкой вставки предохранителя. При этом в качестве исходного варианта, как правило, целесообразно принимать нормальную ВТХ с последующей проверкой возможности применения других типов ВТХ.

[1] Указанный параметр не предусмотрен стандартом IEC 60255-151-2014 [33]. Однако в [123] указывается, его использование позволяет обеспечить постоянную ступень селективности во всем диапазоне кратностей тока и упростить согласование цифровых защит

Значение уставки **«Iмтз 1»** следует выбирать по общим условиям, приведенным в п. **3.8.2**. Проверку чувствительности МТЗ с ВТХ следует выполнять в соответствии с требованиями п. **3.8.2**, определяя коэффициент чувствительности как отношение минимального тока междуфазного КЗ в расчетной точке к значению уставки **«Iмтз 1»**.

В качестве расчетной точки согласования при выборе уставок МТЗ с ВТХ с плавкой вставкой предохранителя, как правило, следует принимать выводы ВН трансформатора, защищенного предохранителем (точка $К_1$ на рисунке 3.5, а).

Значение расчетного тока, по которому определяется время плавления плавкой вставки предохранителя, следует определять по формуле:

$$I_{расч} = 0{,}8 \cdot I^{2}_{кз.мин} \quad А \tag{3.51}$$

где

$I^{2}_{кз.мин}$ А минимальный ток двухфазного КЗ в расчетной точке согласования, приведенный к стороне установки предохранителя

Коэффициент 0,8 в формуле (3.51) учитывает возможный разброс времятоковой характеристики плавкой вставки предохранителя в пределах ±20 %.

Требуемое время срабатывания МТЗ при КЗ в расчетной точке по условию согласования с плавкой вставкой предохранителя следует определять по формуле[1]:

$$T_{мтз.треб} = t_{пл} + \Delta t \quad с \tag{3.52}$$

где

$t_{пл}$ с время плавления плавкой вставки предохранителя, определяемое по его ВТХ при расчетном токе $I_{расч}$, значение которого определяется по формуле (3.51)

Δt с ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Далее для принятого типа ВТХ по формулам (3.47)–(3.50), соответствующим выбранному типу характеристики, определяется значение уставки **«kвтх 1»** коэффициента времени ВТХ. Расчет выполняется по принятому значению уставки **«Iмтз 1»**, расчетному току, определяемому по формуле (3.51), и требуемому времени срабатывания $T_{мтз.треб}$, определяемому по формуле (3.52).

По рассчитанному значению уставки **«kвтх 1»** строятся дополнительные точки ВТХ, после чего на карту селективности наносится ВТХ в виде зависимости времени срабатывания от тока и выполняется проверка ее селективности с характеристикой плавкой вставки предохранителя. Как правило, расчет рекомендуется начинать с нормально инверсной ВТХ.

При этом принятая ступень селективности Δt обеспечивается в расчетной точке при токе $I_{расч}$. Далее по карте селективности должна быть проверена селективность между ВТХ МТЗ и времятоковой характеристикой плавкой вставки предохранителя во всем рассматриваемом диапазоне токов КЗ — от $I_{расч}$ до $I_{кз.макс}$, где $I_{кз.макс}$ — максимальный ток трехфазного КЗ в расчетной точке. В указанном диапазоне пересечение характеристик не допускается.

Если по результатам построения карты селективности обнаружено пересечение характеристик, согласование следует считать неудовлетворительным. В этом случае необходимо выбрать другой тип ВТХ, повторно определить уставку **«kвтх 1»** и вновь выполнить проверку по карте селективности. При невозможности обеспечения требуемого согласования указанным способом следует увеличить требуемое время срабатывания $T_{мтз.треб}$, повторно определить значение уставки **«kвтх 1»** и вновь выполнить проверку по карте селективности.

3.8.6.4 Согласование с предыдущим элементом – электромеханическим реле типа РТ-80 или РТВ-1

При согласовании МТЗ с ВТХ с предыдущим элементом, защита которого выполнена на электромеханическом реле типа РТ-80 или РТВ-1, значение ступени селективности следует принимать по таблице 3.3.

В качестве расчетной точки согласования, как правило, следует принимать начало предыдущего участка (точка $К_1$ на рисунке 3.6, а).

[1] В формулах зависимых ВТХ, приведенных в **3.8.6**, параметр T соответствует времени срабатывания защиты при заданной кратности тока. При расчете уставки **«kвтх 1»** значение T следует принимать равным требуемому времени срабатывания $T_{мтз.треб}$, определенному по соответствующей формуле для рассматриваемого случая согласования

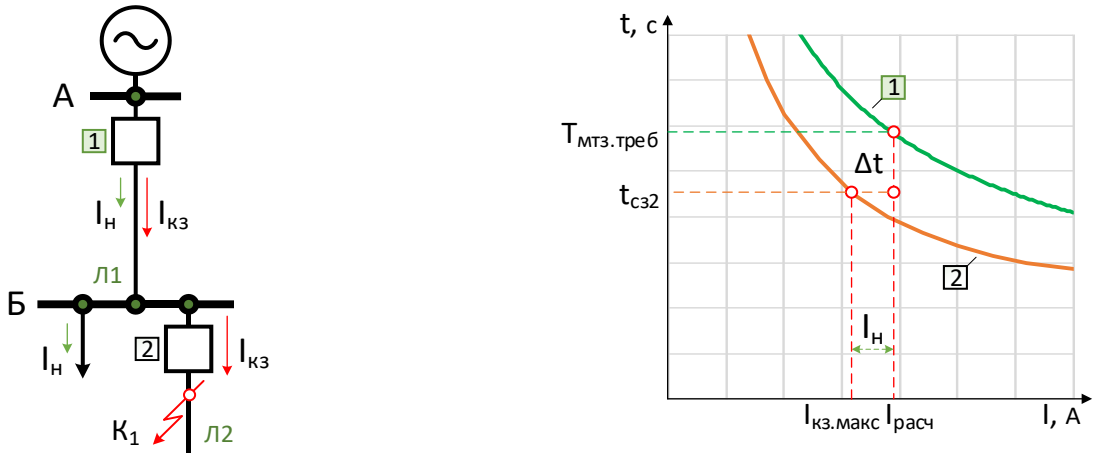


Рисунок 3.6. Согласование МТЗ с ВТХ с предыдущим элементом, защита которого выполнена на электромеханическом реле типа РТ-80 (РТВ-1): а — расчетная схема; б — карта селективности

Значение уставки **«Iмтз 1»** следует выбирать по общим условиям, приведенным в п. **3.8.2**. Проверку чувствительности МТЗ с ВТХ следует выполнять в соответствии с требованиями п. **3.8.2**.

При выполнении согласования следует учитывать, что через предыдущую защиту, с которой выполняется согласование, проходит только максимальный ток КЗ, а через рассматриваемую защиту — суммарный ток КЗ и нагрузки неповрежденных элементов. Значение расчетного тока следует определять по формуле:

$$I_{расч} = I_{кз.макс} + I_{н} \quad А \tag{3.53}$$

где

$I_{кз.макс}$ А максимальный ток КЗ в расчетной точке ($К_1$ на рисунке 3.6, а)

$I_{н}$ А ток нагрузки, проходящий через последующую защиту и не проходящий через рассматриваемую защиту (на рисунке 3.6 — ток неповрежденных элементов ПС Б)

При отсутствии указанной нагрузочной составляющей следует принимать:

$$I_{расч} = I_{кз.макс} \ [А] \tag{3.54}$$

При этом время срабатывания предыдущей защиты определяется при токе $I_{кз.макс}$, а ВТХ рассматриваемой защиты строится по току $I_{расч}$.

При определении времени срабатывания по времятоковой характеристике электромеханического реле следует учитывать, что по оси абсцисс таких характеристик часто откладывается не ток в амперах, а отношение тока в реле к току срабатывания, выраженное в процентах. В этом случае перевод значения оси X в амперы следует выполнять по формуле:

$$I_{р} = I_{ср} \cdot \frac{X}{100} \quad А \tag{3.55}$$

где

$I_{р}$ А соответствующий ток в реле

X % значение по оси абсцисс ВТХ, выраженное в процентах и показывающее, какую долю от тока срабатывания составляет рассматриваемый ток

$I_{р}$ А ток, фактически проходящий через реле при данном значении X. Полученное значение используется для нахождения времени срабатывания по ВТХ реле

Требуемое время срабатывания МТЗ по условию согласования с предыдущей защитой следует определять по формуле:

$$T_{мтз.треб} = t_{сз.пред} + \Delta t \quad с \tag{3.56}$$

где

$t_{сз.пред}$ с время срабатывания предыдущей защиты (защита 2 на рисунке 3.6, а), определяемое по ВТХ реле РТ-80 или РТВ-1 при максимальном токе КЗ в расчетной точке (точка $К_1$ на рисунке 3.6, а)

Δt с ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

При согласовании с предыдущей защитой, выполненной на реле типа РТ-80 или РТВ-1, тип ВТХ рассматриваемой защиты следует выбирать по карте селективности. При этом для реле типа РТ-80 проверку целесообразно начинать с «пологой»

ВТХ, а для реле типа РТВ-1 — с «крутой» ВТХ. При неудовлетворительном согласовании должна быть дополнительно проверена возможность применения нормально инверсной и других типов ВТХ.

Если для согласования выбрана нормально инверсная или иная ВТХ, для которой предусмотрено задание коэффициента времени, далее для принятого типа ВТХ по формулам (3.47)–(3.50), соответствующим выбранному типу характеристики, определяется значение уставки **«kвтх 1»** коэффициента времени ВТХ. При этом расчет выполняется по принятому значению уставки **«Iмтз 1»**, расчетному току, определяемому по формулам (3.53) или (3.54), и требуемому времени срабатывания $T_{мтз.треб}$, определяемому по формуле (3.56).

По рассчитанному значению уставки **«kвтх 1»** строятся дополнительные точки ВТХ, после чего на карту селективности наносится ВТХ рассматриваемой защиты в виде зависимости времени срабатывания от тока и выполняется проверка ее селективности с ВТХ предыдущей защиты. Если для согласования выбрана специальная ВТХ, аппроксимирующая характеристику реле типа РТ-80 или РТВ-1, значение уставки **«kвтх 1»** не определяется, а построение карты селективности и проверка согласования выполняются непосредственно для выбранной характеристики.

После выбора типа ВТХ и, при необходимости, определения значения уставки **«kвтх 1»** по карте селективности должна быть проверена селективность между ВТХ рассматриваемой защиты и ВТХ предыдущей защиты во всем рассматриваемом диапазоне токов КЗ. Как показано на рисунке 3.6, б, в указанном диапазоне пересечение характеристик не допускается. Окончательный выбор типа ВТХ рассматриваемой защиты следует производить по результатам указанной проверки. Если по карте селективности обнаружено пересечение характеристик, необходимо выбрать другой тип ВТХ и повторить расчет. При невозможности обеспечения требуемого согласования указанным способом следует увеличить требуемое время срабатывания $T_{мтз.треб}$, повторно определить значение уставки **«kвтх 1»** и вновь выполнить проверку по карте селективности.

3.8.6.5 Согласование с предыдущим элементом – цифровым реле

При согласовании МТЗ с ВТХ с предыдущим элементом, защита которого выполнена на цифровом реле, значение ступени селективности следует принимать по таблице 3.3.

В качестве расчетной точки согласования, как правило, следует принимать начало предыдущего участка (точка K_1 на рисунке 3.6, а).

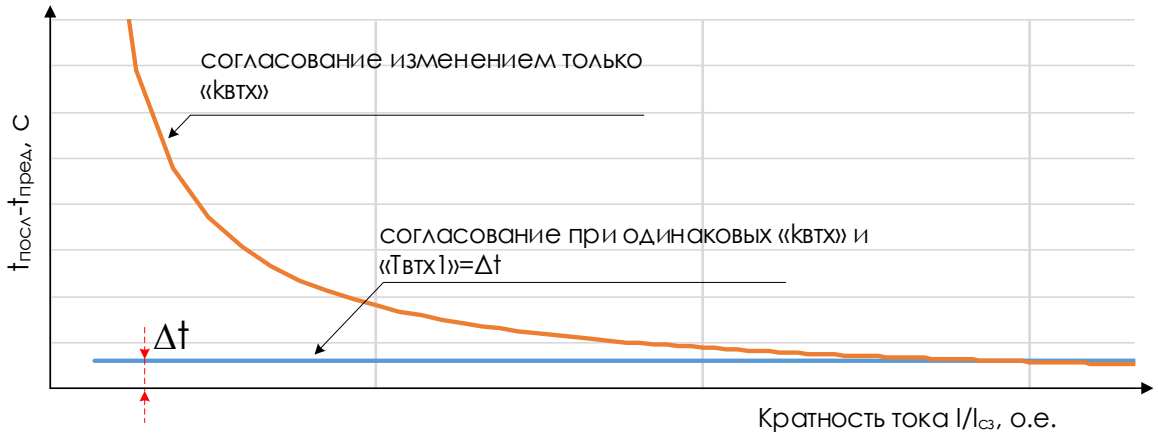


Рисунок 3.7. Зависимость разности времен срабатывания предыдущей и последующей цифровых защит от кратности тока при различных способах их согласования

Значение уставки **«Iмтз 1»** следует выбирать по общим условиям, приведенным в п. **3.8.2**. Проверку чувствительности МТЗ с ВТХ следует выполнять в соответствии с требованиями п. **3.8.2**.

При выполнении согласования следует учитывать, что через предыдущую защиту проходит только максимальный ток КЗ, а ВТХ рассматриваемой защиты строится по расчетному току, определяемому по формулам (3.53) или (3.54).

Тип ВТХ рассматриваемой защиты следует выбирать с учетом типа ВТХ предыдущей защиты. Как правило, для предварительного согласования целесообразно принимать аналогичный тип характеристики предыдущей защиты. Окончательный выбор типа ВТХ должен производиться по результатам проверки по карте селективности.

Требуемое время срабатывания МТЗ по условию согласования с предыдущей защитой при КЗ в расчетной точке следует определять по формуле:

$$T_{мтз.треб}=t_{сз.пред}+\Delta t \quad с \tag{3.57}$$

где

$t_{сз.пред}$ с время срабатывания предыдущей защиты (защита 2 на рисунке 3.6, а), определяемое по характеристике цифрового реле при максимальном токе КЗ в расчетной точке (точка K_1 на рисунке 3.6, а)

Δt с ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Согласование рассматриваемой защиты с предыдущей цифровой защитой может выполняться двумя способами.

В первом случае согласование выполняется изменением уставки **«квтх 1»** рассматриваемой защиты. В этом случае для принятого типа ВТХ по формулам (3.47)–(3.50), соответствующим выбранному типу характеристики, определяется значение уставки **«квтх 1»** коэффициента времени ВТХ. Расчет выполняется по принятому значению уставки **«Iмтз 1»**, расчетному току, определяемому по формулам (3.52) и (3.53), и требуемому времени срабатывания $T_{мтз.треб}$, определяемому по формуле (3.57).

По рассчитанному значению уставки **«квтх 1»** строятся дополнительные точки ВТХ, после чего на карту селективности наносится ВТХ рассматриваемой защиты и выполняется проверка ее селективности с ВТХ предыдущей защиты. При таком способе согласования фактическая разность времен срабатывания защит зависит от кратности тока и совпадает с принятой ступенью селективности Δt только в расчетной точке [124].

Особенности согласования предыдущей и рассматриваемой цифровых реле при различных способах выбора параметров ВТХ поясняются рисунком 3.7.

Во втором случае, предложенном в [124], согласование выполняется при одинаковых типах ВТХ и одинаковых значениях уставок **«квтх»** предыдущей и рассматриваемой защит. В этом случае значение уставки **«квтх 1»** принимается равным значению уставки предыдущей защиты, а требуемая ступень селективности вводится в рассматриваемую защиту в виде дополнительной постоянной времени. Значение уставки **«Твтх 1»** следует определять по формуле:

$$Твтх\ 1=\Delta t \quad с \tag{3.58}$$

При одинаковых значениях уставок **«квтх»** и при введении уставки **«Твтх 1»**, равной ступени селективности Δt, обеспечивается постоянная разность времен срабатывания предыдущей и рассматриваемой защит во всем диапазоне кратностей тока. Указанное поясняется рисунком 3.7, на котором показано изменение разности времен срабатывания при согласовании изменением только уставки **«квтх»** и при согласовании с одинаковыми значениями **«квтх»** и введением уставки **«Твтх 1»**.

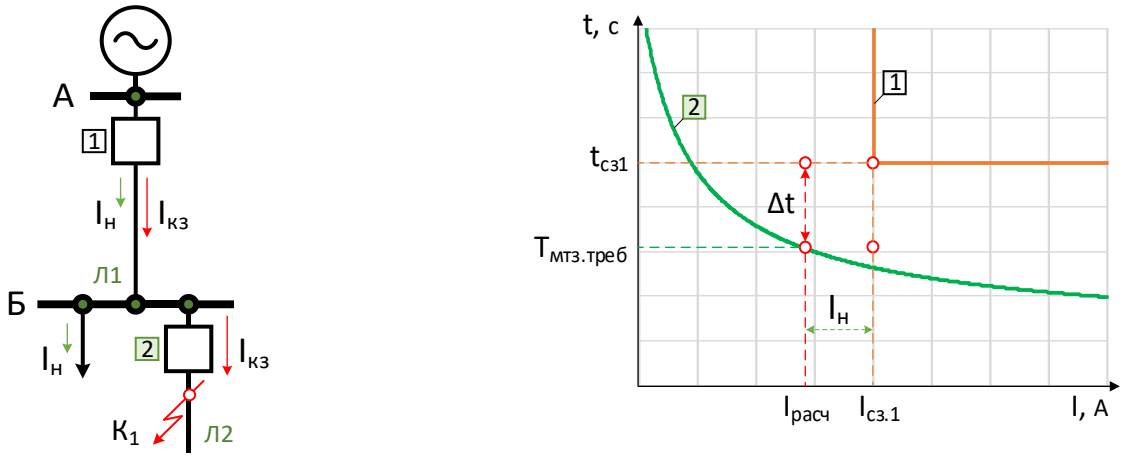
После выбора способа согласования по карте селективности должна быть проверена селективность между ВТХ рассматриваемой защиты и ВТХ предыдущей защиты во всем рассматриваемом диапазоне токов КЗ. В указанном диапазоне пересечение характеристик не допускается.

Если по результатам построения карты селективности обнаружено пересечение характеристик либо фактический запас по времени на каком-либо участке диапазона токов КЗ оказывается меньше требуемой ступени селективности Δt, согласование следует считать неудовлетворительным. В этом случае необходимо выбрать другой тип ВТХ либо изменить способ согласования и повторить проверку. При невозможности обеспечения требуемого согласования указанным способом следует увеличить требуемое время срабатывания $T_{мтз.треб}$, повторно определить значение уставки **«квтх 1»** и вновь выполнить проверку по карте селективности.

3.8.6.6 Согласование с последующим элементом – реле с независимой выдержкой времени

Согласование МТЗ с ВТХ с последующим элементом, защита которого выполнена на реле с независимой выдержкой времени, следует выполнять с использованием карты селективности.

В качестве расчетной точки согласования, как правило, следует принимать начало предыдущего участка (точка K_1 на рисунке 3.8, а). При этом время срабатывания последующей защиты (защита 1 на рисунке 3.8, а) принимается равным уставке ее независимой выдержки времени [163].



а) б)

Рисунок 3.8. Согласование МТЗ с ВТХ с последующей защитой с независимой выдержкой времени: а — расчетная схема; б — карта селективности

Значение уставки **«Iмтз 1»** следует выбирать по общим условиям, приведенным в п. **3.8.2**. Проверку чувствительности МТЗ с ВТХ следует выполнять в соответствии с требованиями п. **3.8.2**.

Значение расчетного тока, при котором должна обеспечиваться ступень селективности с последующей защитой, следует определять по формуле:

$$I_{расч} = I_{сз.послед} - I_{н} \quad А \tag{3.59}$$

где

$I_{сз.послед}$	А	ток срабатывания последующей защиты (защита 1 на рисунке 3.8)
$I_{н}$	А	ток нагрузки, проходящий через последующую защиту и не проходящий через рассматриваемую защиту (на рисунке 3.8 — ток неповрежденных элементов ПС Б)

При отсутствии указанной нагрузочной составляющей следует принимать:

$$I_{расч} = I_{сз.послед} \quad А \tag{3.60}$$

Требуемое время срабатывания МТЗ по условию согласования с последующей защитой при КЗ в расчетной точке следует определять по формуле:

$$T_{мтз.треб}=t_{сз.послед} - \Delta t \quad с \tag{3.61}$$

где

$t_{сз.послед}$	с	выдержка времени последующей защиты с независимой выдержкой времени (защита 1 на рисунке 3.8)
Δt	с	ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Далее для принятого типа ВТХ по формулам (3.47)–(3.50), соответствующим выбранному типу характеристики, определяется значение уставки **«kвтх 1»** коэффициента времени ВТХ. Расчет выполняется по принятому значению уставки **«Iмтз 1»**, расчетному току $I_{расч}$ и требуемому времени срабатывания $T_{мтз.треб}$, определяемому по формуле (3.61).

По рассчитанному значению уставки **«kвтх 1»** строятся дополнительные точки ВТХ, после чего на карту селективности наносится ВТХ рассматриваемой защиты и выполняется проверка ее согласования с характеристикой последующей защиты. Как правило, расчет рекомендуется начинать с нормально инверсной ВТХ.

По карте селективности должна быть проверена селективность между ВТХ рассматриваемой защиты и характеристикой последующей защиты во всем рассматриваемом диапазоне токов КЗ. В указанном диапазоне пересечение характеристик не допускается.

Если по результатам построения карты селективности обнаружено пересечение характеристик либо не обеспечивается требуемая ступень селективности Δt при токе $I_{расч}$, согласование следует считать неудовлетворительным. В этом случае необходимо выбрать другой тип ВТХ, повторно определить уставку **«kвтх 1»** и вновь выполнить проверку по карте селективности.

3.8.6.7 Дополнительная задержка срабатывания ВТХ

Значение уставки **«Твтх 1»**, как правило, следует принимать равным нулю. Положительное значение указанной уставки допускается задавать в тех случаях, когда для обеспечения требуемых условий согласования необходим дополнительный временной сдвиг ВТХ рассматриваемой защиты. Окончательный выбор значения уставки **«Твтх 1»** должен производиться по результатам проверки по карте селективности.

Один из таких случаев рассмотрен в п. **3.8.6.5** при согласовании предыдущей и рассматриваемой защит, выполненных на цифровых реле, при одинаковых типах ВТХ и одинаковых значениях уставок **«kвтх»**. В указанном случае значение уставки **«Твтх 1»** принимается равным требуемой ступени селективности Δt, что позволяет обеспечить постоянную разность времен срабатывания защит во всем диапазоне кратностей тока.

3.9 НАПРАВЛЕННЫЕ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ В СЕТЯХ С ДВУСТОРОННИМ ПИТАНИЕМ И КОЛЬЦЕВЫХ СЕТЯХ

3.9.1 Общие сведения

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.103, 3.2.104], на линиях с двусторонним питанием должны предусматриваться направленные токовые защиты, поскольку при междуфазных КЗ токи поступают к месту повреждения с обеих сторон линии и селективность в таких сетях, как правило, не может быть обеспечена только ступенчатым выбором токов срабатывания и выдержек времени.

В рамках настоящего раздела под контролем направления мощности понимается функция алгоритма **«КЭП»**, обеспечивающая контроль направления мощности и формирование сигналов, используемых в алгоритмах токовых защит. Под направленной токовой защитой понимается ТО, МТЗ или иная токовая защита, в алгоритме которой используются сигналы контроля направления мощности.

Для присоединений с двусторонним питанием в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** предусмотрена возможность работы ТО и МТЗ с контролем направления мощности. Для ТО и МТЗ может задаваться направление, при котором выполняется блокирование защиты: обратное или прямое. При выявлении неисправности цепей напряжения контроль направления мощности автоматически выводится из работы, а соответствующие ступени ТО и МТЗ продолжают работу без контроля направления мощности.

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** при необходимости применения различных значений уставок направленных токовых защит для противоположных направлений потока мощности допускается предусматривать автоматический выбор соответствующей программы уставок по признаку направления мощности. Выбор программ и выдержки времени их смены следует выполнять в соответствии с **13.1**.

Следует учитывать, что направленная МТЗ в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** может применяться с дополнительными функциями, которые должны учитываться при выборе уставок в зависимости от принятого алгоритма защиты и условий работы конкретного присоединения. В частности, направленная МТЗ может быть выполнена:

- с ускорением при включении — расчет уставок приведен в п. **3.8.3**;
- с грубыми ступенями — расчет уставок приведен в п. **3.8.4**;
- с пуском по напряжению — расчет уставок приведен в п. **3.8.5**;
- с зависимой времятоковой характеристикой — расчет уставок приведен в п. **3.8.6**.

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТ и ТН.

3.9.2 Выбор параметров направленности

Значение уставки **«Фмч»** следует выбирать исходя из фазовых соотношений между фазным током и соответствующим междуфазным напряжением при расчетном междуфазном КЗ в конце защищаемой линии в направлении действия защиты и определяется по формуле:

$$\text{Фмч} = -\left(90 - \text{arctg}\frac{\sum X}{\sum R}\cdot\frac{180}{\pi}\right) \text{ град} \quad (3.62)$$

где

$\sum X$ Ом суммарное эквивалентное индуктивное сопротивление системы и защищаемой линии при КЗ в конце защищаемого участка

$\sum R$ Ом суммарное эквивалентное активное сопротивление системы и защищаемой линии при КЗ в конце защищаемого участка

При отсутствии уточненных расчетных данных для распределительных сетей 6–35 кВ значение уставки **«Фмч»** рекомендуется принимать равным:

$$\text{Фмч} = -45 \text{ град} \quad (3.63)$$

3.9.3 Токовая отсечка

ТО в сетях с двусторонним питанием и в кольцевых сетях может применяться как первая ступень направленной токовой защиты без выдержки времени, а также как вторая ступень – с выдержкой времени. Применительно к устройствам **«Алтей»** и **«Лютик»** указанным ступеням соответствуют ступени ТО1 и ТО2. Сочетание направленных отсечек с направленной МТЗ позволяет получить ступенчатую токовую защиту, обеспечивающую селективное отключение поврежденного участка в тех случаях, когда такая защита удовлетворяет требованиям по селективности и чувствительности.

Для линии с двусторонним питанием, показанной на рисунке 3.9, первую ступень ТО следует предусматривать с обеих сторон линии. Ток срабатывания первой ступени должен выбираться по условию отстройки от максимального тока КЗ на шинах противоположной подстанции, а также, при необходимости, от максимального уравнительного тока, обусловленного качаниями и нарушением синхронизма между источниками питания.

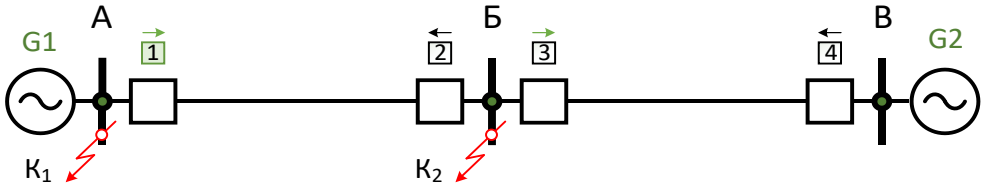


Рисунок 3.9. Схема участка сети с двусторонним питанием. 1–4 – комплекты направленных токовых защит; K_1, K_2 – расчетные точки междуфазных КЗ; стрелками показано направление действия защит

Значение уставки **«Iто 1»** первой ступени направленной ТО по условию отстройки от максимального тока КЗ на шинах противоположной подстанции, соответствующего направлению, в котором разрешено действие защит, следует определять по формуле [2, 156]:

$$\text{Iто 1} = k_{\text{отс}} \cdot I^{(3)}_{\text{кз.макс.ш}} \text{ А} \quad (3.64)$$

где

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,2–1,3

$I^{(3)}_{\text{кз.макс.ш}}$ А максимальный ток трехфазного КЗ, проходящий через рассматриваемую защиту при КЗ на шинах противоположной подстанции и соответствующий направлению действия защиты (для защиты 1 на рисунке 3.9 – в точке K_2)

Значение уставки **«Iто 1»** первой ступени направленной ТО по условию отстройки от уравнительного тока следует определять по формуле [2, 156]:

$$\text{Iто 1} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{ур.макс}} \text{ А} \quad (3.65)$$

где

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,2–1,3

$I_{\text{ур.макс}}$ А максимальный уравнительный ток в линии, который может возникать при качаниях, в том числе при асинхронном режиме

Окончательное значение уставки **«Iто 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (3.64) и (3.65).

Вторая ступень ТО представляет собой токовую защиту от междуфазных КЗ, выполняемую с выдержкой времени и предназначенную для ускоренного отключения повреждений в той части защищаемого элемента, где первая ступень ТО уже не обеспечивает требуемой чувствительности.

При выборе тока срабатывания второй ступени направленной ТО необходимо учитывать так называемые токи «подпитки». Как следует из рисунка 3.10, при трехфазных КЗ в точках $К_1$ и $К^2$ ток $I^{(3)}_{кз}$, проходящий в месте установки защиты 1, оказывается меньше токов $I^{(3)}_{кз.л}$ и $I^{(3)}_{кз.т}$ за счет тока «подпитки» от генератора G2.

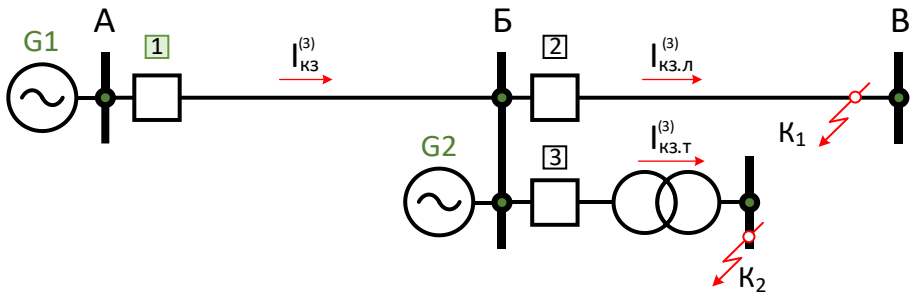


Рисунок 3.10. Схема участка сети, поясняющая учет токораспределения при выборе уставок направленных токовых защит

Для схемы, приведенной на рисунке 3.10, подпитку рекомендуется учитывать введением коэффициентов токораспределения, определяемых по формулам [2]:

$$k_{р.л} = \frac{I^{(3)}_{кз}}{I^{(3)}_{кз.л}} \quad (3.66)$$

$$k_{р.т} = \frac{I^{(3)}_{кз}}{I^{(3)}_{кз.т}} \quad (3.67)$$

где

$k_{р.л}$	–	коэффициент токораспределения при согласовании с первыми ступенями защит, отходящих от шин противоположной подстанции линий (защита 2)
$k_{р.т}$	–	коэффициент токораспределения при согласовании с быстродействующими защитами трансформаторов, подключенных к шинам противоположной подстанции (защита 3)
$I^{(3)}_{кз}$	А	ток трехфазного КЗ, проходящий в месте установки рассматриваемой защиты 1
$I^{(3)}_{кз.л}$	А	ток трехфазного КЗ в месте установки защиты линии 2, отходящей от шин противоположной подстанции (точка $К_1$)
$I^{(3)}_{кз.т}$	А	ток трехфазного КЗ в месте установки быстродействующей защиты 3 трансформатора, подключенного к шинам противоположной подстанции (точка $К_2$)

Расчет значения уставки **«Iто 2»** второй ступени направленной ТО с выдержкой времени следует выполнять в соответствии с п. 3.6.2. При этом для схем с двусторонним питанием и для схем, в которых имеет место подпитка от смежных источников питания, коэффициенты токораспределения $k_{р.л}$ и $k_{р.т}$, определяемые по формулам (3.66) и (3.67), должны учитываться в соответствии с конфигурацией расчетной схемы и направлением действия защиты.

Окончательное значение уставки **«Iто 2»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по расчетным условиям, приведенным в п. 3.6.2, с учетом токораспределения.

Проверку чувствительности второй ступени направленной токовой отсечки с выдержкой времени кольцевой линии или линии с двусторонним питанием следует выполнять по аналогии с указаниями п. 3.6.2. При этом в качестве расчетного значения тока КЗ следует принимать ток, проходящий через рассматриваемую защиту в направлении ее действия, с учетом токораспределения.

Расчет значения уставки **«Tто 2»** второй ступени направленной ТО с выдержкой времени следует выполнять в соответствии с п. 3.6.2. При этом выдержка времени должна обеспечивать селективное согласование с первыми ступенями защит отходящих линий и с быстродействующими защитами трансформаторов, подключенных к шинам противоположной подстанции. Дополнительные условия выбора выдержек времени ступеней ТО при введенном контроле направления мощности приведены в п. 3.7.

Для кольцевых сетей с одним источником питания выбор параметров второй ступени направленной ТО следует выполнять по тем же принципам, что и для линий с двусторонним питанием: по времени — с согласованием с быстродействующими защитами смежного участка в направлении действия защиты, по току — исходя из значения тока КЗ, проходящего через рассматриваемую защиту в направлении ее действия, с учетом токораспределения.

3.9.4 Максимальная токовая защита

МТЗ в сетях с двусторонним питанием и в кольцевых сетях применяется в качестве направленной токовой защиты, обеспечивающей отключение междуфазных КЗ в пределах защищаемого участка и резервирование смежных элементов сети. Применительно к устройствам **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** указанная защита выполняется ступенями МТЗ 1 и МТЗ 2. В зависимости от состава установленных защит и их чувствительности направленная МТЗ может выполнять функции как основной, так и резервной защиты.

Расчет значения уставки **«Iмтз 1»** направленной МТЗ следует выполнять в соответствии с п. **3.8.2**. При этом при определении максимального рабочего тока следует учитывать режим, соответствующий направлению мощности от шин в линию.

Проверку чувствительности направленной МТЗ следует выполнять по аналогии с указаниями подраздела **3.8.2**, принимая в качестве расчетного ток КЗ, проходящий через рассматриваемую защиту в направлении ее действия.

Расчет значения уставки **«Tмтз 1»** направленной МТЗ с независимой выдержкой времени следует выполнять по аналогии с подразделом **3.8.2**, а для защит с зависимой ВТХ – в соответствии с подразделом **3.8.6**.

Следует учитывать, что в алгоритмах **«МТЗ 1»** и **«МТЗ 2»** устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** при неисправности цепей напряжения выполняется вывод контроля направления мощности. В связи с этим значение уставки **«Iмтз 1»** должно быть также отстроено от максимального рабочего тока при нормальной работе вне зависимости от направления мощности. Если средствами ГЛ при неисправности цепей напряжения предусмотрен вывод соответствующих ступеней МТЗ, указанное условие допускается не учитывать.

В связи с этим значение уставки **«Iмтз 1»** тока срабатывания по условию отстройки рабочего максимального тока при нормальной работе следует определять по формуле:

$$I_{мтз\ 1} = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot I_{раб.макс} \quad А \tag{3.68}$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1

$k_{в}$ – коэффициент возврата уставки **«Iмтз 1»**, принимаемый по таблицам 3.7, 3.8, 3.9 для соответствующих устройств

$I_{раб.макс}$ А максимальный рабочий ток защищаемого присоединения вне зависимости от направления мощности

Окончательное значение уставки **«Iмтз 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, рассчитанных по условиям, приведенным в подразделе **3.8.2**, а также по указанному выше условию отстройки от рабочего тока при неисправности цепей напряжения.

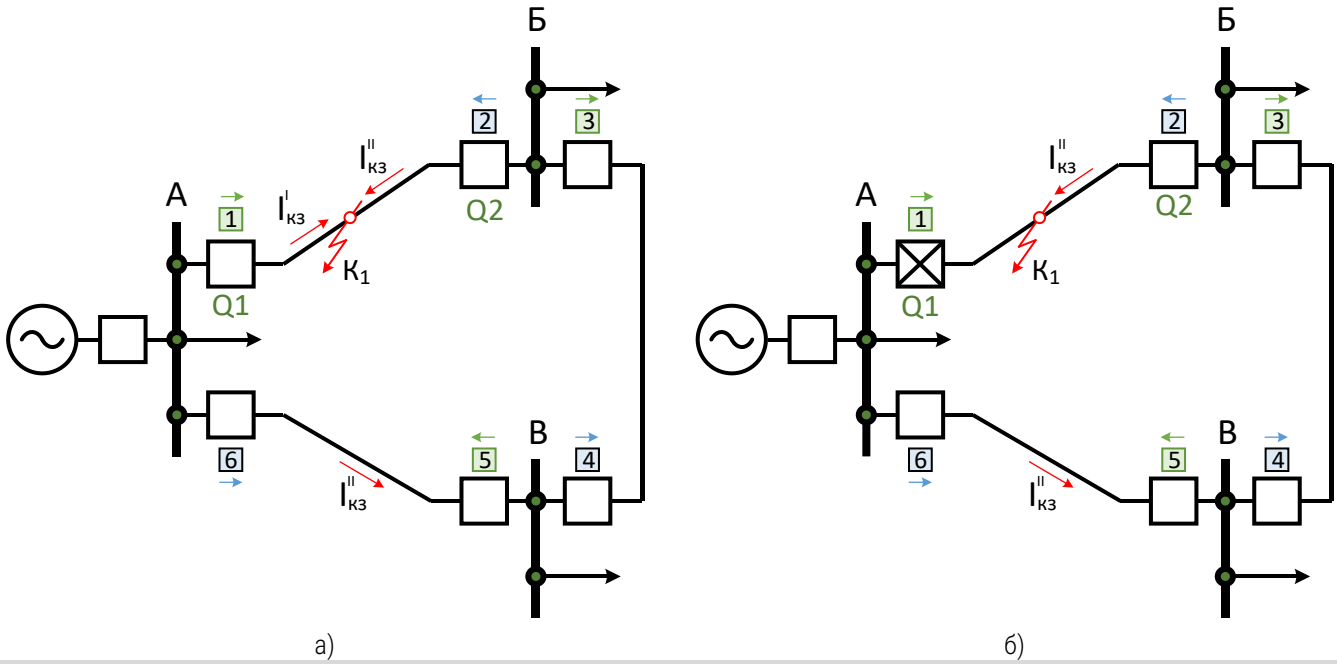


Рисунок 3.11. Схема участка кольцевой сети с одним источником питания, поясняющая каскадное действие направленных токовых защит: а) до срабатывания защиты 1; б) после срабатывания защиты 1

Для кольцевой сети с одним источником питания необходимо учитывать возможность каскадного действия защит. На рисунке 3.11, а показано распределение токов КЗ до работы защиты 1, а на рисунке 3.11, б — после отключения выключателя Q1 защитой 1.

При КЗ на головном участке АБ вблизи шин подстанции А, например в точке $К_1$, ток КЗ в точку повреждения в основном проходит через выключатель Q1 — ток $I'_{кз}$ (рисунок 3.11, а). Только небольшая доля тока КЗ, равная $I''_{кз}$, замыкается по кольцу. При приближении точки повреждения $К_1$ к шинам А ток $I''_{кз}$ уменьшается и при некотором расстоянии между точкой $К_1$ и подстанцией А становится меньше тока, необходимого для срабатывания защиты 2.

В этом случае защита 2 срабатывает только после отключения защитой 1 выключателя Q1, когда весь ток повреждения проходит по кольцу (рисунок 3.11, б). Таким образом, при повреждении в пределах некоторой зоны, расположенной в рассматриваемом случае у шин А, защита 2 действует только после срабатывания защиты 1 независимо от соотношения их выдержек времени. Такое поочередное действие защит называется каскадным, а указанная зона — зоной каскадного действия[1].

При каскадном действии защит время отключения поврежденного участка увеличивается. Кроме того, может происходить неправильная работа защит 4 и 6, органы направления мощности которых при коротком замыкании в точке $К_1$ находятся в состоянии после срабатывания. Неправильное действие может произойти в том случае, если их токи срабатывания меньше $I''_{кз}$, а ток срабатывания защиты 2 — больше $I''_{кз}$.

В связи с этим при выборе выдержек времени последующих защит необходимо учитывать возможность каскадного действия. При необходимости для обеспечения селективности следует увеличивать ступень селективности последующих защит.

Для исключения нарушения селективности в режиме каскадного действия необходимо согласовывать чувствительность защит смежных участков. Такое согласование, как и выбор выдержек времени, следует выполнять только для защит, входящих в одну группу по направлению действия, например 2, 4 и 6 на рисунке 3.11. При этом защита, имеющая меньшую выдержку времени, должна иметь и меньший ток срабатывания, то есть, применительно к рисунку 3.11.

$$I_{мтз.2} < I_{мтз.4} < I_{мтз.6} \quad (3.69)$$

3.10 ТОКОВЫЕ ЗАЩИТЫ ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ ПРИСОЕДИНЕНИЙ 6–35 КВ

3.10.1 Токовые защиты от междуфазных КЗ вводного и секционного выключателей

3.10.1.1 Общие сведения

На вводном и секционном выключателях напряжением 6–35 кВ, как правило, предусматривается МТЗ с зависимой или независимой от тока выдержкой времени.

По умолчанию указанные защиты на ВВ и СВ выполняются ненаправленными и без пуска по напряжению. Однако в зависимости от условий конкретного применения может быть задействован контроль направленности и/или вольтметровая блокировка.

При установке на отходящих присоединениях МТЗ с независимыми ВТХ, для защиты ввода, как правило, применяется независимая характеристика.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** данная защита реализовывается с помощью первой ступени МТЗ 1 в алгоритмах **«Максимальная токовая защита 1»**; в устройстве **«Лютик»** — в алгоритме **«Максимальная токовая защита»**.

Следует учитывать, что направленная МТЗ в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** может применяться с дополнительными функциями, которые должны учитываться при выборе уставок в зависимости от принятого алгоритма защиты и условий работы конкретного присоединения. В частности, направленная МТЗ может быть выполнена:

- с ускорением при включении — расчет уставок приведен в п. **3.8.3**;
- с грубыми ступенями — расчет уставок приведен в п. **3.8.4**;
- с пуском по напряжению — расчет уставок приведен в п. **3.8.5**;

[1] Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**], каскадное действие релейной защиты — аварийное отключение поврежденного элемента энергосистемы, при котором выполняется последовательное (не одновременное) отключение выключателей действием устройств релейной защиты и автоматики

- с зависимой времятоковой характеристикой — расчет уставок приведен в п. **3.8.6**;
- с контролем направления мощности — расчет уставок приведен в п. **3.9**.

Расчет значений уставок следует выполнять в первичных величинах. Приведение рассчитанных значений ко вторичным величинам для ввода в устройство выполняется в соответствии с разделом **2.1** с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения.

3.10.1.2 Расчет уставок МТЗ СВ

Для МТЗ СВ значение уставки **«Iмтз 1»** следует определять по следующим условиям:

- по условию отстройки от максимально возможного тока секции с учетом самозапуска двигательной нагрузки секции;
- по условию согласования по чувствительности с МТЗ отходящих присоединений секции с учетом рабочего тока нагрузки.

Расчет уставки **«Iмтз 1»** по условию отстройки от максимально возможного тока секции с учетом самозапуска следует выполнять в соответствии с **3.8.2**, по формулам (3.27) и (3.28), с учетом особенностей расчетной схемы СВ.

Расчет уставки **«Iмтз 1»** по условию согласования по чувствительности с МТЗ отходящих присоединений обеих секций с учетом рабочего тока нагрузки следует выполнять по формуле (3.29). При отсутствии параллельно работающих элементов формула (3.29) для расчета уставки **«Iмтз 1»** принимает вид [9]:

$$\text{Iмтз 1} = \frac{k_{н.с}}{k_р} \cdot \left(I_{сз.пред.макс} + I_{раб.макс}\right) \text{ А} \qquad (3.70)$$

где

$k_{н.с}$	—	коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.2
$k_р$	—	коэффициент токораспределения, который учитывается только при наличии нескольких источников питания; при одном источнике питания принимается равным 1
$I_{мтз.пред.макс}$	А	наибольшее значение тока срабатывания МТЗ из числа предыдущих элементов, с защитами которых выполняется согласование
$I_{раб.макс}$	А	максимальный рабочий ток всех предыдущих элементов, кроме элемента, с защитой которого выполняется согласование

Расчет по формуле (3.70) необходимо провести для каждой секции отдельно и выбрать наибольшее значение.

На подстанциях, основной нагрузкой которых являются мощные СД, арифметическое сложение тока срабатывания предыдущей защиты и тока нагрузки может приводить к излишнему загрублению МТЗ СВ и, как следствие, к снижению чувствительности защиты. В этом случае сложение тока срабатывания предыдущей защиты и тока нагрузки допускается выполнять геометрически [9].

Применительно к схеме, показанной на рисунке 3.12, а), последующей защитой является МТЗ СВ (защита 2), а предыдущей — защита 3. При коротком замыкании за защитой 3 через секционный выключатель проходит ток нагрузки $I_н$, который по условию согласования должен учитываться совместно с максимальным током срабатывания предыдущей защиты. В этом случае расчет уставки **«Iмтз 1»** следует выполнять по формуле:

$$\text{Iмтз 1} = k_{н.с} \cdot k_р \cdot \sqrt{I^2_{сз.пред.макс} + I^2_{раб.макс}} \text{ А} \qquad (3.71)$$

Окончательное значение уставки **«Iмтз 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, рассчитанных по указанным выше условиям.

Проверку коэффициента чувствительности следует выполнять как при КЗ в основной зоне — на сборных шинах, так и в зоне резервирования. Для зоны резервирования в качестве расчетных следует принимать наиболее удаленные точки смежных элементов, в которых должна обеспечиваться требуемая чувствительность защиты.

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.мин}}{\text{Iмтз 1}} \qquad (3.72)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин}$ А минимальный ток двухфазного КЗ в расчетной точке, определяемый в наиболее неблагоприятном по условию чувствительности режиме

Для МТЗ СВ в качестве основной зоны следует принимать сборные шины секций. Для схемы рисунка 3.12, б) проверку чувствительности в основной зоне следует выполнять в точках $К_1$ и $К_2$, а в зоне резервирования — в точке К3.

Коэффициент чувствительности согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21]:

- около 1,5 — при КЗ в основной зоне;
- около 1,2 — в зоне резервирования.

Коэффициент чувствительности согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 — при двухфазном КЗ на сборных шинах в нормальной схеме [145, п. 14];
- 1,2 — в зоне резервирования [145, п. 15].

Если коэффициент чувствительности МТЗ СВ в зоне резервирования, определенный для наиболее удаленной расчетной точки, не соответствует требованиям ПУЭ и Приказа Минэнерго России № 546, следует рассмотреть возможность применения МТЗ с пуском по напряжению в соответствии с 3.8.5.

Значение уставки **«Тмтз 1»** МТЗ СВ по условию согласования по времени с МТЗ отходящих присоединений обеих секций следует принимать на ступень селективности больше наибольшей выдержки времени указанных защит:

$$Тмтз\ 1 = t_{мтз.пред.макс} + \Delta t \quad с \tag{3.73}$$

где

$t_{мтз.пред.макс}$ с наибольшая из выдержек времени МТЗ отходящих присоединений обеих секций

Δt с ступень селективности, определяемая по таблице 3.3

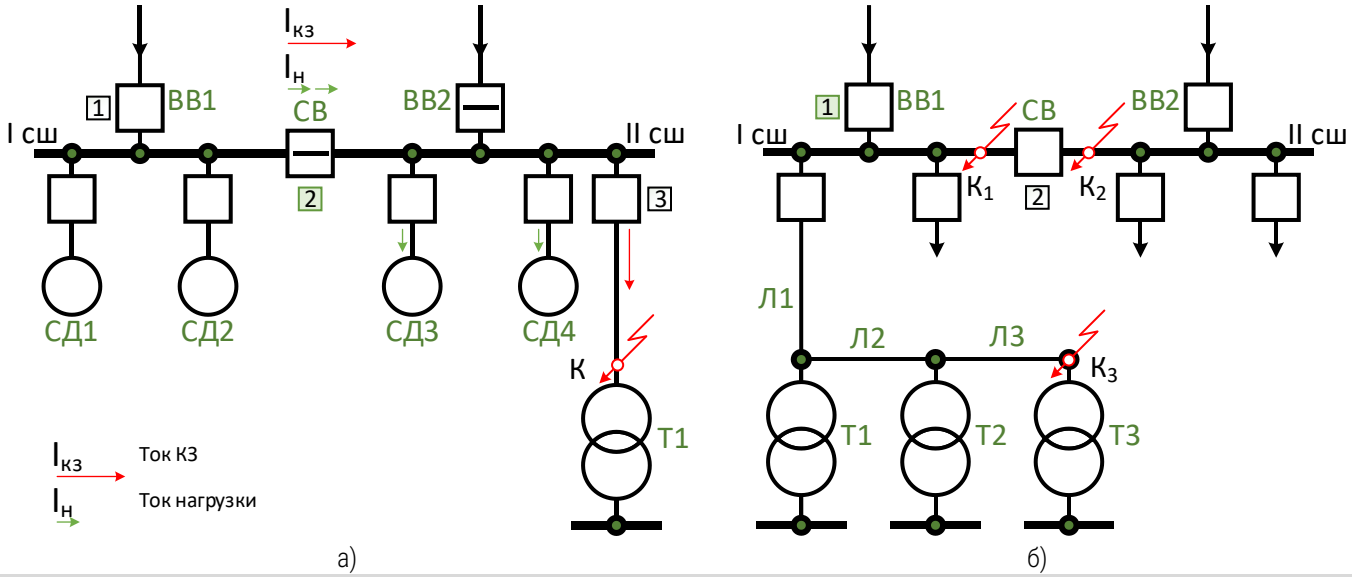


Рисунок 3.12. Расчетные схемы для выбора уставок и проверки чувствительности МТЗ вводного и секционного выключателей: а — к расчету уставки МТЗ СВ по условию согласования по чувствительности; б — к проверке коэффициента чувствительности МТЗ ВВ и СВ

3.10.1.3 Расчет уставок МТЗ ВВ

Ниже в настоящем подразделе под «своей секцией» понимается секция шин, к которой подключен ВВ, для которого выполняется расчет уставок МТЗ. Под «соседней секцией» понимается другая секция шин того же распределительного устройства, которая при включенном СВ может быть присоединена к своей секции.

Для ВВ значения уставки **«Iмтз 1»** следует определять по следующим условиям:

- по условию отстройки от суммарного тока нагрузки своей секции и тока самозапуска нагрузки соседней секции после действия АВР;

- по условию отстройки от тока нагрузки обеих секций при питании через один ВВ, при включенном СВ, после отключения близкого КЗ и последующего самозапуска нагрузки;
- по условию согласования по чувствительности с МТЗ отходящих присоединений секции с учетом тока нагрузки.

Применительно к схеме, показанной на рисунке 3.12, б), рассматриваемой защитой является МТЗ вводного выключателя ВВ1 (защита 1). В расчетном режиме после действия АВР через ВВ, помимо нагрузки своей секции, проходит также ток самозапуска нагрузки соседней секции, подключаемой через СВ. При этом рабочий ток своей секции обозначен как $I_{раб.макс.секц1}$, а рабочий ток соседней секции, подключаемой после действия АВР – как $I_{раб.макс.секц2}$.

Расчет значения уставки **«Iмтз 1»** по условию отстройки от суммарного тока нагрузки своей секции и тока самозапуска нагрузки соседней секции после действия АВР следует выполнять по формуле:

$$Iмтз\ 1 = \frac{k_н \cdot k_р}{k_в} \cdot \left(k_{сзп} \cdot I_{раб.макс.секц2} + k'_н \cdot I_{раб.макс.секц1}\right)\ А \quad (3.74)$$

где

$k_н$ – коэффициент надежности, принимаемый равным 1,1

$k_в$ – коэффициент возврата уставки **«Iмтз 1»**, принимаемый по таблицам 3.7, 3.8, 3.9 для соответствующих устройств

$k'_н$ – коэффициент, учитывающий увеличение тока нагрузки вследствие снижения напряжения на шинах при подключении к ним заторможенных двигателей нагрузки соседней секции после действия АВР. В приближенных расчетах значение этого коэффициента может приниматься в пределах 1,5÷2 [162]. Применяется в случае, если нагрузка секции преимущественно состоит из электродвигателей. В остальных случаях значение коэффициента принимается равным 1,0.

$I_{раб.}$ А максимальный рабочий ток соседней секции, подключаемой после действия АВР

$I_{раб.}$ А максимальный рабочий ток своей секции

Значение уставки **«Iмтз 1»**, рассчитанное по формуле (3.74), может быть уточнено, если принять расчетное условие, при котором самозапуск двигателей своей секции осуществляется в результате подключения полностью заторможенных двигателей соседней секции после действия АВР. При этом через ВВ проходит суммарный ток самозапуска нагрузки обеих секций. В этом случае расчет уставки **«Iмтз 1»** следует выполнять по формуле [162]:

$$Iмтз\ 1 = \frac{k_н}{k_в} \cdot I_{\sum сзп}\ А \quad (3.75)$$

где

$I_{\sum сзп}$ А суммарный расчетный ток самозапуска нагрузки обеих секций. При ориентировочных расчетах увеличение тока, потребляемого электродвигателями своей секции, допускается учитывать путем уменьшения сопротивления неотключившейся нагрузки в 2,5 раза по сравнению с ее сопротивлением при номинальном токе [162]

Расчет уставки **«Iмтз 1»** МТЗ ВВ по условию отстройки от тока нагрузки обеих секций при питании через один ВВ, при включенном СВ, после отключения близкого КЗ и последующего самозапуска нагрузки выполняется по формуле (3.74), а при необходимости уточнения расчета – по формуле (3.75).

Расчет уставки **«Iмтз 1»** по условию согласования по чувствительности с МТЗ отходящих присоединений секции с учетом рабочего тока нагрузки следует выполнять по формуле (3.29). В большинстве случаев в качестве расчетной принимается МТЗ СВ, поскольку именно она, как правило, имеет наибольшую уставку среди предыдущих защит. В этом случае формула (3.29) принимает вид:

$$Iмтз\ 1 = \frac{k_{н.с}}{k_р} \cdot \left(I_{мтз.СВ} + I_{раб.макс.секц}\right)\ А \quad (3.76)$$

где

$I_{мтз.СВ}$ А уставка тока срабатывания МТЗ СВ

$I_{раб.макс.секц}$ А максимальный рабочий ток своей секции

Для ПС, основной нагрузкой которых являются мощные СД, работающие с cosφ≈1, аналогично случаю с СВ, сложение тока срабатывания предыдущей защиты и тока нагрузки секции допускается выполнять геометрически [9]. В этом случае формула (3.76) принимает вид:

$$I_{мтз\ 1}=\frac{k_{н.с}}{k_р}\cdot\sqrt{I^2_{мтз.СВ}+I^2_{раб.макс.секц}}\ \ А \qquad (3.77)$$

Окончательное значение уставки **«Iмтз 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, рассчитанных по указанным выше условиям.

Проверку коэффициента чувствительности следует выполнять при КЗ в основной зоне — на сборных шинах, а также в зоне резервирования. Для зоны резервирования в качестве расчетных следует принимать наиболее удаленные точки смежных элементов, в которых должна обеспечиваться требуемая чувствительность защиты.

Коэффициент чувствительности в основной зоне действия защиты следует определять по формуле:

$$k_ч=\frac{I^{(2)}_{кз.мин}}{I_{мтз\ 1}} \qquad (3.78)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин.ш}$ А минимальный ток двухфазного КЗ в расчетной точке, определяемый в наиболее неблагоприятном по условию чувствительности режиме

Для МТЗ ВВ в качестве основной зоны следует принимать сборные шины секций. Для схемы рисунка 3.12, б) проверку чувствительности в основной зоне следует выполнять в точках $К_1$ и $К_2$, а в зоне резервирования — в точке $К_3$.

Коэффициент чувствительности согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21]:

- около 1,5 — при КЗ в основной зоне;
- около 1,2 — в зоне резервирования.

Коэффициент чувствительности согласно Приказу Минэнерго России № 546:

- 1,5 — при двухфазном КЗ на сборных шинах в нормальной схеме [145, п. 14];
- 1,2 — в зоне резервирования [145, п. 15].

Если коэффициент чувствительности МТЗ ВВ в зоне резервирования, определенный для наиболее удаленной расчетной точки, не соответствует требованиям ПУЭ и Приказа Минэнерго России № 546, следует рассмотреть возможность применения МТЗ с пуском по напряжению в соответствии с 3.8.5.

Значение уставки **«Tмтз 1»** МТЗ ВВ по условию согласования по времени с МТЗ СВ и МТЗ отходящих присоединений секции следует определять по формуле (3.73). В большинстве случаев в качестве расчетной принимается МТЗ СВ, поскольку именно она, как правило, имеет наибольшую выдержку времени среди предыдущих защит. В этом случае формула (3.73) принимает вид:

$$T_{мтз\ 1}=t_{мтз.СВ}+\Delta t\ \ с \qquad (3.79)$$

где

$t_{мтз.СВ}$ с выдержка времени МТЗ СВ

3.10.2 Токовые защиты от междуфазных КЗ силовых трансформаторов высшим напряжением 6–35 кВ

3.10.2.1 Общие сведения

Токовые защиты силовых трансформаторов с высшим напряжением 6–35 кВ применяются для отключения междуфазных КЗ на выводах и в обмотках трансформатора, а также для резервирования КЗ на стороне НН трансформатора и на присоединениях, отходящих от шин НН.

На силовых трансформаторах, для которых предусматривается дифференциальная защита с торможением (ДЗТ), расчет уставок ДЗТ выполняется на устройства **«Алтей-УЗТ»** и **«Алтей-ОЗТ»** и в настоящей Методике не рассматривается.

В настоящем подразделе рассматривается выбор уставок токовых защит силовых трансформаторов с высшим напряжением 6–35 кВ, реализуемых в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, в том числе:

- токовая отсечка без выдержки времени;
- максимальная токовая защита стороны ВН;
- максимальная токовая защита с пуском по напряжению, при его применении;
- защита от симметричных перегрузок;
- специальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных КЗ на землю в сети НН 0,4 кВ.

Токовая отсечка и максимальная токовая защита относятся к защитам трансформатора от междуфазных КЗ и внешних многофазных КЗ. Защита от симметричных перегрузок и специальная токовая защита нулевой последовательности являются токовыми функциями защиты трансформатора, однако непосредственно не относятся к защитам от междуфазных КЗ и приведены в настоящем подразделе для комплексного рассмотрения уставок токовых защит силового трансформатора.

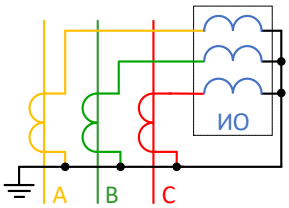
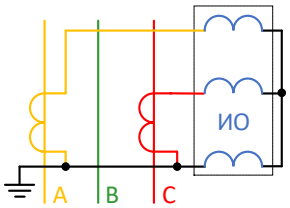
При расчете токовых защит трансформатора следует учитывать, что расчетное КЗ может находиться на стороне НН трансформатора, а защита и ее измерительные органы (ИО), как правило, установлены на стороне ВН. В этом случае токи КЗ на стороне НН, используемые при определении расчетных токов в ИО и коэффициентов чувствительности, должны быть приведены к стороне установки рассматриваемой защиты.

В обозначениях расчетных токов КЗ индекс ВН или НН указывает место повреждения, а приведение тока к стороне установки защиты указывается в пояснении к соответствующей величине. Например, ток $I^{(2)}_{кз.НН.мин}$ следует понимать как ток двухфазного КЗ на стороне НН трансформатора в минимальном режиме работы системы, приведенный к стороне установки рассматриваемой защиты.

Значение тока, воспринимаемого ИО токовой защиты, зависит от вида КЗ, схемы соединения обмоток трансформатора, схемы подключения ТТ к устройству и способа формирования фазных токов [2, 162]. Для пояснения указанной зависимости в таблице 3.12 приведены формулы для определения расчетных токов в ИО токовых защит и коэффициентов чувствительности при КЗ за трансформатором.

При подключении ТТ по схеме «неполная звезда» устройства **«Алтей»** и **«Лютик»** определяют значение тока фазы В расчетным путем по измеренным токам фаз А и С. Поэтому при проверке чувствительности токовых защит такую схему подключения следует рассматривать как трехрелейную схему с контролем токов фаз А, В и С в соответствии с 3.1.

Таблица 3.12. Формулы для определения расчетных токов в измерительных органах токовых защит и коэффициентов чувствительности при КЗ за трансформатором

СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ТТ И ИО, УСТАНОВЛЕННЫХ ПЕРЕД ТРАНСФОРМАТОРОМ		ДВУХФАЗНОЕ КЗ ЗА ТРАНСФОРМАТОРОМ С ГРУППОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК		ОДНОФАЗНОЕ КЗ НА ЗЕМЛЮ ЗА ТРАНСФОРМАТОРОМ С ГРУППОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК	
		$\Delta/Y_н$-11	$Y/Y_н$-0	$\Delta/Y_н$-11	$Y/Y_н$-0
Трехфазное измерение токов: ТТ фаз А, В, С; контролируются токи I_A, I_B, I_C[1]		$I_{ио} = \frac{2 \cdot I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot k_{ТТ}}$	$I_{ио} = \frac{I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{k_{ТТ}}$	$I_{ио} = \frac{I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot k_{ТТ}}$	$I_{ио} = \frac{2 \cdot I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{3 \cdot k_{ТТ}}$
		$k^{(2)}_ч = \frac{2 \cdot I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{сз}}$	$k^{(2)}_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{I_{сз}}$	$k^{(1)}_ч = \frac{I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{сз}}$	$k^{(1)}_ч = \frac{2 \cdot I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{3 \cdot I_{сз}}$
Двухфазное измерение токов: ТТ фаз А и С; ток $I_{В.расч}$ вычисляется устройством; контролируются токи I_A, I_C[2]		$I_{ио} = \frac{2 \cdot I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot k_{ТТ}}$	$I_{ио} = \frac{I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{k_{ТТ}}$	$I_{ио} = \frac{I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot k_{ТТ}}$	$I_{ио} = \frac{2 \cdot I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{3 \cdot k_{ТТ}}$
		$k^{(2)}_ч = \frac{2 \cdot I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{сз}}$	$k^{(2)}_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{I_{сз}}$	$k^{(1)}_ч = \frac{I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{сз}}$	$k^{(1)}_ч = \frac{2 \cdot I^{(1)}_{кз.НН.мин}}{3 \cdot I_{сз}}$

[1] Аналог трехфазной схемы соединения ТТ и ИО в полную звезду
[2] Аналог двухфазной, трехрелейной схемы соединения ТТ и ИО в неполную звезду

Примечание. Токи КЗ на стороне НН трансформатора, используемые при определении расчетных токов в ИО и коэффициентов чувствительности, приведены к стороне установки рассматриваемой защиты

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.51, п. 3.2.59, п. 3.2.60] защиты трансформатора должны предусматриваться от многофазных КЗ в обмотках и на выводах, а также от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ. В составе токовых защит для этих целей применяются ТО без выдержки времени и МТЗ.

Токовая отсечка без выдержки времени. Предназначена для защиты от междуфазных КЗ на выводах трансформатора со стороны питания, а также частично от внутренних повреждений трансформатора. Зона действия включает выводы первичной обмотки, часть обмотки, а также соединительные кабели или ошиновку до выключателя со стороны ВН.

При наличии дифференциальной защиты ТО может использоваться в качестве резервной быстродействующей защиты. ТО должна быть отстроена от КЗ за трансформатором, вследствие чего зона ее действия, как правило, не охватывает весь трансформатор и присоединенную к нему сеть НН. Указанная особенность обусловливает необходимость применения МТЗ для резервирования КЗ на стороне НН и на отходящих присоединениях НН.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** реализуется в алгоритме **«Токовая отсечка»**.

Максимальная токовая защита. МТЗ предусматривается для защиты от токов, обусловленных внешними многофазными КЗ, а также для резервирования действия основных и быстродействующих защит трансформатора при КЗ в трансформаторе, на его выводах, на шинах стороны НН и на присоединениях, отходящих от шин НН.

Согласно ПУЭ [100, п.3.2.61] МТЗ устанавливается:

- на двухобмоточных трансформаторах — на стороне ВН (со стороны основного питания);
- на трехобмоточных трансформаторах — со всех сторон трансформатора.

В данном разделе приводится только расчет МТЗ стороны ВН. В случае трансформаторного ввода МТЗ НН реализуется:

- в устройстве **«Алтей-УЗТ»**;
- в отдельном терминале защиты ввода; в этом случае расчет выполняется в соответствии с п. 3.10.1.3.

МТЗ ВН может быть использована с комбинированным пуском по напряжению или без него; иметь зависимую или независимую от тока ВТХ.

МТЗ ВН резервирует действие основной дифференциальной защиты, а на трансформаторах мощностью менее 6,3 МВА выполняет роль основной защиты в случаях возникновения КЗ в той части обмотки, которая не попадает под действие ТО.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** реализуется в алгоритме **«Максимальная токовая защита»**.

Защита от симметричных перегрузок. Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.69] на трансформаторах мощностью 0,4 МВА и более следует предусматривать защиту от перегрузки:

- с действием на сигнал — на обслуживаемых подстанциях;
- с действием на сигнал и/или автоматическую разгрузку и отключение — на подстанциях без постоянного дежурного персонала.

Защита устанавливается на стороне ВН или на сторонах НН1, НН2 — при наличии расщепленной обмотки.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** реализуется в алгоритме **«Защита от перегрузки»**. Также возможно применение разгрузки трансформатора и зависимой ВТХ. Зависимая ВТХ на ступени защиты от перегрузки трансформаторов 6–35/0,4 кВ применяется для обеспечения согласования с характеристикой вводного автоматического выключателя на стороне 0,4 кВ, обладающего, как правило, также зависимой ВТХ.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.13.

Таблица 3.13. Уставки алгоритма «Защита от перегрузки» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Защита от перегрузки (ЗП)							
Iзп	А	5	0,1	100	0,01	0,95	Ток срабатывания ЗП

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Тзп	с	9	1	180	0,01	-	Задержка срабатывания ЗП на сигнализацию
Тзп откл	с	600	0	600	1	-	Задержка срабатывания ЗП на отключение
Тразгр 1	с	300	0	600	1	-	Задержка срабатывания первой очереди разгрузки
Тразгр 2	с	330	0	600	1	-	Задержка срабатывания второй очереди разгрузки
ВТХ зп	-	0	0	4	1	-	ЗП – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 - пологая
квтх зп	-	1	0,05	2	0,01	-	ЗП - коэффициент времени ВТХ
Твтх зп	с	1	0	20	0,01	-	ЗП – дополнительная задержка срабатывания ВТХ

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.14.

Таблица 3.14. Уставки алгоритма «Защита от перегрузки» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Защита от перегрузки (ЗП)							
Iзп 1	А	5	0,1	100	0,01	0,95	ЗП 1 – ток срабатывания
Тзп 1	с	9	1	180	0,01	-	ЗП 1 – Задержка срабатывания ЗП на сигнализацию
Тзп 1 откл	с	600	0	600	1	-	ЗП 1 – Задержка срабатывания ЗП на отключение
Тразгр 1	с	300	0	600	1	-	ЗП 1 – Задержка срабатывания первой очереди разгрузки
Тразгр 2	с	330	0	600	1	-	ЗП 1 – Задержка срабатывания второй очереди разгрузки
ВТХ зп 1	-	0	0	5	1	-	ЗП 1 – тип времятоковой характеристики 0 – нормально инверсная 1 – сильно инверсная 2 – чрезвычайно инверсная 3 – крутая 4 – пологая 5 – RI
квтх зп 1	-	1	0,05	2	0,001	-	ЗП 1 – коэффициент времени ВТХ
Твтх зп 1	с	0	0	10	0,01	-	ЗП 1 – дополнительная задержка срабатывания ВТХ
Iзп 2	А	5	0,1	100	0,01	0,95	ЗП 2 – ток срабатывания
Тзп 2	с	9	1	180	0,01	-	ЗП 2 – Задержка срабатывания ЗП на сигнализацию
Тзп 2 откл	с	600	0	600	1	-	ЗП 2 – Задержка срабатывания ЗП на отключение

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.15.

Таблица 3.15. Уставки алгоритма «Защита от перегрузки» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Защита от перегрузки (ЗП)							
Iзп	А	5	0,5	30	0,01	0,95	Ток срабатывания ЗП
Тзп	с	9	0	180	0,01	-	Задержка срабатывания ЗП на сигнализацию
Тзп откл	с	600	0	600	1	-	Задержка срабатывания ЗП на отключение

Несмотря на различия в составе реализуемых уставок в различных устройствах (например, наличие второй ступени ЗП или разгрузки), принцип расчета уставок идентичен.

В связи с этим методика приводится в универсальном виде, без повторения однотипных вычислений для каждого набора уставок в отдельности. При этом, если иное специально не оговорено, расчетные указания для уставок **«Iзп»**, **«Тзп»**, **«Тзп откл»** распространяются соответственно на уставки первой ступени **«Iзп 1»**, **«Тзп 1»**, **«Тзп 1 откл»**.

При использовании конкретного устройства следует учитывать только реализованные в нем уставки и применять соответствующие разделы Методики.

Специальная токовая защита нулевой последовательности от однофазных КЗ на землю в сети НН 0,4 кВ. Предназначена для защиты от однофазных КЗ на землю в сети 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью в соответствии с [100, п. 3.2.66] при недостаточной чувствительности МТЗ ВН к однофазным КЗ на стороне НН. Устанавливается на стороне 0,4 кВ.

Уставки выбираются с отстройкой от тока в нулевом проводе трансформатора при допустимой несимметрии нагрузки по фазам.

На трансформаторах со схемой соединения $\Delta/Y_н$–11 в практических расчетах ток однофазного КЗ на стороне НН, как правило, принимается равным току трехфазного КЗ на стороне НН [162]. Поэтому МТЗ на стороне ВН, как правило, обладает достаточной чувствительностью к однофазным КЗ на выводах НН. Однако даже в таких случаях целесообразно предусматривать специальную защиту нулевой последовательности в качестве резервной как к МТЗ трансформатора, так и к защитным аппаратам сети НН.

Следует учитывать, что установка данной защиты обоснована даже при наличии защиты нулевой последовательности во вводном автоматическом выключателе. В этом случае данная защита трансформатора выполняет важную функцию — защиту от однофазных КЗ в участке между обмоткой НН и вводным автоматическим выключателем 0,4 кВ.

На практике данную защиту применяют, прежде всего, для целей дальнего резервирования однофазных КЗ в сетях 0,4 кВ.

Как правило, реле или устройства, реализующие ТЗНП, устанавливаются в щитах собственных нужд, а не в ячейках распределительных устройств 6–35 кВ.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** отдельного алгоритма для данной защиты не предусмотрено, однако данная функция может быть реализована с использованием гибкой логики либо с использованием отдельного реле **«Флокс-I»**, которое, как правило, устанавливается в шкафе ввода ТСН, входящего в состав щита собственных нужд.

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах, приведенных к стороне установки рассматриваемой защиты. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ и ТН.

3.10.2.2 Токовая отсечка

В настоящем подразделе ТО без выдержки времени рассматривается как первая ступень ТО, реализуемая в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** уставками **«Iто 1»** и **«Тто 1»**.

Для пояснения расчетных условий выбора уставок и проверки чувствительности токовых защит трансформатора на рисунке 3.13 приведены расчетные схемы для наиболее характерных вариантов присоединения трансформатора.

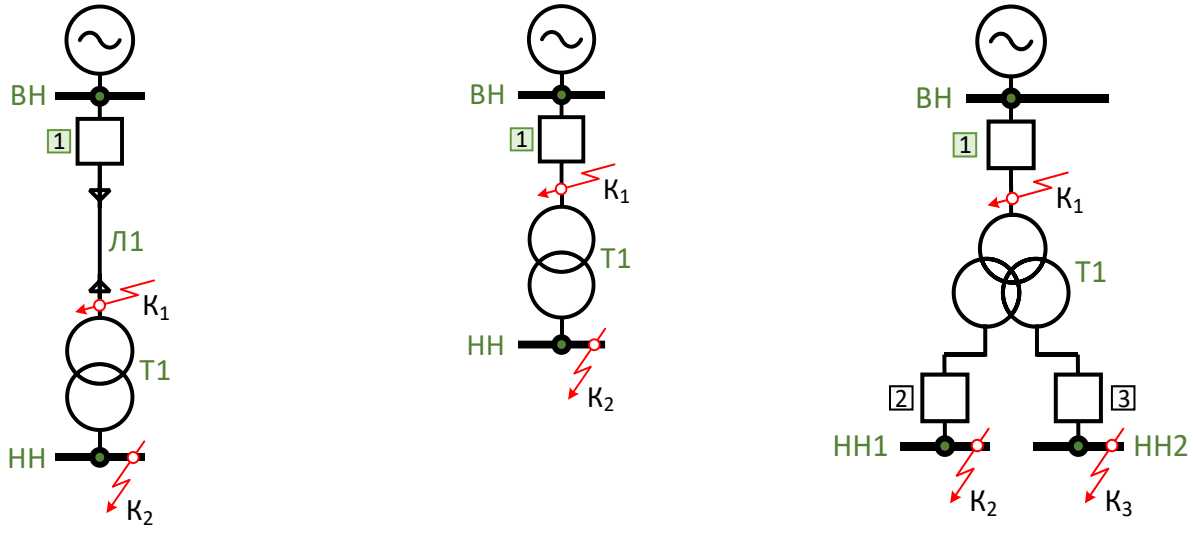


Рисунок 3.13. Расчетные схемы для выбора уставок и проверки чувствительности токовых защит силовых трансформаторов 6–35 кВ

На схемах а) и б) защитные аппараты на стороне НН условно не показаны, поскольку в зависимости от исполнения трансформатора и класса напряжения на стороне НН могут применяться автоматические выключатели, предохранители или высоковольтные выключатели 6(10) кВ. На схеме в) показан трансформатор с расщепленной обмоткой НН.

Значение уставки **«Iто 1»** следует определять по условиям:

- отстройки от максимального тока трехфазного КЗ на выводах стороны НН трансформатора;
- отстройки от БТН трансформатора.

Указанные условия аналогичны условиям выбора уставки первой ступени ТО, приведенным в **3.4.2**, однако в качестве расчетной точки для отстройки принимается КЗ на выводах стороны НН трансформатора.

Значение уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от максимального тока трехфазного КЗ на выводах стороны НН следует определять по формуле [**63**, **161**]:

$$I_{то\ 1} = k_{отс} \cdot I^{(3)}_{кз.НН.макс}\ [А] \qquad (3.80)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается в соответствии с **3.4.2**

$I^{(3)}_{кз.НН.макс}$ А максимальное значение тока трехфазного КЗ на выводах стороны НН трансформатора, приведенное к стороне ВН, т.е. к стороне установки рассматриваемой защиты

Применительно к рисунку 3.13 в качестве расчетной точки КЗ для данного условия следует принимать точку $К_2$ – для схем а) и б); точки $К_2$ и $К_3$ – для схемы в). Для трансформатора с расщепленной обмоткой НН значение $I^{(3)}_{кз.НН.макс}$ следует принимать по наибольшему из токов трехфазного КЗ в точках $К_2$ и $К_3$.

Дополнительно значение уставки **«Iто 1»** должно удовлетворять условию отстройки от БТН трансформатора [**2**, **63**, **161**]:

$$I_{то\ 1} = k_{бтн} \cdot I_{ном.тр.ВН}\ [А] \qquad (3.81)$$

где

$k_{бтн}$ – коэффициент отстройки от БТН, принимается в соответствии с **3.4.2**

$I_{ном.тр.ВН}$ А номинальный ток защищаемого трансформатора со стороны установки рассматриваемой защиты; для рассматриваемых схем, как правило, принимается номинальный ток стороны ВН трансформатора

При вводе блокировки ТО по уровню второй гармонической составляющей фазного тока условие отстройки от БТН допускается не учитывать. В этом случае значение уставки **«Iто 1»** выбирается по условию (3.80), а уставка блокировки по 2-й гармонике принимается в соответствии с **2.2.2** и указаниями **3.4.2**. Блокировка по 2-й гармонике не заменяет отстройку от КЗ за трансформатором, поэтому условие (3.80) должно выполняться независимо от наличия указанной блокировки.

Окончательное значение уставки **«Iто 1»** при отсутствии блокировки по уровню второй гармонической составляющей фазного тока следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по вышеуказанным условиям. При вводе указанной блокировки значение уставки **«Iто 1»** допускается принимать по условию (3.80).

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.21, пп. 8] чувствительность ТО без выдержки времени следует проверять при металлическом двухфазном КЗ на выводах стороны ВН защищаемого трансформатора в минимальном реально возможном режиме работы системы.

Коэффициент чувствительности следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.ВН.мин}}{I_{то\ 1}} \qquad (3.82)$$

где

$I^{(2)}_{кз.ВН.мин}$ А минимальное значение тока, протекающего через защиту, при металлическом двухфазном КЗ на выводах стороны ВН защищаемого трансформатора в минимальном реально возможном режиме работы системы

Применительно к рисунку 3.13 в качестве расчетной точки КЗ для проверки чувствительности ТО без выдержки времени следует принимать точку $К_1$.

Для схемы блока линия–трансформатор, приведенной на рисунке 3.13, а), значение $I^{(2)}_{кз.ВН.мин}$ следует определять как ток, протекающий через защиту 1 при металлическом двухфазном КЗ в точке $К_1$, с учетом сопротивления линии между местом установки защиты и выводами стороны ВН трансформатора.

Коэффициент чувствительности ТО без выдержки времени должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 8]:

- около 2 — при металлическом КЗ на выводах стороны ВН защищаемого трансформатора

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 19]:

- 2,0 — для токовых защит трансформатора без выдержки времени.

При получении значения коэффициента чувствительности ниже значений, указанных выше, ТО без выдержки времени допускается использовать как дополнительную токовую защиту, однако ее не следует учитывать как защиту, обеспечивающую нормируемую чувствительность при КЗ на выводах стороны ВН защищаемого трансформатора.

Значение уставки **«Тто 1»** принимается равным:

$$Тто\ 1 = 0\ [с] \tag{3.83}$$

Увеличение значения уставки **«Тто 1»** для согласования с защитными аппаратами, установленными на стороне НН трансформатора, не требуется, поскольку селективность токовой отсечки при КЗ за трансформатором обеспечивается выбором уставки **«Iто 1»** по условию (3.80).

При вводе блокировки ТО по уровню второй гармонической составляющей фазного тока условие отстройки от БТН допускается не учитывать, если указанная блокировка действует на рассматриваемую ступень ТО. При использовании указанной блокировки значение уставки **«Тто 1»** также рекомендуется принимать равным нулю.

3.10.2.3 Максимальная токовая защита

Значение уставки **«Iмтз 1»** МТЗ ВН без пуска по напряжению следует выбирать по условиям:

- отстройки от максимального рабочего тока трансформатора с учетом самозапуска двигательной нагрузки;
- согласования по чувствительности с предыдущей защитой.

Значение уставки **«Iмтз 1»** по условию отстройки от максимального рабочего тока трансформатора с учетом самозапуска двигательной нагрузки следует определять по формуле [118]:

$$Iмтз\ 1 = \frac{k_{отс} \cdot k_{сзп}}{k_{в}} \cdot I_{раб.макс.ВН}\ \ А \tag{3.84}$$

где

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, принимается в соответствии с 3.8.2

$k_{сзп}$ — коэффициент самозапуска, принимается в соответствии с 3.8.2

$k_{в}$ — коэффициент возврата уставки **«Iмтз 1»**, принимаемый по таблицам 3.7, 3.8, 3.9 для соответствующих устройств

$I_{раб.макс.ВН}$ А максимальный рабочий ток трансформатора на стороне ВН

Значение $I_{раб.макс.ВН}$ следует определять для наиболее тяжелого, но реально возможного эксплуатационного режима работы трансформатора, при котором МТЗ не должна действовать. При этом должны учитываться допустимые перегрузки трансформатора, режим работы одного трансформатора после действия АВР на двухтрансформаторной подстанции, а также иные послеаварийные режимы, при которых через защиту может протекать наибольший рабочий ток.

При отсутствии расчетного значения максимального рабочего тока допускается определять его по выражению:

$$I_{раб.макс.ВН} = k_{пер} \cdot I_{ном.тр.ВН}\ \ А \tag{3.85}$$

где

$k_{пер}$ — коэффициент перегрузки трансформатора

$I_{ном.тр.ВН}$ А номинальный ток защищаемого трансформатора со стороны ВН

Значение коэффициента $k_{пер}$ следует принимать с учетом допустимой перегрузочной способности трансформатора, определяемой по проектной, эксплуатационной документации, документации организации-изготовителя и применимым НТД. При выборе $k_{пер}$ должны учитываться характер перегрузки — длительная или аварийная, допустимая продолжительность перегрузки, система охлаждения трансформатора, температура охлаждающей среды, техническое состояние трансформатора, степень предшествующей загрузки, а также расчетные послеаварийные режимы работы подстанции[1]. Указанный подход соответствует ПТЭЭС [105, п. 10]; ПТЭЭП [104, п. 5, п. 24]; Приказ № 81 [144, п. 5–7, п. 12, п. 15, п. 16, п. 19, п. 21].

Для трансформаторов, на которые распространяются требования Приказа Минэнерго России № 81, коэффициент $k_{пер}$ следует определять с учетом допустимой длительной или аварийной токовой нагрузки трансформатора. Для трансформаторов высшим напряжением 6–35 кВ Приказ № 81 [144] может использоваться только как методический ориентир в части факторов, влияющих на перегрузочную способность; окончательное значение $k_{пер}$ следует принимать по проектной и эксплуатационной документации, документации организации-изготовителя, а также по применимым стандартам и руководящим материалам.

Для предварительных расчетов двухтрансформаторных подстанций, при отсутствии уточненных данных о максимальном рабочем токе и допустимой перегрузочной способности трансформатора, значение коэффициента $k_{пер}$ допускается принимать равным $k_{пер}$=1,4. Указанное значение соответствует ориентировочному режиму работы одного трансформатора после действия АВР, если мощность каждого из двух трансформаторов выбрана из условия $S_{ном.тр} \geq 0{,}7 \cdot S_{нагр.общ}$. В этом случае загрузка оставшегося в работе трансформатора после отключения второго трансформатора составляет приблизительно 1,4 от его номинальной мощности [95, 114].

Значение $k_{пер}$=1,4 является ориентировочным и не заменяет проверку допустимости перегрузки трансформатора по проектной, эксплуатационной документации, документации организации-изготовителя и применимым НТД. При наличии данных о фактической нагрузке, допустимой перегрузочной способности трансформатора или принятом в проекте условии выбора мощности трансформаторов значение $I_{раб.макс.ВН}$ следует определять по этим данным.

При наличии значительной двигательной нагрузки значение $k_{сзп}$ рекомендуется уточнять расчетом режима самозапуска. При отсутствии расчетных данных значение $k_{сзп}$ допускается принимать по указаниям 3.8.2.

Значение уставки **«Iмтз 1»** по условию согласования по току с защитами предыдущих элементов следует определять по формуле:

$$Iмтз\ 1 = k_{н.с} \cdot k_{р} \cdot I_{сз.пред.макс.ВН}\ \ А \qquad (3.86)$$

где

$k_{н.с}$	–	коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.2
$k_{р}$	–	коэффициент токораспределения
$I_{сз.пред.макс.ВН}$	А	наибольшее значение тока срабатывания защиты из числа предыдущих элементов, с защитами которых выполняется согласование, приведенное к стороне ВН трансформатора

Чувствительность МТЗ ВН к междуфазным КЗ на стороне НН трансформатора следует проверять при металлическом двухфазном КЗ на выводах стороны НН трансформатора в минимальном реально возможном режиме работы системы.

Применительно к рисунку 3.13 в качестве расчетной точки КЗ для проверки чувствительности МТЗ к междуфазным КЗ на стороне НН следует принимать:

- для схем а) и б) — точку K_2;
- для схемы в) — точки K_2 и K_3.

Для схемы в) проверка чувствительности должна выполняться раздельно для КЗ на выводах каждой расщепленной обмотки НН. Расчетным следует принимать меньшее из полученных значений коэффициента чувствительности.

Для трансформаторов со схемой и группой соединения обмоток Y/Δ–11 коэффициент чувствительности МТЗ к междуфазным КЗ на стороне НН следует определять по формуле:

[1] В НТП ПС [128, п. 7.3] указано, что мощность трансформаторов выбирается с учетом обеспечения питания нагрузки оставшимися в работе трансформаторами при отключении наиболее мощного из них, с учетом допустимой по техническим условиям перегрузки трансформаторов и резерва по сетям СН и НН. Указанное положение подтверждает необходимость учета послеаварийного режима работы подстанции при определении $I_{раб.макс.ВН}$

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.НН.мин}}{Iмтз\ 1} \quad (3.87)$$

где

$I^{(2)}_{кз.НН.мин}$ А — минимальное значение тока, протекающего через защиту, при металлическом двухфазном КЗ на выводах стороны НН защищаемого трансформатора в минимальном реально возможном режиме работы системы

Для трансформаторов со схемами и группами соединения обмоток $Δ/Y_н–11$ и $Y/Y_н–0$ коэффициент чувствительности МТЗ к КЗ на стороне НН следует определять по таблице 3.12. При этом расчетный ток в ИО МТЗ следует принимать с учетом схемы соединения обмоток трансформатора и вида КЗ на стороне НН. Таблица 3.12 содержит расчетные соотношения для определения чувствительности при разных видах КЗ на стороне НН трансформатора, в том числе при двухфазных и однофазных КЗ.

Коэффициент чувствительности согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21]:

- около 1,5 — при металлическом КЗ на шинах НН трансформатора, т.е. в конце основной зоны действия МТЗ;
- около 1,2 — в зоне резервирования.

Коэффициент чувствительности согласно Приказу Минэнерго России № 546:

- 1,5 — при двухфазном КЗ на сборных шинах в нормальной схеме [145, п. 14];
- 1,2 — в зоне резервирования [145, п. 15].

Если значение коэффициента чувствительности соответствует указанным требованиям, принятое значение уставки **«Iмтз 1»** сохраняется и выполняется выбор уставки **«Tмтз 1»**.

При получении значения коэффициента чувствительности ниже значений, указанных выше, дальнейший выбор уставки **«Iмтз 1»** следует выполнять с учетом условия, определившего принятое значение тока срабатывания МТЗ.

Если требуемая чувствительность не обеспечивается, а определяющим условием выбора уставки **«Iмтз 1»** являлась отстройка от максимального рабочего тока трансформатора с учетом самозапуска двигательной нагрузки по формуле (3.84), следует рассмотреть применение пуска по напряжению в соответствии с 3.8.5. В этом случае значение уставки **«Iмтз 1»** определяется без учета коэффициента самозапуска по формуле (3.35), после чего проверка чувствительности выполняется повторно.

Если требуемая чувствительность не обеспечивается, а определяющим условием выбора уставки **«Iмтз 1»** являлось согласование с предыдущей защитой по формуле (3.86), допускается принимать значение уставки **«Iмтз 1»** по условию отстройки от максимального рабочего тока трансформатора по формуле (3.84), с последующей повторной проверкой чувствительности. Если при этом требуемая чувствительность обеспечивается, применение пуска по напряжению не требуется. Если требуемая чувствительность не обеспечивается, следует рассмотреть применение пуска по напряжению в соответствии с 3.8.5. В этом случае значение уставки **«Iмтз 1»** определяется без учета коэффициента самозапуска по формуле (3.35), после чего проверка чувствительности выполняется повторно.

Согласование МТЗ трансформатора с защитами нижестоящих элементов следует выполнять при условии обеспечения требуемой чувствительности рассматриваемой защиты. При невозможности одновременного выполнения требований к чувствительности МТЗ, выполняющей функцию дальнего резервирования, и требований селективности, приоритет следует отдавать обеспечению требуемой чувствительности. При этом селективность должна обеспечиваться для максимально возможного количества видов КЗ, мест КЗ и расчетных условий в соответствии с [145, п. 25].

При недостаточной чувствительности МТЗ ВН к однофазным КЗ на стороне НН трансформатора следует в соответствии с ПУЭ [100, п. 3.2.66] применить специальную защиту нулевой последовательности, расчет уставок которой приведен в 3.10.2.5.

Значение уставки **«Tмтз 1»** следует выбирать по условию согласования с предыдущими защитами или защитными аппаратами, установленными на стороне НН трансформатора:

$$Tмтз\ 1 = t_{сз.пред.макс} + Δt \ \ с \quad (3.88)$$

где

$t_{сз.пред.макс}$ с — наибольшее значение времени срабатывания защиты из числа предыдущих элементов, с защитами которых выполняется согласование

Δt с ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Применительно к рисунку 3.13 согласование по времени следует выполнять:

для схем а) и б) — с защитами и защитными аппаратами стороны НН трансформатора;

для схемы в) — с защитой 2 стороны НН1 и защитой 3 стороны НН2 трансформатора.

Для схемы в) значение уставки **«Тмтз 1»** следует определять раздельно по условиям согласования с защитой 2 стороны НН1 и защитой 3 стороны НН2. Окончательное значение уставки **«Тмтз 1»** следует принимать равным наибольшему из полученных значений.

Если предыдущая защита выполнена с независимой выдержкой времени, значение $t_{сз.пред.макс}$следует принимать равным наибольшей выдержке времени предыдущей защиты, с которой выполняется согласование.

Если предыдущая защита выполнена предохранителем, автоматическим выключателем или защитой с зависимой ВТХ, значение $t_{сз.пред.макс}$ следует определять по ВТХ предыдущей защиты при расчетном токе КЗ, принятом для согласования. В этом случае согласование МТЗ трансформатора с предыдущей защитой следует выполнять по карте селективности в соответствии с **3.8.6.4** и **3.8.6.5**, с приведением характеристик к стороне ВН трансформатора и проверкой селективности во всем рассматриваемом диапазоне токов КЗ.

При необходимости сокращения времени отключения КЗ при включении выключателя стороны ВН трансформатора может использоваться ускорение действия МТЗ ВН согласно **3.8.3**. Значение уставки **«Тумтз 1»** следует выбирать с учетом отстройки от переходных процессов при включении трансформатора, в том числе от броска тока намагничивания. При отсутствии необходимости в ускоренном отключении КЗ при включении выключателя ускорение МТЗ ВН допускается не использовать.

3.10.2.4 Защита от перегрузки

Защита от перегрузки может выполняться:

- с независимой от тока выдержкой времени;
- с зависимой ВТХ.

Защита от перегрузки с независимой выдержкой времени применяется как основной вариант при действии на сигнализацию, автоматическую разгрузку или отключение трансформатора по условию недопустимой длительной перегрузки.

Защита от перегрузки с зависимой ВТХ может применяться для трансформаторов 6–35/0,4 кВ при необходимости согласования с защитными аппаратами стороны 0,4 кВ, имеющими собственные ВТХ.

При выборе уставок защиты от перегрузки с независимой выдержкой времени следует учитывать допустимую нагрузочную способность трансформатора. Значение коэффициента отстройки и выдержки времени действия защиты от перегрузки следует уточнять по проектной и эксплуатационной документации, документации завода-изготовителя, а также по применимым НТД: ГОСТ 14209-85 [**34**], ГОСТ Р 52719-2007 [**35**], ГОСТ Р 54827-2011 [**46**].

Расчет значения уставки **«Iзп»** срабатывания защиты от перегрузки по току с независимой выдержкой времени следует выполнять по условию отстройки от номинального тока защищаемой обмотки трансформатора:

$$Iзп = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot I_{ном.тр.X} \quad А \qquad (3.89)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки. При отсутствии специальных требований значение данного коэффициента допускается принимать равным 1,05. При наличии данных о допустимых систематических нагрузках и аварийных перегрузках трансформатора значение $k_{отс}$, а также выдержки времени действия защиты от перегрузки следует уточнять по ГОСТ 14209-85 [**34**], ГОСТ Р 52719-2007 [**35**], ГОСТ Р 54827-2011 [**46**] и документации на конкретный трансформатор

$k_{в}$ – коэффициент возврата уставки **«Iзп»**, принимаемый по таблицам 3.13, 3.14, 3.15 для соответствующих устройств

$I_{ном.тр.X}$ А номинальный ток защищаемой обмотки трансформатора со стороны установки защиты

X – сторона установки защиты: ВН, НН, НН1 или НН2

Для трансформатора с расщепленной обмоткой НН значение уставки **«Iзп»** (**«Iзп 1»**) следует определять отдельно для каждой ветви НН1 и НН2, если защита от перегрузки выполняется по токам указанных сторон.

Значение уставки **«Тзп»** при действии защиты от перегрузки на сигнализацию следует выбирать по условию отстройки от максимального времени действия резервных защит трансформатора, а также от пусковых режимов двигателей на стороне НН. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тзп»** рекомендуется принимать из диапазона:

$$Тзп = 7–10 \ \ с \tag{3.90}$$

Выбор уставки **«Тзп откл»** задержки действия защиты от перегрузки на отключение следует выполнять с учетом того, что в алгоритме ЗП устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** отсчет указанной выдержки времени начинается после срабатывания ЗП на предупредительную сигнализацию. Поэтому значение уставки **«Тзп откл»** не является полным временем отключения трансформатора от тока перегрузки.

Полное время отключения трансформатора от тока перегрузки определяется суммой выдержки времени действия ЗП на сигнализацию **«Тзп»** и дополнительной выдержки времени действия ЗП на отключение **«Тзп откл»**:

$$T_{зп.откл.сум} \le Тзп + Тзп\ откл \tag{3.91}$$

где

$T_{зп.откл.сум}$ — с — полное время отключения трансформатора от момента возникновения перегрузки до выдачи команды на отключение

Значение полного времени отключения $T_{зп.откл.сум}$ следует выбирать по условию ограничения допустимой продолжительности перегрузки трансформатора.

В ранее действовавшем ПТЭЭП [**103**, п. 2.1.21] были приведены справочные значения допустимой кратковременной аварийной перегрузки трансформаторов. В действующей редакции ПТЭЭП [**104**] аналогичный пункт с табличными значениями кратности и длительности кратковременной аварийной перегрузки трансформаторов отсутствует. Поэтому приведенные ниже значения допускается использовать только как справочные ориентиры для первоначального выбора уставок и не заменяют проверку допустимой перегрузочной способности конкретного трансформатора по документации завода-изготовителя и применимым НТД.

Значение полного времени отключения в общем случае определяется из условия:

$$T_{зп.откл.сум} \le T_{пер.доп} \tag{3.92}$$

где

$T_{пер.доп}$ — с — допустимая продолжительность перегрузки трансформатора при принятой расчетной кратности тока перегрузки

При отсутствии уточненных данных о допустимой продолжительности перегрузки для первоначального выбора уставок допускается принимать:

для масляных трансформаторов:

$$T_{зп.откл.сум} = 600 \ \ с \tag{3.93}$$

при условии:

$$Iзп \le 2 \cdot I_{ном.тр.ВН} \tag{3.94}$$

для сухих трансформаторов:

$$T_{зп.откл.сум} = 300 \ \ с \tag{3.95}$$

при условии:

$$Iзп \le 1{,}6 \cdot I_{ном.тр.ВН} \tag{3.96}$$

Если для подстанции без постоянного дежурного персонала принято действие защиты от перегрузки на автоматическую разгрузку в соответствии с ПУЭ [**100**, п. 3.2.69], значения уставок **«Тразгр 1»** и **«Тразгр 2»** очередей разгрузки следует выбирать с учетом того, что указанные выдержки времени отсчитываются после срабатывания ЗП на предупредительную сигнализацию. Поскольку выдержки времени **«Тразгр 1»**, **«Тразгр 2»** и **«Тзп откл»** отсчитываются от одного события, их взаимное согласование допускается выполнять по условию:

$$Тразгр\ 1 < T_{зп.откл.сум} < Тразгр\ 2 \tag{3.97}$$

При наличии в устройстве второй ступени защиты от перегрузки значения уставок **«Iзп 2»**, **«Тзп 2»**, **«Тзп 2 откл»** следует выбирать по назначению указанной ступени. Если вторая ступень используется как дополнительная ступень контроля

более тяжелой перегрузки трансформатора, значение уставки **«Iзп 2»** следует принимать больше значения уставки **«Iзп 1»**, а значение полного времени отключения второй ступенью ЗП выбирать с учетом допустимой продолжительности перегрузки трансформатора при кратности тока, соответствующей уставке **«Iзп 2»**. Значения указанных уставок должны определяться по документации завода-изготовителя трансформатора и соответствующим НТД.

При вводе действия второй ступени ЗП на отключение следует учитывать, что отсчет выдержки времени **«Тзп 2 откл»** начинается после срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию. Полное время отключения трансформатора действием второй ступени ЗП определяется по выражению:

$$T_{зп2.откл.сум} \leq Tзп2 + Tзп\ 2\ откл \quad (3.98)$$

Значение уставки **«Тзп 2 откл»** следует определять по условию:

$$T_{зп2.откл.сум} \leq T_{доп2} - Tзп2 \quad (3.99)$$

где

$T_{доп2}$ с допустимая продолжительность перегрузки трансформатора при кратности тока, соответствующей уставке **«Iзп 2»**, определяемая по документации завода-изготовителя трансформатора и применимым НТД

Защиту от перегрузки с зависимой ВТХ допускается применять для трансформаторов 6–35/0,4 кВ при необходимости согласования с защитными аппаратами стороны НН, имеющими собственные времятоковые характеристики. Такой вариант, как правило, применяется при наличии на стороне НН автоматического выключателя с расцепителем, содержащим защиту от перегрузки, селективную токовую отсечку с выдержкой времени и мгновенную токовую отсечку.

Применительно к рисунку 3.14 защита 1 — защита от перегрузки трансформатора, установленная на стороне ВН; защита 2 — защитный аппарат стороны НН, с которым выполняется согласование.

Значение уставки **«Iзп»** при зависимой ВТХ следует выбирать по наибольшему из значений, определенных по условию отстройки от номинального тока защищаемой обмотки трансформатора и по условию согласования с защитой от перегрузки защитного аппарата стороны НН.

Расчет значения уставки **«Iзп»** зависимой ВТХ по условию отстройки от номинального тока защищаемой обмотки трансформатора следует выполнять по формуле (3.89).

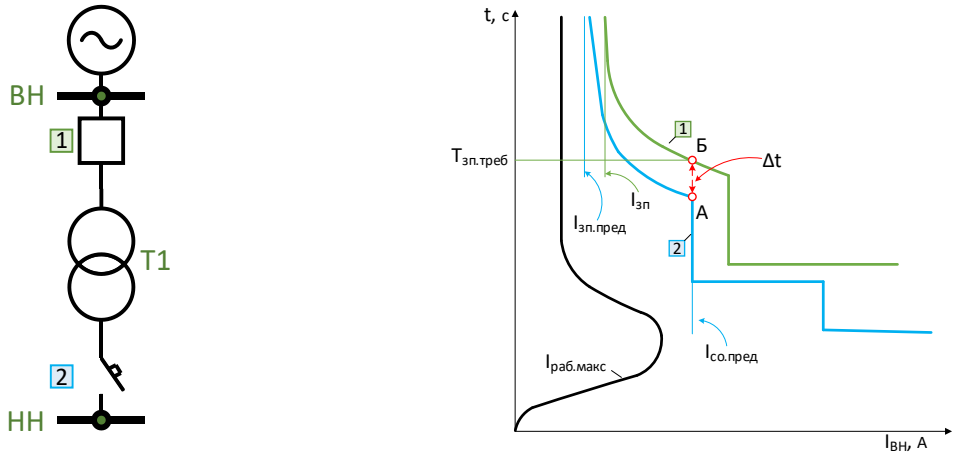
Значение уставки **«Iзп»** зависимой ВТХ по условию согласования с защитным аппаратом 0,4 кВ следует определять по формуле:

$$Iзп = k_{н.с} \cdot I_{зп.пред.ВН}\ \ А \quad (3.100)$$

где

$k_{н.с}$ – коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.2

$I_{зп.пред.ВН}$ А ток срабатывания защиты от перегрузки защитного аппарата стороны НН, приведенный к стороне ВН трансформатора



а) б)

Рисунок 3.14. Согласование зависимой ВТХ защиты от перегрузки трансформатора с защитным аппаратом стороны НН: а — расчетная схема; б — карта селективности; 1 — зависимая ВТХ защиты от перегрузки трансформатора со стороны ВН; 2 — ВТХ защитного аппарата стороны НН, приведенная к стороне ВН трансформатора

При наличии в документации на защитный аппарат стороны НН диапазона срабатывания защиты от перегрузки в расчет значения $I_{зп.пред.ВН}$ следует принимать значение, соответствующее наиболее неблагоприятному условию согласования. При выборе уставки по току, как правило, принимается верхняя граница диапазона срабатывания предыдущей защиты.

Если защитный аппарат стороны НН имеет составную ВТХ, включающую защиту от перегрузки, селективную ТО и мгновенную ТО, при проверке согласования следует учитывать возможное сближение характеристик в следующих областях:

- в области действия защиты от перегрузки защитного аппарата стороны НН;
- в области действия селективной токовой отсечки защитного аппарата стороны НН;
- в области действия мгновенной токовой отсечки защитного аппарата стороны НН.

При наличии в документации на защитный аппарат стороны НН диапазона срабатывания селективной токовой отсечки или мгновенной токовой отсечки в расчет следует принимать значение, соответствующее наиболее неблагоприятному условию согласования. При построении карты селективности допускается показывать диапазон возможного срабатывания защитного аппарата стороны НН.

Токи срабатывания указанных ступеней защитного аппарата стороны НН должны быть приведены к стороне ВН трансформатора.

В качестве расчетного тока согласования следует принимать ток срабатывания селективной токовой отсечки защитного аппарата стороны НН, приведенный к стороне ВН трансформатора:

Требуемое время срабатывания защиты от перегрузки трансформатора при расчетном токе согласования следует определять по формуле:

$$T_{зп.треб}=t_{со.пред}+\Delta t \quad с \tag{3.101}$$

где

$t_{со.пред}$ с — время срабатывания селективной токовой отсечки защитного аппарата стороны НН, определяемое по ВТХ защитного аппарата при расчетном токе, равном току срабатывания селективной токовой отсечки

Δt с — ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Применительно к рисунку 3.14, б) точка А соответствует времени срабатывания защитного аппарата стороны НН при расчетном токе $I_{со.пред}$, а точка Б — требуемому времени срабатывания защиты от перегрузки трансформатора при том же токе, увеличенному на ступень селективности Δt.

Значение коэффициента времени **«kвтх зп»** следует определять в соответствии с **3.8.6** для выбранного типа ВТХ, расчетного тока $I_{со.пред}$ и требуемого времени $T_{зп.треб}$.

В формулах зависимых ВТХ, приведенных в п. **3.8.6**, параметр T соответствует времени срабатывания защиты при заданной кратности тока. При расчете уставки **«kвтх зп»** значение T следует принимать равным требуемому времени $T_{зп.треб}$, определенному по формуле (3.101). При этом в качестве расчетного тока принимается $I_{со.пред}$, а в качестве тока срабатывания защиты — уставка **«Iзп»**.

Дополнительную задержку срабатывания **«Tвтх зп»** следует принимать равной нулю, если необходимость ее задания не обусловлена условиями согласования с защитными аппаратами стороны НН.

После выбора уставок **«Iзп»**, **«ВТХ зп»**, **«kвтх зп»** и **«Tвтх зп»** следует выполнить проверку согласования по карте селективности. На карте селективности должны быть построены ВТХ защиты от перегрузки трансформатора и ВТХ защитного аппарата стороны НН, приведенные к стороне ВН трансформатора. Проверку согласования следует выполнять в области возможного сближения характеристик, в том числе при расчетном токе $I_{со.пред}$.

3.10.2.5 Специальная защита нулевой последовательности

Защита реагирует на увеличение тока в нейтральном проводнике обмотки НН трансформатора. При однофазном КЗ на стороне НН ток в нейтральном проводнике соответствует утроенному току нулевой последовательности $I_N=3I_0$.

Расчет уставки **«Iсзнп»** целесообразно выполнять в первичных величинах стороны НН трансформатора. Перед вводом в устройство значение уставки следует привести ко вторичным величинам с учетом коэффициента трансформации ТТ, установленного в нейтрали трансформатора.

Значение уставки **«Iсзнп»** тока срабатывания следует выбирать по следующим условиям:

- отстройка от допустимого продолжительного тока в нейтральном проводнике обмотки НН трансформатора;
- согласование по току с защитными аппаратами стороны НН трансформатора, установленными ближе к месту повреждения, на которых не предусмотрена ТЗНП;
- согласование по току с ТЗНП отходящих линий НН, на которых такая защита установлена.

Расчет значения уставки **«Iсзнп»** по условию отстройки от допустимого продолжительного тока в нейтральном проводнике обмотки НН трансформатора выполняется по формуле:

$$Iсзнп = \frac{k_{отс}}{k_{в}} \cdot k_{несим} \cdot I_{ном.тр.НН} \quad А \tag{3.102}$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2. При отсутствии данных о фактической несимметрии нагрузки допускается принимать равным 1,5

$k_{в}$ – коэффициент возврата измерительного органа, используемого для реализации защиты; принимается по РЭ или паспорту на соответствующее устройство. При отсутствии данных на стадии проектирования допускается принимать равным 0,95

$k_{несим}$ – коэффициент, учитывающий продолжительную нагрузочную способность вводов и отводов нейтрали обмотки НН трансформатора, выраженную в долях от номинального тока обмотки НН. В соответствии с ГОСТ 11677-85 [36, п. 3.9.6] указанный коэффициент следует принимать в зависимости от схемы соединения обмоток трансформатора:

- 0,25 – для схемы соединения обмоток $Y/Y_н$
- 0,75 – для схемы соединения обмоток $Δ/Y_н$ и $Y/Z_н$

$I_{ном.тр.НН}$ А номинальный ток стороны НН трансформатора; для трансформатора с расщепленной обмоткой НН $I_{ном.тр.НН}$ следует принимать для соответствующей части обмотки НН

Расчет значения уставки **«Iсзнп»** по условию согласования по току с защитными аппаратами стороны НН трансформатора, на которых не предусмотрена ТЗНП, выполняется по формуле:

$$Iсзнп = k_{н.с} \cdot I_{то.пред.макс} \quad А \tag{3.103}$$

где

$k_{н.с}$ – коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.2

$I_{то.пред.макс}$ А наибольшее значение тока срабатывания токовых отсечек или мгновенных токовых расцепителей защитных аппаратов стороны НН трансформатора, установленных ближе к месту повреждения

Расчет значения уставки **«Iсзнп»** по условию согласования по току с ТЗНП присоединений стороны НН трансформатора выполняется по формуле:

$$Iсзнп = k_{н.с} \cdot I_{тзнп.пред.макс} \quad А \tag{3.104}$$

где

$k_{н.с}$ – коэффициент надежности согласования, принимаемый по таблице 3.2

$I_{тзнп.пред.макс}$ А наибольшее значение тока срабатывания ТЗНП присоединений стороны НН трансформатора

Окончательное значение уставки **«Iсзнп»** следует принимать равным наибольшему из значений, рассчитанных по указанным выше условиям.

Коэффициент чувствительности специальной защиты нулевой последовательности следует определять по формуле:

$$k_{ч} = \frac{I^{1}_{кз.НН.мин}}{Iсзнп} \tag{3.105}$$

где

$I^{1}_{кз.НН.мин}$ А минимальное значение тока, протекающего через измерительный орган защиты при однофазном КЗ в расчетной точке на стороне НН трансформатора; для сетей НН 0,4 кВ определяется в расчетном по чувствительности режиме с учетом активного сопротивления электрической дуги или переходного активного сопротивления в месте КЗ. При отсутствии иных расчетных данных для сетей НН 0,4 кВ в

качестве ориентира допускается принимать переходное активное сопротивление в месте КЗ равным 15 мОм[1], отнесенное к стороне 0,4 кВ

В основной зоне действия защиты расчетным следует принимать однофазное КЗ на шинах НН трансформатора. При необходимости резервирования защитных аппаратов стороны НН трансформатора расчетным следует принимать однофазное КЗ в конце наиболее удаленного участка, входящего в зону резервирования.

Коэффициент чувствительности специальной защиты нулевой последовательности должен соответствовать следующим требованиям.

Коэффициент чувствительности согласно ПУЭ:

- около 1,5 — для токовых защит, включенных на составляющие нулевой последовательности, в основной зоне действия защиты [**100**, п. 3.2.21];
- 1,2 — при КЗ в конце смежного элемента или наиболее удаленного из нескольких последовательно включенных элементов, входящих в зону резервирования [**100**, п. 3.2.25].

Коэффициент чувствительности согласно Приказу Минэнерго России № 546:

- 1,5 — для токовых измерительных органов защит, в том числе защит, включенных на составляющие нулевой последовательности, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента [**145**, п. 14];
- 1,2 — для токовых измерительных органов защит, выполняющих функции дальнего резервирования [**145**, п. 15].

Проверка чувствительности по Приказу Минэнерго России № 546 выполняется для металлического КЗ без учета переходного сопротивления; дополнительная практическая проверка чувствительности в сети 0,4 кВ может выполняться с учетом сопротивления электрической дуги или переходного сопротивления в месте КЗ [**164**].

Специальную защиту нулевой последовательности следует выполнять с независимой выдержкой времени. Расчет значения уставки **«Тсзнп»** задержки срабатывания следует выполнять по условию согласования по времени с защитными аппаратами стороны НН трансформатора, установленными ближе к месту повреждения:

$$Тсзнп = t_{сз.пред.макс} + \Delta t \quad с \tag{3.106}$$

где

$t_{сз.пред.макс}$	с	наибольшее время срабатывания защитного аппарата стороны НН трансформатора, с которым выполняется согласование, при расчетном токе согласования
Δt	с	ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

При наличии вводного защитного аппарата 0,4 кВ, секционного аппарата, защитных аппаратов отходящих линий НН и/или ТЗНП присоединений стороны НН их характеристики следует учитывать при выборе уставки **«Тсзнп»**, если соответствующий защитный аппарат расположен ближе к месту повреждения.

Расчетный ток согласования следует принимать равным току однофазного КЗ, протекающему через специальную защиту нулевой последовательности и соответствующий защитный аппарат стороны НН при повреждении в расчетной точке согласования.

После выбора уставки **«Тсзнп»** следует проверить, что полное время отключения однофазного КЗ на стороне НН трансформатора с учетом времени действия защиты и времени отключения выключателя не превышает значений, установленных ПУЭ [**100**, п. 1.7.79]. Для цепей, питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки, указанное время не должно превышать 5 с.

После выбора уставок **«Iсзнп»** и **«Тсзнп»** следует выполнить проверку согласования по карте селективности. На карте селективности должны быть построены характеристика специальной защиты нулевой последовательности трансформатора и ВТХ защитных аппаратов стороны НН трансформатора, установленных ближе к месту повреждения: вводного защитного аппарата 0,4 кВ, секционного аппарата при его наличии, защитных аппаратов отходящих линий НН и ТЗНП отходящих линий

[1] Значение принято по [**164**], где для расчета минимальных значений токов КЗ на стороне 0,4 кВ учитывается переходное активное сопротивление в месте КЗ с наибольшим значением 15 мОм. В уточненных расчетах активное сопротивление электрической дуги может определяться по РД 153-34.0-20.527-98 [**112**, разд. 6.9]

НН. Проверку следует выполнять в области возможных однофазных КЗ на стороне НН трансформатора, в том числе при КЗ на шинах НН и при КЗ в конце наиболее удаленных участков, подлежащих резервированию.

Если требуемые чувствительность, селективность или время отключения не обеспечиваются, следует рассмотреть уменьшение значения уставки **«Iсзнп»**, уменьшение выдержки времени **«Тсзнп»** при сохранении селективности, применение отдельной ТЗНП отходящих линий НН, изменение уставок защитных аппаратов стороны НН либо иное техническое решение, обеспечивающее требуемые чувствительность, селективность и допустимое время отключения.

3.10.2.6 Особенности расчета уставок токовых защит печных трансформаторов

В настоящем подразделе токовые защиты печного трансформатора от междуфазных КЗ рассматриваются как две ступени максимальной токовой защиты с независимой выдержкой времени. Такой подход принят для единообразного расчета уставок устройств **«Алтей»** и **«Лютик»**, а также с учетом того, что выбор токов срабатывания обеих ступеней выполняется по условиям отстройки от эксплуатационных режимов печного трансформатора.

Первая ступень МТЗ печного трансформатора предназначена для ограничения длительности работы трансформатора с током, превышающим номинальный ток с учетом допустимой эксплуатационной перегрузки. Вторая ступень МТЗ печного трансформатора предназначена для отключения междуфазных КЗ, не относящихся к допустимым эксплуатационным КЗ дуговой печи. Значение тока срабатывания второй ступени следует выбирать с учетом требования ПУЭ [100, п. 7.5.45], согласно которому в установках дуговых печей, где могут происходить эксплуатационные КЗ, толчки тока КЗ должны быть не выше 3,5-кратного значения номинального тока.

Значение уставки **«Iмтз 1»** тока срабатывания первой ступени МТЗ печного трансформатора следует выбирать по условию отстройки от номинального тока печного трансформатора с учетом допустимой эксплуатационной перегрузки:

$$I_{мтз\ 1} = k_{отс} \cdot k_{п} \cdot I_{ном.пт}\ [А] \quad (3.107)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1

$k_{п}$ – допустимый коэффициент эксплуатационной перегрузки печного трансформатора; при отсутствии уточненных данных допускается принимать равным 1,2

$I_{ном.пт}$ А номинальный ток печного трансформатора, приведенный к стороне установки защиты

Значение уставки **«Iмтз 2»** тока срабатывания второй ступени МТЗ печного трансформатора следует выбирать по условию отстройки от максимального тока эксплуатационного КЗ дуговой печи:

$$I_{мтз\ 2} = k_{отс} \cdot k_{пт} \cdot I_{ном.пт}\ [А] \quad (3.108)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,1

$k_{пт}$ – коэффициент отстройки от максимального допустимого тока эксплуатационного КЗ печного трансформатора; в соответствии с ПУЭ [100, п. 7.5.45] принимается равным 3,5

Проверку чувствительности МТЗ печного трансформатора к междуфазным КЗ следует выполнять в соответствии с подразделом 3.10.2 для МТЗ стороны ВН силового трансформатора. При проверке чувствительности в качестве тока срабатывания защиты $I_{мтз}$ следует принимать значение уставки **«Iмтз 2»**, выбранное по условию отстройки от максимального тока эксплуатационного КЗ дуговой печи.

Требуемые значения коэффициента чувствительности следует принимать в соответствии с ПУЭ [100, п. 3.2.21] и Приказом Минэнерго России № 546 [145, пп. 14, 15].

Значение уставки **«Тмтз 1»** задержки срабатывания первой ступени МТЗ печного трансформатора следует выбирать по технологическим характеристикам процесса плавки и данным завода-изготовителя печного трансформатора. При отсутствии уточненных данных значение уставки **«Тмтз 1»** допускается принимать равным:

$$Т_{мтз\ 1} = 3\ [с] \quad (3.109)$$

Значение уставки **«Тмтз 2»** задержки срабатывания второй ступени МТЗ печного трансформатора следует принимать минимальным, достаточным для отключения междуфазных КЗ, не относящихся к допустимым эксплуатационным КЗ дуговой печи:

$$Т_{мтз\ 1} = 0{,}05–0{,}1\ [с] \quad (3.110)$$

При выборе выдержек времени МТЗ печного трансформатора следует учитывать работу автоматического регулятора тока (мощности) дуговой печи, чтобы эксплуатационные КЗ своевременно устранялись поднятием электродов, а отключение печного выключателя происходило только при отказе или несвоевременной работе регулятора [100, п. 7.5.46].

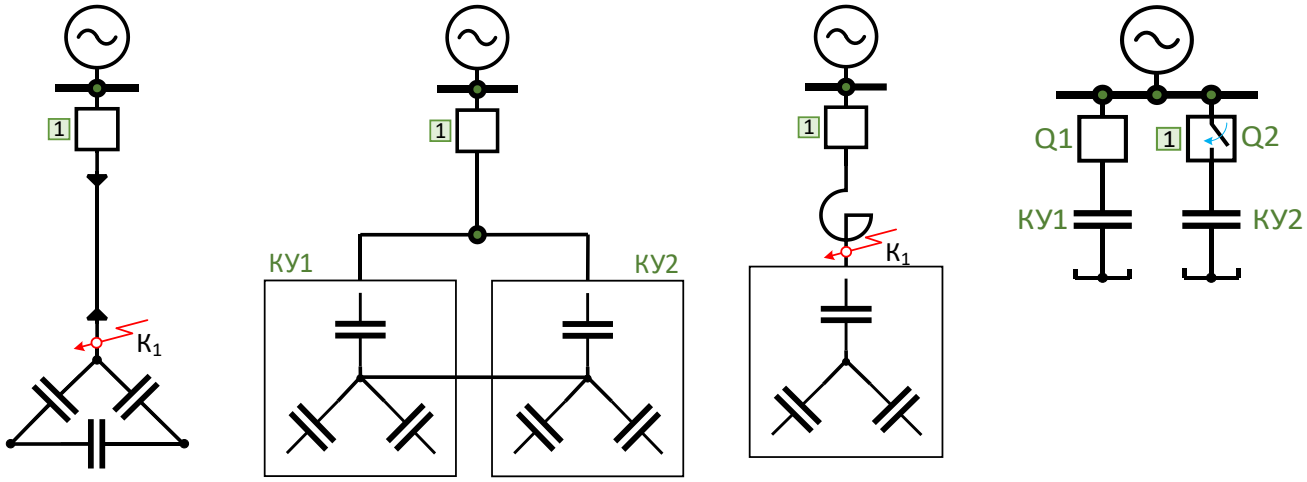
3.10.3 Токовые защиты конденсаторных установок и фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ)

3.10.3.1 Общие сведения

В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.6.16] конденсаторные установки в целом должны иметь защиту от токов КЗ, действующую на отключение без выдержки времени. Защита должна быть отстроена от токов включения установки и толчков тока при перенапряжениях.

В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.6.18] в случаях, когда возможна перегрузка конденсаторов токами высших гармоник, должна быть предусмотрена релейная защита, отключающая конденсаторную установку с выдержкой времени при действующем значении тока для единичных конденсаторов, превышающем 130 % номинального.

Требования ПУЭ [100, гл. 5.6] в настоящем разделе применяются непосредственно к конденсаторным установкам и БСК. Для ФКУ указанные требования используются в части конденсаторной части установки и с учетом проектных решений, схемы фильтра и документации производителя ФКУ.



а) б) в) г)

Рисунок 3.15. Расчетные схемы для выбора уставок токовых защит БСК: а — одиночная БСК с соединением конденсаторов в треугольник; б — БСК, выполненная по схеме «двойная звезда»; в — БСК с последовательным реактором; г — включение одной БСК при ранее включенной другой БСК

Расчет уставок токовых защит БСК следует выполнять с учетом переходных токов, возникающих при включении БСК, уравнительных токов при включении одной БСК при ранее включенной другой БСК, токов разряда БСК в место внешнего КЗ, а также возможной перегрузки конденсаторов токами высших гармоник.

При эксплуатации многосекционных КУ, а также нескольких БСК, включаемых раздельными коммутационными аппаратами, следует учитывать возможность включения в работу БСК, длительно находившейся в отключенном состоянии. В осенне-зимний период температура такой БСК может быть близка к температуре окружающей среды, а включение «холодной» БСК под полное напряжение является более неблагоприятным режимом для конденсаторов [15]. Указанное обстоятельство следует учитывать при анализе коммутационных режимов БСК и оценке условий работы конденсаторов.

Для ФКУ расчет токовых защит питающего присоединения и конденсаторной части допускается выполнять по приведенным выше условиям с учетом параметров реакторов, схемы фильтра и данных производителя. Защиты реакторов, внутренние защиты фильтров, защиты от повреждений отдельных ветвей, защиты от ОЗЗ и защиты по напряжению в настоящей Методике не рассматриваются и должны выбираться исходя из проектных решений и документации производителя ФКУ.

Расчет значений уставок следует выполнять в первичных величинах. Приведение рассчитанных значений ко вторичным величинам для ввода в устройство выполняется в соответствии с разделом 2.1 с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения.

3.10.3.2 Расчет уставок БСК

При выборе уставок токовой защиты БСК необходимо учитывать переходный ток, возникающий при включении батареи под напряжение. Для одиночной БСК расчетным является режим включения разряженной батареи на рабочее напряжение сети. В соответствии с [184] пиковое значение тока включения одиночной БСК определяется током КЗ в месте подключения БСК и током включаемой батареи; для одиночных БСК такие токи обычно находятся в диапазоне 5–15 номинальных токов батареи. В настоящей Методике для учета коэффициента загрузки конденсаторов по напряжению расчетное амплитудное значение тока включения одиночной БСК следует определять по формуле:

$$I_{вкл.БСК} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.БСК} \cdot \left(k_U + \sqrt{\frac{S_{кз}}{Q_{ном.БСК}}} \right) \text{ [А]} \quad (3.111)$$

где

$I_{вкл.БСК}$	А	расчетное амплитудное значение тока включения одиночной БСК
$I_{ном.БСК}$	А	номинальный ток БСК
k_U	–	коэффициент загрузки конденсаторов по напряжению, определяется по формуле (3.112)
$S_{кз}$	ВА	трехфазная мощность КЗ в месте подключения БСК
$Q_{ном.БСК}$	ВАр	номинальная трехфазная мощность БСК

Составляющая $\sqrt{S_{кз}/Q_{ном.БСК}}$ отражает зависимость тока включения от мощности КЗ в месте подключения БСК и мощности батареи.

Коэффициент k_U отражает зависимость тока включения БСК от напряжения, приложенного к конденсаторам. Данный коэффициент характеризует отношение расчетного напряжения, приходящегося на один единичный конденсатор в принятой схеме соединения БСК, к его номинальному напряжению. В [69] отмечается, что при последовательном соединении однофазных конденсаторов напряжение, приходящееся на один конденсатор, как правило, не совпадает с номинальным напряжением конденсаторов; поэтому при расчетах необходимо учитывать отклонение фактических параметров конденсаторов от номинальных.

Коэффициент k_U следует определять по выражению:

$$k_U = \frac{U_{к.расч}}{U_{ном.к}} \quad (3.112)$$

где

$U_{к.расч}$	В	расчетное напряжение, приходящееся на один единичный конденсатор в принятой схеме соединения БСК
$U_{ном.к}$	В	номинальное напряжение единичного конденсатора

При ориентировочных расчетах значение k_U, как правило, принимается не более 1,0. При наличии режимов с повышенным напряжением на конденсаторах значение k_U должно приниматься по расчетному напряжению в месте подключения БСК, но не должно превышать допустимого значения по документации завода-изготовителя и требованиям ПУЭ [100, п. 5.6.17].

При наличии на одной секции шин двух и более БСК следует дополнительно учитывать режим включения одной БСК при ранее включенной другой БСК. Указанный режим показан на рисунке 3.15, г): к ранее включенной КУ1 через выключатель Q1 подключается вторая КУ2 при включении выключателя Q2. В указанном режиме расчетный ток включения определяется не только параметрами питающей сети, но и переходным процессом между ранее включенной заряженной КУ1 и включаемой разряженной КУ2. В [184] указывается, что для указанного режима[1] пиковое значение тока включения определяется напряжением в момент включения, эквивалентной емкостью БСК и суммарной индуктивностью цепи между ними; активное сопротивление цепи в расчете, как правило, не учитывается, так как оно в основном влияет на скорость затухания переходного процесса.

[1] В [184, eq. 8] для указанного расчетного режима используется термин «back-to-back switching», под которым понимается включение одной БСК и при ранее включенной другой БСК. Данный режим сопровождается кратковременным переходным процессом перезаряда емкостей: ранее включенная и заряженная БСК частично разряжается на включаемую БСК через индуктивность ошиновки, выключателя и реакторов, что приводит к появлению большого кратковременного уравнительного ток.

Расчетное амплитудное значение тока включения одной БСК при ранее включенной другой БСК следует определять по формуле:

$$I_{вкл.2БСК}=\sqrt{2}\cdot\frac{U_{расч}}{\sqrt{3}}\cdot\sqrt{\frac{C_{экв}}{L_0+L_р}}\ [А] \quad (3.113)$$

где

$I_{вкл.2БСК}$	А	расчетное амплитудное значение тока включения одной БСК при ранее включенной другой БСК
$U_{расч}$	В	расчетное междуфазное напряжение в месте подключения БСК
$C_{экв}$	Ф	эквивалентная емкость ранее включенной и включаемой БСК, определяется по формуле (3.114)
L_0	Гн	эквивалентная индуктивность ошиновки и коммутационных цепей между ранее включенной и включаемой БСК
$L_р$	Гн	индуктивность токоограничивающего или фильтрового реактора, установленного в цепи включаемой БСК

Эквивалентную емкость ранее включенной и включаемой БСК следует определять по формуле:

$$C_{экв}=\frac{C_0\cdot C_1}{C_0+C_1}\ [Ф] \quad (3.114)$$

где

C_0	Ф	эквивалентная емкость ранее включенной БСК
C_1	Ф	эквивалентная емкость включаемой БСК

Значения C_0 и C_1 следует принимать как эквивалентные емкости одной расчетной фазы БСК. Для БСК одинаковой мощности при одинаковой схеме соединения допускается принимать $C_0=C_1$.

Ток разряда БСК $I_{разр}$ в место внешнего КЗ следует учитывать при выборе уставки **«Iто 1»** в случаях, когда при внешнем КЗ ток разряда БСК протекает через ТТ защиты и может быть соизмерим с расчетным током включения БСК. В [69] указывается, что ток разряда КУ в сеть возникает при КЗ в сети, к которой присоединены конденсаторы, определяется параметрами КУ и питающей сети и быстро затухает, хотя может в несколько раз превышать номинальный ток КУ. При отсутствии исходных данных для детального расчета допускается не выделять отстройку от тока разряда как самостоятельное расчетное условие, а учитывать указанный режим коэффициентом отстройки от переходных токов включения и разряда БСК.

Значение уставки **«Iто 1»** тока срабатывания первой ступени ТО БСК следует выбирать по следующим условиям:

- отстройки от тока включения одиночной БСК;
- отстройки от тока включения одной БСК при ранее включенной другой БСК;
- отстройки от тока разряда БСК в место внешнего КЗ, если указанный режим является расчетным.

Значение уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от тока включения одиночной БСК следует определять по формуле:

$$Iто\ 1=k_{отс.вкл}\cdot I_{вкл.БСК}\ [А] \quad (3.115)$$

где

$k_{отс.вкл}$	–	коэффициент отстройки от тока включения одиночной БСК, принимаемый из диапазона 1,1–1,3
$I_{вкл.БСК}$	А	расчетное амплитудное значение тока включения одиночной БСК, определяемое по формуле (3.111)

Значение уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от тока включения одной БСК при ранее включенной другой БСК следует определять по формуле:

$$Iто\ 1=k_{отс.2БСК}\cdot I_{вкл.2БСК}\ [А] \quad (3.116)$$

где

$k_{отс.2БСК}$	–	коэффициент отстройки от тока включения одной БСК при ранее включенной другой БСК, принимаемый из диапазона 1,1–1,3
$I_{вкл.2БСК}$	А	расчетное амплитудное значение тока включения одной БСК при ранее включенной другой БСК, определяемое по формуле (3.113)

Значение уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от тока разряда БСК в место внешнего КЗ следует определять по формуле:

$$Iто\ 1=k_{отс.разр}\cdot I_{разр}\ [А] \quad (3.117)$$

где

$k_{отс.разр}$ — коэффициент отстройки от расчетного амплитудного значения тока разряда БСК в место внешнего КЗ, принимаемый из диапазона 1,1–1,3

$I_{разр}$ А расчетное амплитудное значение тока разряда БСК в место внешнего КЗ

Окончательное значение уставки **«Iто 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, рассчитанных по указанным выше условиям.

При отсутствии исходных данных, необходимых для детального определения токов включения и разряда БСК, допускается выполнять ориентировочный расчет уставки **«Iто 1»** по условию отстройки от номинального тока БСК по формуле [69, 125]:

$$Iто\ 1 = k_{отс} \cdot I_{ном.БСК}\ [А] \quad (3.118)$$

где

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, учитывающий переходный процесс при включении БСК, принимаемый из диапазона 2,0–2,5

$I_{ном.БСК}$ А номинальный ток БСК

Значение уставки **«Iто 1»**, определенное по указанной формуле, следует рассматривать как предварительное. При наличии уточненных данных по параметрам БСК, ошиновки, реакторов и питающей сети уставку следует проверить по расчетным токам включения и разряда БСК.

Проверку коэффициента чувствительности первой ступени ТО БСК следует выполнять при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах БСК [63, 125].

Коэффициент чувствительности следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.БСК.мин}}{Iто\ 1} \quad (3.119)$$

где

$I^{(2)}_{кз.БСК.мин}$ А минимальный ток двухфазного КЗ на линейных выводах БСК

Применительно к рисунку 3.15, а в качестве расчетной точки КЗ для проверки чувствительности ТО БСК следует принимать точку K_1 на линейных выводах БСК. При наличии в цепи БСК последовательного реактора точку K_1 следует принимать между реактором и конденсаторной установкой, как показано на рисунке 3.15, в).

Коэффициент чувствительности ТО без выдержки времени должен соответствовать следующим требованиям.

С учетом общего требования ПУЭ [100, п. 3.2.21] к чувствительности быстродействующих защит:

- около 2 — при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах БСК

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 19]:

- 2,0 — для токовых защит без выдержки времени.

В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.6.16] защита конденсаторной установки от токов КЗ должна действовать на отключение без выдержки времени и быть отстроена от токов включения установки и толчков тока при перенапряжениях. Поэтому значение уставки **«Tто 1»** задержки срабатывания первой ступени ТО БСК следует принимать равным:

$$Tто\ 1 = 0\ [с] \quad (3.120)$$

Вторая ступень токовой защиты БСК может применяться в качестве более чувствительной ступени защиты от многофазных КЗ. Указанная ступень выполняется с выдержкой времени, выбираемой с учетом полного затухания переходных процессов при включении БСК. В связи с этим значение уставки **«Iто 2»** допускается выбирать без отстройки от амплитудных значений токов включения БСК, используемых при выборе первой ступени ТО.

Значение уставки **«Iто 2»** следует выбирать по условию отстройки от тока установившегося режима БСК:

$$Iто\ 2 = k_{отс} \cdot I_{БСК.раб.макс}\ [А] \quad (3.121)$$

где

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, учитывающий возможное увеличение тока БСК в установившемся режиме, принимаемый из диапазона 1,2–1,5

$I_{БСК.раб.макс}$ А максимальное рабочее значение полного действующего фазного тока БСК или ФКУ в установившемся режиме, определяемое расчетным путем либо по результатам измерений; при отсутствии уточненных данных для БСК допускается предварительно принимать равным номинальному току БСК $I_{БСК.раб.макс}=I_{ном.БСК}$.

Проверку коэффициента чувствительности второй ступени токовой защиты БСК следует выполнять при металлическом двухфазном КЗ в защищаемой зоне БСК. При наличии токоограничивающего или фильтрового реактора расчетную точку КЗ следует принимать за указанным реактором.

Коэффициент чувствительности следует определять по формуле:

$$k_ч=\frac{I^{(2)}_{кз.БСК.мин}}{Iто\ 2} \quad (3.122)$$

где

$I^{(2)}_{кз.БСК.мин}$ А минимальный ток двухфазного КЗ на линейных выводах БСК

Применительно к рисунку 3.15, а) в качестве расчетной точки КЗ для проверки чувствительности ТО следует принимать точку K_1. Для схемы с последовательным реактором по рисунку 3.15, в), в том числе токоограничивающим или фильтровым, точка K_1 принимается между реактором и конденсаторной установкой.

Коэффициент чувствительности второй ступени токовой защиты БСК должен соответствовать следующим требованиям.

С учетом общего требования ПУЭ [100, п. 3.2.21] к чувствительности максимальных токовых защит с пуском и без пуска напряжения, направленных и ненаправленных:

- около 1,5 — при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах БСК

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 — для токовых измерительных органов защит, выполняющих функции основной защиты.

Значение уставки **«Тто 2»** следует выбирать из условия отстройки от времени полного затухания переходного процесса при включении БСК. При отсутствии уточненных расчетных данных значение уставки **«Тто 2»** рекомендуется принимать равным:

$$Тто\ 2=0{,}2\ [с] \quad (3.123)$$

Защиту от перегрузки БСК токами высших гармоник следует применять в случаях, когда возможна перегрузка единичных конденсаторов токами высших гармоник. В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.6.18] в таких случаях должна быть предусмотрена релейная защита, отключающая конденсаторную установку с выдержкой времени при действующем значении тока для единичных конденсаторов, превышающем 130 % номинального.

При выборе уставок защиты от перегрузки следует учитывать, что требование ПУЭ [100, п. 5.6.18] относится к полному действующему значению тока единичных конденсаторов, включающему ток основной гармоники и токи высших гармоник. При наличии высших гармоник напряжения через БСК могут протекать повышенные гармонические токи; значение указанных токов значительно увеличивается при образовании резонансного контура [3, 66, 181].

Для выполнения требования ПУЭ [100, п. 5.6.18] в качестве основной контролируемой величины защиты от перегрузки БСК или ФКУ рекомендуется использовать максимальное из действующих значений фазных токов. Расчетное значение указанной величины следует определять по формуле:

$$I_{БСК.раб.макс}=\max\left(I_{А.БСК.раб.макс}, I_{В.БСК.раб.макс}, I_{С.БСК.раб.макс}\right)\ [А] \quad (3.124)$$

где

$I_{БСК.раб.макс}$ А максимальное рабочее значение полного действующего фазного тока БСК в длительно допустимом установившемся режиме, не являющемся режимом перегрузки; учитывает ток основной гармоники и токи высших гармоник

$I_{А.БСК.раб.макс}$, $I_{В.БСК.раб.макс}$, $I_{С.БСК.раб.макс}$ А максимальные рабочие значения полных действующих фазных токов фаз А, В, С соответственно

Значение $I_{БСК.раб.макс}$ следует определять расчетным путем либо по результатам измерений. При отсутствии уточненных данных для БСК допускается предварительно принимать:

$$I_{БСК.раб.макс} = I_{ном.БСК}\ [А] \quad (3.125)$$

где

$I_{ном.БСК}$ А номинальный ток БСК или конденсаторной части ФКУ

Значение уставки **«Iзп 1»** первой ступени ЗП БСК следует выбирать по условию отстройки от максимального рабочего значения полного действующего фазного тока:

$$Iзп\ 1 = k_{отс.ЗП1} \cdot I_{БСК.раб.макс}\ [А] \quad (3.126)$$

где

$k_{отс.ЗП1}$ – коэффициент отстройки первой ступени ЗП, действующей на отключение; при отсутствии специальных требований рекомендуется принимать равным 1,3

Значение $k_{отс.ЗП1}$=1,3 соответствует рекомендации [127, п. 6.11.2], где первая ступень защиты от перегрузки БСК, действующая на отключение, выбирается с коэффициентом отстройки 1,3.

Выбранное значение уставки **«Iзп 1»** должно проверяться по условию допустимого действующего значения тока единичных конденсаторов. В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.6.18] защита от перегрузки конденсаторов токами высших гармоник должна отключать конденсаторную установку с выдержкой времени при действующем значении тока для единичных конденсаторов, превышающем 130 % номинального. При отсутствии в документации производителя меньшего допустимого значения тока перегрузки должно выполняться условие:

$$Iзп\ 1 \leq 1{,}3 \cdot I_{ном.БСК} \quad (3.127)$$

Если одновременно не выполняются условия отстройки от максимального рабочего тока и ограничения по допустимому току единичных конденсаторов, значение уставки **«Iзп 1»** не может быть выбрано без дополнительных технических мероприятий. В этом случае следует уточнить расчетный режим БСК, данные производителя конденсаторов, фактический гармонический состав тока либо предусмотреть мероприятия по ограничению токовой перегрузки.

Значение уставки **«Tзп 1»** задержки срабатывания первой ступени ЗП БСК на сигнализацию и значение уставки **«Tзп 1 откл»** задержки отключения следует выбирать с учетом требуемого полного времени отключения БСК действием первой ступени ЗП. В соответствии с рекомендацией СТО 56947007-29.120.70.305-2020 [127, п. 6.11.2] первая ступень защиты от перегрузки БСК токами высших гармоник, действующая на отключение, выбирается с коэффициентом отстройки $k_{отс.ЗП1}$=1,3, а время ее срабатывания принимается порядка 2,5 с. При использовании алгоритма ЗП устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** следует учитывать, что отключение выполняется после срабатывания ступени ЗП на сигнализацию, поэтому полное время отключения определяется суммой выдержек времени **«Tзп 1»** и **«Tзп 1 откл»**.

Полное время отключения БСК действием первой ступени ЗП следует определять по формуле:

$$T_{зп1.сум} = Tзп\ 1 + Tзп\ 1\ откл\ [с] \quad (3.128)$$

где

$T_{зп1.сум}$	с	полное время отключения БСК действием первой ступени ЗП
Tзп 1	с	значение уставки **«Tзп 1»** задержки срабатывания первой ступени ЗП на сигнализацию
Tзп 1 откл	с	значение уставки **«Tзп 1 откл»** задержки отключения первой ступени ЗП после срабатывания на сигнализацию

При отсутствии данных производителя значение полного времени отключения первой ступени ЗП допускается предварительно принимать равным:

$$T_{зп1.сум} = 2{,}5\ [с] \quad (3.129)$$

В этом случае значение уставки **«Tзп 1 откл»** следует определять по формуле:

$$Tзп\ 1\ откл = 2{,}5 - Tзп\ 1\ [с] \quad (3.130)$$

Если для первой ступени ЗП требуется обеспечить полное время отключения порядка 2,5 с, то указанное значение следует принимать именно как $T_{зп\ 1\ сум}$, а не как значение уставки **«Tзп 1 откл»**. При задании уставок в устройстве значения **«Tзп 1»** и **«Tзп 1 откл»** должны приниматься с учетом допустимого диапазона и шага задания уставок применяемого устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**.

Вторая ступень ЗП БСК может применяться в одном из двух вариантов:

- как сигнальная ступень контроля полного действующего фазного тока БСК;

- как ступень контроля высших гармоник фазного тока со 2-й по 13-ю гармонику, если в устройстве предусмотрен выбор указанной контролируемой величины.

Выбор варианта применения второй ступени ЗП выполняется с учетом принятой структуры защит БСК, возможностей применяемого устройства и требований производителя конденсаторной установки.

Вариант 1. Вторая ступень ЗП по полному действующему фазному току

При необходимости реализации второй ступени ЗП БСК, действующей на сигнализацию по полному действующему фазному току, в качестве контролируемой величины второй ступени ЗП следует выбирать максимальное из действующих значений фазных токов.

Значение уставки **«Iзп 2»** второй ступени ЗП БСК следует выбирать по условию отстройки от максимального рабочего значения полного действующего фазного тока:

$$Iзп\ 2 = k_{отс.ЗП2} \cdot I_{БСК.раб.макс}\ [А] \quad (3.131)$$

где

$k_{отс.ЗП2}$ – коэффициент отстройки второй ступени ЗП, действующей на сигнализацию; при отсутствии специальных требований рекомендуется принимать равным 1,1

Значение $k_{отс.ЗП2}$=1,1 соответствует рекомендации [127, п. 6.11.2], где вторая ступень защиты от перегрузки БСК, действующая на сигнализацию, выбирается с коэффициентом отстройки 1,1.

Значение уставки **«Tзп 2»** задержки срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию следует выбирать по условию отстройки от кратковременных увеличений полного действующего фазного тока, не требующих отключения БСК. При отсутствии данных производителя значение уставки **«Tзп 2»** допускается предварительно принимать из диапазона:

$$Tзп\ 2 = 4–5\ [с] \quad (3.132)$$

Указанный диапазон соответствует рекомендации [127, п. 6.11.2], где для второй ступени защиты от перегрузки БСК, действующей на сигнализацию, время срабатывания принимается порядка 4–5 с.

При использовании второй ступени ЗП только для сигнализации действие указанной ступени на отключение следует не вводить; уставка **«Tзп 2 откл»** в этом случае не используется.

При необходимости действия второй ступени ЗП на отключение следует учитывать, что отсчет выдержки времени **«Tзп 2 откл»** начинается после отсчета выдержки времени **«Tзп 2»**, т.е. после срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию. Поэтому значение уставки **«Tзп 2 откл»** не следует принимать равным требуемому полному времени отключения. Полное время отключения БСК действием второй ступени ЗП определяется суммой выдержки времени срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию **«Tзп 2»** и выдержки времени отключения **«Tзп 2 откл»**.

Полное время отключения БСК действием второй ступени ЗП следует определять по формуле:

$$T_{зп2.сум} = Tзп\ 2 + Tзп\ 2\ откл\ [с] \quad (3.133)$$

где

$T_{зп2.сум}$	с	полное время отключения БСК действием второй ступени ЗП
$Tзп\ 2$	с	значение уставки **«Tзп 2»** задержки срабатывания первой ступени ЗП на сигнализацию
$Tзп\ 2\ откл$	с	значение уставки **«Tзп 2 откл»** задержки отключения первой ступени ЗП после срабатывания на сигнализацию

Если требуется обеспечить заданное полное время отключения БСК действием второй ступени ЗП, значение уставки **«Tзп 2 откл»** следует определять по формуле:

$$Tзп\ 2\ откл = T_{зп2.сум} - Tзп\ 2\ [с] \quad (3.134)$$

При этом значение уставки **«Tзп 2»** по формуле (3.132) следует рассматривать как выдержку времени срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию, а не как полное время отключения БСК.

Если в соответствии с принятым решением вторая ступень ЗП должна действовать только на сигнализацию, действие указанной ступени на отключение следует не вводить; уставка **«Tзп 2 откл»** в этом случае не используется.

Если требуется обеспечить отключение БСК действием второй ступени ЗП, значение уставки **«Tзп 2 откл»** следует выбирать с учетом требуемого полного времени отключения, допустимой длительности токовой перегрузки БСК или конденсаторной части ФКУ по документации производителя, а также значения уставки **«Tзп 2»**, выбранного по формуле (3.132).

При этом значение уставки **«Тзп 2»** по формуле (3.132) следует рассматривать как выдержку времени срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию. При вводе действия второй ступени ЗП на отключение полное время отключения будет больше значения **«Тзп 2»** на величину выдержки времени **«Тзп 2 откл»**.

Вариант 2. Вторая ступень ЗП по высшим гармоникам фазного тока

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при необходимости дополнительного контроля гармонической составляющей перегрузки БСК в качестве контролируемой величины второй ступени ЗП допускается выбирать максимальную из сумм действующих значений высших гармоник фазных токов. Для указанных устройств указанная контролируемая величина определяется по гармоническим составляющим фазных токов со 2-й по 13-ю гармонику.

Расчетное значение контролируемой величины следует определять по формуле:

$$I_{\sum ВГ.раб.макс} = \max\left(I_{\sum ВГ.А}; I_{\sum ВГ.В}; I_{\sum ВГ.С}\right) \text{ [А]} \quad (3.135)$$

где

$I_{\sum ВГ.раб.макс}$	А	максимальное рабочее значение контролируемой величины высших гармоник фазных токов
$I_{\sum ВГ.А}$, $I_{\sum ВГ.В}$, $I_{\sum ВГ.С}$	А	суммы действующих значений высших гармоник фазных токов фаз А, В, С соответственно, определяются по формуле (3.136)

Сумму действующих значений высших гармоник фазного тока со 2-й по 13-ю гармонику следует определять по формуле:

$$I_{\sum ВГ.\varphi} = \sum_{2}^{13} I_{h.\varphi} \text{ [А]} \quad (3.136)$$

где

$I_{\sum ВГ.\varphi}$	А	сумма действующих значений высших гармоник фазного тока фазы φ
$I_{h.\varphi}$	А	действующее значение гармонической составляющей тока гармоники h фазы φ
h	–	номер гармонической составляющей
φ	–	фаза А, В или С

Значения гармонических составляющих тока следует определять расчетным путем либо по результатам измерений гармонического состава тока БСК. При использовании результатов измерений рекомендуется учитывать требования ГОСТ 30804.4.7–2013 [40] к измерению гармонических составляющих тока.

Значение уставки **«Iзп 2»** тока срабатывания защиты от перегрузки БСК токами высших гармоник следует выбирать по условию отстройки от максимального рабочего значения контролируемой величины:

$$Iзп\ 2 = k_{отс.ВГ} \cdot I_{\sum ВГ.раб.макс} \text{ [А]} \quad (3.137)$$

где

$k_{отс.ВГ}$	–	коэффициент отстройки, учитывающий погрешность расчета или измерений высших гармоник, принимаемый из диапазона 1,1–1,2
$I_{\sum ВГ.раб.макс}$		максимальное рабочее значение контролируемой величины высших гармоник фазных токов со 2-й по 13-ю гармонику, определяемое по формуле (3.135)

К уставке **«Iзп 2»**, выбранной по контролируемой величине высших гармоник, условие $Iзп\ 2 \leq 1{,}3 \cdot I_{ном.БСК}$ непосредственно не применяется, так как уставка **«Iзп 2»** задается не по полному действующему фазному току, а по сумме действующих значений высших гармоник фазного тока со 2-й по 13-ю гармонику. Выполнение требования ПУЭ [100, п. 5.6.18] по допустимому полному току единичных конденсаторов должно обеспечиваться ступенью защиты, контролирующей полный действующий фазный ток БСК.

Действие второй ступени ЗП на отключение при контроле высших гармоник следует применять только при наличии технического обоснования по результатам расчета или измерений гармонического состава тока БСК. При вводе действия второй ступени ЗП на отключение следует учитывать последовательный отсчет выдержек времени **«Тзп 2»** и **«Тзп 2 откл»**: отсчет выдержки времени **«Тзп 2 откл»** начинается после срабатывания второй ступени ЗП на сигнализацию. Поэтому значение уставки **«Тзп 2 откл»** не следует принимать равным требуемому полному времени отключения.

Окончательные значения уставок защиты от перегрузки БСК рекомендуется уточнять после ввода БСК в работу по результатам измерений полного фазного тока и гармонических составляющих тока. В [69] отмечается, что при расчете компенсирующих устройств не всегда могут быть учтены все необходимые условия, поэтому при вводе установки в эксплуатацию

должна проводиться проверка режима сети в части гармоник; при получении уточненных данных о перегрузке конденсаторов токами высших гармоник или перенапряжениях необходимо принимать соответствующие меры.

3.10.3.3 Расчет уставок ФКУ

Расчет уставок токовых защит ФКУ следует выполнять с учетом схемы подключения ФКУ, наличия питающей кабельной линии, состава фильтровых ветвей, схемы соединения конденсаторной батареи фильтра, наличия последовательных реакторов, предохранителей, датчиков температуры, а также требований документации производителя ФКУ.

Структура и конкретное выполнение защиты ФКУ зависят от схемы фильтра, конструктивного исполнения его элементов, расположения коммутационного аппарата и измерительных трансформаторов тока [63, 125]. При рассмотрении защит ФКУ целесообразно выделять защиту питающей линии ФКУ и защиты собственно силового резонансного фильтра, включая защиту от перегрузки, защиту от нарушения баланса токов параллельных ветвей конденсаторной батареи фильтра и защиты, определяемые конкретной схемой фильтра.

В настоящем разделе рассматривается расчет уставок токовой защиты питающей линии ФКУ от междуфазных КЗ, защиты от перегрузки ФКУ и небалансной защиты параллельных ветвей конденсаторной батареи фильтра. Расчет уставок других специальных защит ФКУ, в том числе защит реакторов, ошиновки, от перегрева, по напряжению и дифференциальных защит ФКУ, следует выполнять по документации производителя ФКУ и соответствующим проектным решениям.

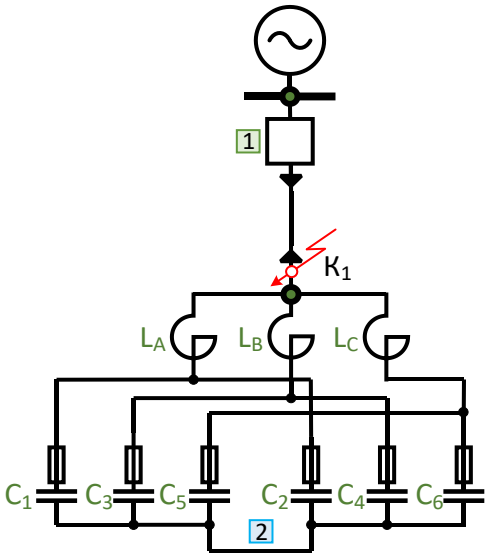


Рисунок 3.16. Схема ФКУ с токовой защитой питающей линии и небалансной защитой конденсаторной батареи фильтра. 1 — токовая защита питающей линии ФКУ; 2 — небалансная защита; K_1 — расчетная точка КЗ для проверки чувствительности токовой защиты

Для защиты питающей линии ФКУ от междуфазных КЗ следует применять первую ступень ТО без выдержки времени. Значение уставки **«Iто 1»** тока срабатывания первой ступени ТО питающей линии ФКУ следует выбирать по условию отстройки от тока включения ФКУ.

Для одиночного ФКУ значение уставки **«Iто 1»** следует определять по формуле [63, 125]:

$$I_{то\ 1} = k_{отс.ФКУ} \cdot \upsilon \cdot I_{Фυ.ном}\ [А] \qquad (3.138)$$

где

$k_{отс.ФКУ}$ — коэффициент отстройки от тока включения ФКУ, принимаемый из диапазона 1,2–1,3

υ — номер гармоники, на которую настроен ФКУ

$I_{Фυ.ном}$ А номинальный ток ФКУ υ-й гармоники

При групповом подключении нескольких ФКУ через один выключатель значение уставки **«Iто 1»** следует определять по формуле [63, 125]:

$$I_{то\ 1} = k_{отс.ФКУ} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\upsilon_i \cdot I_{Фυi.ном})^2}\ [А] \qquad (3.139)$$

где

$k_{отс.ФКУ}$	–	коэффициент отстройки от тока включения ФКУ, принимаемый из диапазона 1,2–1,3
υ_i	–	номер гармоники, на которую настроен i-й ФКУ
$I_{Фυi.ном}$	А	номинальный ток ФКУ υ-й гармоники
n	–	количество ФКУ, подключаемых через один выключатель

Проверку коэффициента чувствительности первой ступени ТО питающей линии ФКУ следует выполнять при металлическом двухфазном КЗ в конце защищаемой линии в минимальном режиме работы питающей сети [63, 125].

Коэффициент чувствительности следует определять по формуле:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.лин.мин}}{Iто\ 1} \quad (3.140)$$

где

$I^{(2)}_{кз.лин.мин}$	А	минимальный ток двухфазного КЗ в конце защищаемой питающей линии ФКУ

Применительно к рисунку 3.16 в качестве расчетной точки КЗ для проверки чувствительности ТО ФКУ следует принимать точку K_1.

Коэффициент чувствительности первой ступени ТО питающей линии ФКУ должен соответствовать следующим требованиям.

С учетом общего требования ПУЭ [100, п. 3.2.21] к чувствительности быстродействующих защит:

- около 1,5 – при металлическом КЗ в конце защищаемого участка

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 – для токовых измерительных органов защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента

Значение уставки **«Тто 1»** задержки срабатывания первой ступени ТО питающей линии ФКУ следует принимать равным:

$$Тто\ 1 = 0\ [с] \quad (3.141)$$

Расчет уставок защиты от перегрузки ФКУ следует выполнять по аналогии с расчетом уставок защиты от перегрузки БСК, приведенным в 3.10.3.2, с учетом допустимого длительного тока фильтра по документации производителя ФКУ.

При отсутствии уточненных данных производителя допустимый длительный ток фильтра допускается предварительно принимать равным 130 или 150 % номинального тока фильтра в зависимости от исполнения конденсаторной батареи фильтра [63, 125].

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** дополнительный контроль гармонической составляющей перегрузки ФКУ допускается выполнять второй ступенью ЗП с выбором контролируемой величины в виде максимальной из сумм действующих значений высших гармоник фазных токов со 2-й по 13-ю гармонику. Расчет уставки **«Iзп 2»** в этом случае следует выполнять по варианту 2 раздела 3.10.3.2.

При вводе действия ЗП ФКУ на отключение полное время отключения следует определять с учетом последовательного отсчета выдержек времени **«Тзп»** и **«Тзп откл»** либо **«Тзп 2»** и **«Тзп 2 откл»** в соответствии с указаниями раздела 3.10.3.2.

Значение тока срабатывания небалансной защиты ФКУ следует выбирать по условию надежной отстройки от тока небаланса, обусловленного допустимым отклонением емкости параллельных ветвей [63, 125]:

$$Iсз.нб = \frac{k_{отс.нб} \cdot k_{нб}}{k_в} \cdot I_{Ф.доп}\ [А] \quad (3.142)$$

где

$Iсз.нб$	А	расчетное значение тока срабатывания небалансной защиты ФКУ
$k_{отс.нб}$	–	коэффициент отстройки небалансной защиты, принимаемый равным 1,1
$k_{нб}$	–	коэффициент, учитывающий допустимый небаланс емкостей параллельных ветвей, принимаемый равным 0,05
$k_в$	–	коэффициент возврата реле или измерительного органа, реализующего небалансную защиту

$I_{Ф.доп}$ А длительно допустимый ток фильтра

Значение $I_{ф.доп}$ следует принимать по документации производителя ФКУ. При отсутствии уточненных данных допускается предварительно принимать [63, 125]:

$$I_{Ф.доп} = (1{,}3 - 1{,}5) \cdot I_{Ф.ном}\ [А] \quad (3.143)$$

где

$I_{Ф.ном}$ А номинальный ток ФКУ

Меньшее значение из указанного диапазона следует принимать для исполнения ФКУ с допустимым длительным током 130 % номинального, большее значение — для исполнения ФКУ с допустимым длительным током 150 % номинального.

Задержку срабатывания небалансной защиты ФКУ следует выбирать по условию отстройки от переходных процессов, связанных с включением ФКУ, понижением и восстановлением напряжения на его зажимах.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** отдельного алгоритма небалансной защиты ФКУ не предусмотрено. При наличии необходимых измерительных каналов и логических условий данная функция может быть реализована с использованием гибкой логики; при применении отдельного измерительного органа или реле, например **«Флокс-I»**, в устройства **«Алтей»** и **«Лютик»** может передаваться дискретный сигнал срабатывания указанной защиты.

Окончательные значения уставок небалансной защиты ФКУ следует уточнять по документации производителя ФКУ, фактической схеме соединения параллельных ветвей и результатам наладочных работ.

3.11 ЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ШИН

3.11.1 Общие сведения

Логическая защита шин (ЛЗШ) предназначена для ускоренного отключения КЗ на сборных РУ 6–35 кВ.

В РУ 6–10 кВ при большом количестве отходящих присоединений применение ДЗШ может быть экономически и технически затруднено из-за высокой стоимости микропроцессорных терминалов ДЗШ, необходимости применения ТТ с дополнительными обмотками, усложнения вторичных цепей и увеличения объема проектных и наладочных работ. В таких случаях ЛЗШ может рассматриваться как технически и экономически целесообразное решение, позволяющее ускорить отключение КЗ на шинах с использованием пусковых органов токовых защит присоединений и обмена дискретными сигналами между устройствами РЗА [60, 73].

Дополнительное преимущество ЛЗШ заключается в том, что алгоритмы ее работы реализованы в большинстве современных цифровых устройств РЗА, что упрощает внедрение данной функции при реконструкции существующих энергообъектов [60]. Вместе с тем ЛЗШ не следует рассматривать как равноценную замену ДЗШ: область ее применения должна определяться схемой РУ, составом присоединений, наличием источников подпитки КЗ и требованиями к быстродействию защиты шин.

Принцип действия ЛЗШ основан на логической селективности. При КЗ на шинах происходит пуск токовой защиты питающего присоединения, при этом защиты отходящих присоединений не формируют блокирующие сигналы, так как повреждение находится вне зоны их действия. При внешнем КЗ на отходящем присоединении происходит пуск защиты указанного присоединения, которая формирует блокирующий сигнал и запрещает ускоренное действие ЛЗШ вводного или секционного выключателя.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** отдельная уставка тока срабатывания ЛЗШ не задается; пуск алгоритма ЛЗШ и формирование блокирующих сигналов выполняются по факту срабатывания соответствующих ступеней МТЗ, используемых в алгоритме ЛЗШ. В устройстве **«Лютик»** для передачи сигналов блокировки между устройствами используется цифровая шина **«Нерв»**.

Зона действия ЛЗШ определяется составом присоединений, участвующих в логической схеме, местами установки ТТ и принятой схемой передачи блокирующих сигналов. Как правило, ЛЗШ обеспечивает защиту сборных шин и участка первичной схемы между сборными шинами и ТТ питающих присоединений. Повреждения в отсеках ТТ, отсеках кабельных разделок и на отходящих присоединениях, не входящих в зону действия ЛЗШ, должны отключаться токовыми защитами соответствующих присоединений и, при наличии, ЗДЗ.

Ненаправленная ЛЗШ наиболее применима для РУ с радиальной структурой питания, в которых отсутствуют генерирующие присоединения, мощные синхронные электродвигатели, параллельные линии и другие элементы, способные подпитывать КЗ. При наличии на секции шин генерирующих присоединений, в том числе распределенных источников энергии, мощных синхронных электродвигателей, параллельных связей или иных элементов, способных подпитывать КЗ, применение ненаправленной ЛЗШ в качестве основной защиты шин, как правило, не рекомендуется из-за возможности ложного действия при внешних КЗ и качаниях [10, 73]. В таких случаях следует рассматривать применение ДЗШ либо направленной реализации ЛЗШ; возможность применения направленной ЛЗШ должна быть подтверждена проверкой чувствительности в режимах параллельной работы с энергосистемой и автономной («островной») работы, а также проверкой отсутствия ложного действия при качаниях [10]. При наличии повышенных требований к быстродействию отключения КЗ на шинах ЛЗШ следует рассматривать совместно с ЗДЗ, расчет уставок которой приведен в 3.12.

Алгоритм ЛЗШ устройство **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** обеспечивает возможность использования защиты на РУ различной топологии. В том числе, с двумя и более вводными и секционными выключателями на секцию шин, а также генерирующими присоединениями и присоединениями мощных синхронных электрических двигателей. Алгоритм **«ЛЗШ»**, реализованный в устройстве **«Лютик»**, предназначен для более простых схем — РУ с одним вводным выключателем, где отсутствуют дополнительные генерирующие источники или элементы, способные подпитывать повреждение.

ЛЗШ реализуются в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Логическая защита»**, основные параметры которого приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16. Алгоритм «Логическая защита шин»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Пуск от МТЗ	МТЗ	МТЗ 1, МТЗ 2	МТЗ 1, МТЗ 2	МТЗ 1, МТЗ 2	МТЗ 1, МТЗ 2
Пуск от ДЗТ	–	–	–	+	+
Контроль исправности	+	+	+	+	+
Контроль направленности	–	+ (через алгоритм МТЗ)	+ (через алгоритм МТЗ)	+ (через алгоритм МТЗ)	+ (через алгоритм МТЗ)
Последовательная ЛЗШ	–	+	+	+	+
Параллельная ЛЗШ	+	+	+	+	+
Обмен сигналами	Цифровая шина Нерв	Контрольный кабель	Контрольный кабель	Контрольный кабель	Контрольный кабель

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.17.

Таблица 3.17. Уставки алгоритма «Логическая защита шин» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Логическая защита шин (ЛЗШ)							
Тлзш	с	0,1	0,1	1	0,01	-	Задержка на срабатывание ЛЗШ

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.18.

Таблица 3.18. Уставки алгоритма «Логическая защита шин» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Логическая защита шин (ЛЗШ)							
Тлзш	с	0,1	0,1	1	0,01	-	Задержка на срабатывание ЛЗШ
Тнеиспр ЛЗШ 1	с	180	1	180	0,01	-	Задержка на выявление неисправности ЛЗШ 1
Тнеиспр ЛЗШ 2	с	180	1	180	0,01	-	Задержка на выявление неисправности ЛЗШ 2

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.19.

Таблица 3.19. Уставки алгоритма «Логическая защита шин» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Логическая защита шин (ЛЗШ)							
Тлзш	с	0,1	0	1	0,01	-	Задержка на срабатывание ЛЗШ
Тнеиспр лзш	с	180	1	180	0,01	-	Задержка срабатывания неисправности ЛЗШ

3.11.2 Расчет уставок ЛЗШ

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** отдельная уставка тока срабатывания ЛЗШ не задается. Пуск алгоритма ЛЗШ и формирование блокирующих сигналов выполняются по факту срабатывания соответствующих ступеней МТЗ, используемых в алгоритме ЛЗШ. В связи с этим расчет токовых уставок ЛЗШ отдельно не выполняется. Значения токов срабатывания ступеней МТЗ, используемых для пуска ЛЗШ и формирования блокирующих сигналов, следует выбирать в соответствии с требованиями разделов **3.8**–**3.10**.

Проверку чувствительности по току следует выполнять для соответствующих ступеней МТЗ, участвующих в алгоритме ЛЗШ, отдельный коэффициент чувствительности алгоритма ЛЗШ не определяется.

Значение уставки **«Тлзш»** задержки срабатывания ЛЗШ рекомендуется принимать в диапазоне:

$$Тлзш = 0{,}1–0{,}15\ [с] \quad (3.144)$$

Указанный диапазон учитывает собственное время срабатывания устройства РЗА, формирующего блокирующий сигнал ЛЗШ, время распознавания блокирующего сигнала дискретным входом устройства РЗА вводного или секционного выключателя, возможное время срабатывания промежуточных реле в цепях блокировки ЛЗШ при их наличии, а также необходимый запас.

Начальное значение уставки **«Тлзш»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** составляет:

$$Тлзш = 0{,}1\ [с] \quad (3.145)$$

Применение указанного значения допускается при необходимости сокращения времени действия ЛЗШ и должно быть обосновано принятой схемой организации цепей ЛЗШ, отсутствием промежуточных реле либо подтвержденным быстродействием цепей ЛЗШ по результатам наладочной проверки.

Для объектов предприятий нефтяного сектора, трубопроводного транспорта и иных производств с распределенной линейной инфраструктурой значение уставки **«Тлзш»** следует выбирать с учетом требований проектной и эксплуатационной документации объекта.

Следует отметить, что при оценке допустимого быстродействия отключения КЗ на шинах время отключения выключателя учитывается отдельно и не входит в значение уставки **«Тлзш»**.

Значение уставки **«Тнеиспр ЛЗШ»** задает интервал времени, по истечении которого при сохранении признака неисправности фиксируется неисправность цепей ЛЗШ или обмена сигналами ЛЗШ. В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставка контроля неисправности задается раздельно для ЛЗШ 1 и ЛЗШ 2 и обозначается как **«Тнеиспр ЛЗШ 1»** и **«Тнеиспр ЛЗШ 2»**.

При отсутствии специальных требований эксплуатации значение указанной уставки рекомендуется принимать равным значению по умолчанию:

$$Тнеиспр\ ЛЗШ = 180\ [с] \quad (3.146)$$

Нормативно установленная методика выбора указанной уставки не предусмотрена; ее значение определяется требованиями эксплуатации конкретного объекта и принятой схемой организации цепей ЛЗШ. При сохранении признака неисправности в течение заданного интервала времени выполняется блокировка действия ЛЗШ с целью исключения ее ошибочного действия.

3.12 РАСЧЕТ УСТАВОК ЗАЩИТЫ ОТ ДУГОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ

3.12.1 Общие сведения

В соответствии с требованиями [109, п. 9.3.4] для всех шкафов КРУ (КРУН) 6–10 кВ предусматривается установка дуговой защиты, обеспечивающей быстрое обнаружение и отключение внутренних коротких замыканий с открытой электрической дугой. Согласно ГОСТ 14693–90 [37, п. 3.2], конструкцией шкафов КРУ должна предусматриваться возможность применения средств защиты, направленных на ограничение воздействия дуги и предотвращение ее распространения, включая автоматическое отключение по сигналу дуговой защиты. Согласно ГОСТ Р 55190–2022 [48, п. 5.6.2] шкафы КРУ, как правило, должны быть оборудованы клапанами сброса давления в сочетании с датчиками дуговой защиты и схемами, имеющими блокировку от ложных отключений КРУ, например, по наличию тока КЗ или падения напряжения в КРУ.

Ранее требование об установке быстродействующей дуговой защиты в КРУ 6–10 кВ было прямо приведено в ПТЭ 2003 года [103, п. 5.4.19]. Несмотря на отсутствие данного пункта в действующей редакции ПТЭ [104], необходимость применения ЗДЗ в КРУ подтверждается требованиями действующих стандартов на конструкцию КРУ и практикой проектирования РУ 6–35 кВ.

Защита от дуговых замыканий предназначена для защиты ячеек КРУ, КСО, КРУН и др. от КЗ, сопровождающихся возникновением открытой электрической дуги. Защита срабатывает при детектировании вспышки света, сопровождаемой увеличением тока (снижением напряжения). Особенности обоснования применения дуговой защиты в РУ 0,4 кВ приведены в 3.12.3.

При применении ЗДЗ для защиты сборных шин РУ ее следует рассматривать совместно с ЛЗШ, расчет уставок которой приведен в 3.11. При этом ЛЗШ обеспечивает селективность отключения КЗ в зоне действия логической схемы защиты шин, а ЗДЗ — быстродействующее отключение КЗ, сопровождающихся возникновением электрической дуги.

В устройствах, в которых алгоритмом ЗДЗ предусмотрен контроль мгновенных значений фазных токов, пуск по току выполняется с повышенным быстродействием по сравнению с контролем действующих значений. В устройстве **«Лютик»** пуск по току выполняется по действующим значениям фазных токов; при необходимости может применяться внешний сигнал пуска по току от питающих присоединений по цифровой шине **«Нерв»**.

ЗДЗ реализуются в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Защита от дуговых замыканий»**, основные параметры которого приведены в таблице 3.20.

Таблица 3.20. Алгоритм «Защита от дуговых замыканий»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Встроенные оптические датчики	–	Петлевой, точечный	Петлевой, точечный	–	–
Самодиагностика встроенных датчиков	–	+	+	+	+
Внутренний пуск по току	+	+	+	+	+
Внешний пуск по току	Шина Нерв	По дискретному входу	По дискретному входу	По дискретному входу	По дискретному входу
Пуск по току на основе действующих значений	+	+	–	+	+
Пуск по току на основе контроля мгновенных значений	–	+	+	+	+
Пуск по току нулевой последовательности на основе контроля мгновенных значений	–	+	+	+	+
Пуск по напряжению нулевой последовательности на основе контроля мгновенных значений	–	+	+	–	–
Совместная работа с регистраторами дуговых замыканий	+	+	+	+	+
Совместная работа с централизованными системами защиты от дуговых замыканий	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.21.

Таблица 3.21. Уставки алгоритма «Защита от дуговых замыканий» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от дуговых замыканий (ЗДЗ)							
Iздз	А	5	0,1	100	0,01	-	Фазный ток пуска ЗДЗ
3I0здз	А	5	0,1	15	0,01	-	Ток нулевой последовательности пуска ЗДЗ
Тпуск озз макс	с	1	0,1	10	0,01	-	Ограничение длительности пуска защиты при ОЗЗ

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.22.

Таблица 3.22. Уставки алгоритма «Защита от дуговых замыканий» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Датчики защиты от дуговых замыканий							
Lтек 1	м	1	1	30	1	-	Длина датчика Текила №1
Lтек 2	м	1	1	30	1	-	Длина датчика Текила №2
Lтек 3	м	1	1	30	1	-	Длина датчика Текила №3
Защита от дуговых замыканий (ЗДЗ)							
Iздз	А	5	0,1	100	0,01	1/0,95*	Фазный ток пуска ЗДЗ
3I0здз	А	5	0,1	15	0,01	1/0,95*	Ток 3I0 пуска ЗДЗ
3U0здз	В	50	0,01	150	0,01	1/0,95*	Напряжение 3U0 пуска ЗДЗ
Тпуск озз макс	с	1	0,01	5	0,01	-	Ограничение длительности пуска защиты при ОЗЗ
Твозвр здз	с	0,1	0,1	0,3	0,01	-	Задержка возврата ЗДЗ

*– значения уставок для устройства **«Лютик-Плюс»**

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.23.

Таблица 3.23. Уставки алгоритма «Защита от дуговых замыканий» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от дуговых замыканий (ЗДЗ)							
Iздз	А	5	0,25	125	0,01	0,9	Фазный ток пуска ЗДЗ
3I0здз	А	1	0,02	8	0,001	0,95	Ток нулевой последовательности пуска ЗДЗ

Расчет значений уставок по току и напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ, ТТНП и ТН.

Уставки **«Iздз»**, **«3I0здз»** и **«3U0здз»** не задают самостоятельную выдержанную защиту, а используются как дополнительные условия пуска ЗДЗ, подтверждающие наличие электрического повреждения при срабатывании оптического датчика, регистратора дуговых замыканий или централизованной системы ЗДЗ. Это позволяет повысить надежность действия защиты и снизить вероятность ложного отключения при случайной засветке датчика или ложном действии внешнего регистратора.

3.12.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iздз»** фазного тока пуска ЗДЗ следует выбирать по условию отстройки от максимального рабочего тока защищаемого присоединения:

$$I_{здз} = \frac{k_{отс.здз}}{k_{в}} \cdot I_{раб.макс} \ [А] \qquad (3.147)$$

где

$k_{отс.здз}$ – коэффициент отстройки пускового органа ЗДЗ по фазному току от максимального рабочего тока, принимаемый равным 1,15

$k_в$ – коэффициент возврата уставки **«Iздз»**, принимаемый по таблицам 3.21, 3.22, 3.23 для соответствующих устройств; при отсутствии в устройстве отдельно задаваемого коэффициента возврата допускается принимать равным 1

$I_{раб.макс}$ А максимальный рабочий ток защищаемого присоединения

Для наиболее часто применяемых схем, в которых ЗДЗ выполняется на питающих присоединениях РУ, значение $I_{раб.макс}$ следует принимать в соответствии с расчетными условиями выбора уставок МТЗ СВ и МТЗ ВВ, приведенными соответственно в 3.10.1.2 и 3.10.1.3. При этом для СВ следует учитывать максимальный рабочий ток секции, питаемой через СВ, а для ВВ — максимальный рабочий ток своей секции либо суммарный рабочий ток секций при питании через один ВВ, если такой режим предусмотрен расчетной схемой.

Поскольку уставка **«Iздз»** используется как разрешающий пуск по току для ЗДЗ при основном световом признаке дугового замыкания, и сама по себе не формирует команду на отключение выключателя без сигнала дугового замыкания, ее значение следует выбирать по условию отстройки от максимального рабочего тока защищаемого присоединения. Такой подход позволяет повысить чувствительность ЗДЗ по сравнению с вариантом, при котором токовый контроль ЗДЗ принимается равным уставке МТЗ соответствующего присоединения.

При этом в качестве упрощенного варианта значение уставки **«Iздз»** допускается принимать равным значению уставки **«Iмтз 1»** соответствующего присоединения:

$$Iздз = Iмтз\ 1\ [А] \qquad (3.148)$$

где

$Iмтз\ 1$ А значение уставки первой ступени МТЗ соответствующего присоединения, выбранное по условиям 3.8, 3.10.1.2 или 3.10.1.3 и введенное в работу в нормальном режиме

При выборе уставки **«Iздз»** не следует учитывать уставки грубых ступеней, ступеней ускорения или специальных режимных ступеней, вводимых только на ограниченное время, если они не используются как постоянное условие пуска ЗДЗ. При этом если первая ступень МТЗ не используется или не введена в работу в нормальном режиме, значение уставки **«Iздз»** допускается принимать равным минимальной из уставок фазных токовых защит от междуфазных КЗ, действующих на отключение выключателя и введенных в работу в нормальном режиме работы присоединения.

Проверку чувствительности пускового органа ЗДЗ по фазному току следует выполнять для минимального тока двухфазного КЗ на сборных шинах РУ. Применительно к рисунку 3.12, б) проверку чувствительности следует выполнять в точках $К_1$ и $К_2$:

$$k_ч = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.ш}}{Iздз} \qquad (3.149)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин.ш}$ А минимальный ток двухфазного КЗ на сборных шинах РУ

Коэффициент чувствительности пускового органа ЗДЗ по фазному току должен соответствовать следующим требованиям.

С учетом общего требования ПУЭ [100, п. 3.2.21] к чувствительности быстродействующих защит:

- около 1,5 — при КЗ на сборных шинах РУ.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 — при двухфазном КЗ на сборных шинах в нормальной схеме.

Если указанные условия не выполняются, следует рассмотреть возможность снижения уставки **«Iздз»** в пределах допустимой отстройки от нагрузки либо применение иных условий пуска ЗДЗ в соответствии с РЭ на устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и принятой схемой дуговой защиты.

Пуск ЗДЗ по току или напряжению нулевой последовательности может быть целесообразен для повышения надежности действия ЗДЗ при перемежающемся горении дуги, при недостаточной информативности фазного токового пуска, а также при построении комплексной защиты от дуговых замыканий и замыканий на землю [90, 91].

Уставка **«3I0здз»** используется как разрешающий пуск ЗДЗ по току нулевой последовательности, и сама по себе не формирует команду на отключение выключателя. Применение пуска ЗДЗ по току нулевой последовательности целесообразно при дуговых замыканиях на землю, в том числе в сетях с заземленной через низкоомное сопротивление нейтралью, а также в иных случаях, когда ток $3I_0$ является достоверным дополнительным электрическим признаком повреждения. В сетях с изолированной или компенсированной нейтралью возможность применения пуска по **«3I0здз»** должна подтверждаться расчетом минимального значения $3I_0$ при замыкании на землю на сборных шинах РУ; при недостаточной чувствительности следует рассматривать применение пуска по **«3U0здз»** или внешнего пуска по току.

Значение уставки **«3I0здз»** следует выбирать по условию отстройки от максимального тока небаланса в цепи $3I_0$, соответствующего максимальному рабочему току присоединения:

$$3I0_{здз} = k_{отс} \cdot k_{нб} \cdot I_{раб.макс} \ [А] \qquad (3.150)$$

где

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,25

$k_{нб}$ — коэффициент небаланса, принимаемый равным 0,05

$I_{раб.макс}$ А максимальный рабочий ток защищаемого присоединения

Окончательное значение уставки **«3I0здз»** следует принимать равным ближайшему большему значению, доступному для задания в устройстве.

Проверку чувствительности пускового органа ЗДЗ по току нулевой последовательности следует выполнять для минимального значения $3I_0$ при замыкании на землю на сборных шинах РУ. Применительно к рисунку 3.12, б) проверку чувствительности следует выполнять в точках K_1 и K_2:

$$k_ч = \frac{3I0_{мин.ш}}{3I0_{здз}} \qquad (3.151)$$

где

$3I0_{мин.ш}$ А минимальное значение утроенного тока нулевой последовательности при замыкании на землю на сборных шинах РУ

При использовании пускового органа ЗДЗ по току нулевой последовательности в качестве самостоятельного или обязательного подтверждающего условия действия ЗДЗ при дуговом замыкании на землю коэффициент чувствительности должен соответствовать следующим требованиям.

С учетом общего требования ПУЭ [**100**, п. 3.2.21] к чувствительности защит от замыканий на землю:

- около 1,5 — при замыкании на землю на сборных шинах РУ.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 14]:

- 1,5 — для измерительного органа тока нулевой последовательности защиты, предназначенной для действия в пределах защищаемого элемента, при замыкании на землю на сборных шинах в нормальной схеме.

Если пуск по току нулевой последовательности **«3I0здз»** применяется только как дополнительный признак к пуску по фазному току **«Iздз»** и не является обязательным условием действия ЗДЗ, проверку коэффициента чувствительности пускового органа по **«3I0здз»** допускается не выполнять. В этом случае достаточность электрического подтверждения действия ЗДЗ должна быть обеспечена проверкой чувствительности пускового органа по фазному току **«Iздз»** и принятой логикой работы ЗДЗ.

Значение уставки **«3U0здз»** следует выбирать по условию надежного выявления замыкания на землю, сопровождающегося появлением напряжения нулевой последовательности, с отстройкой от напряжения небаланса и кратковременных коммутационных режимов. При отсутствии специальных требований значение уставки **«3U0здз»** допускается принимать равным значению уставки **«3U0 макс 1»**, выбранной в **2.2** для фиксации наличия напряжения нулевой последовательности:

$$3U0_{здз} = 3U0_{макс\ 1} \ [В] \qquad (3.152)$$

Если уставка **«3U0 макс 1»** дополнительно используется в алгоритме защиты от феррорезонанса или имеет значение, выбранное по специальным условиям работы **«КЭП»**, возможность ее применения в качестве уставки **«3U0здз»** должна быть проверена отдельно. В этом случае значение **«3U0здз»** следует выбирать с учетом фактической схемы ТН, режима заземления нейтрали сети и требований к надежному пуску ЗДЗ при дуговом замыкании на землю.

Если пуск по напряжению нулевой последовательности **«3U0здз»** применяется только как дополнительный признак к пуску по фазному току **«Iздз»** и не является обязательным условием действия ЗДЗ, отдельную проверку достаточности пуска по **«3U0здз»** допускается не выполнять. При использовании **«3U0здз»** в качестве самостоятельного или обязательного подтверждающего условия действия ЗДЗ значение уставки должно обеспечивать надежный пуск при замыкании на землю на сборных шинах РУ с учетом схемы ТН и режима заземления нейтрали сети.

Уставка **«Тпуск озз макс»** не является выдержкой времени действия ЗДЗ на отключение. Указанная уставка задает максимальную длительность сохранения пуска ЗДЗ, сформированного по току или напряжению нулевой последовательности при ОЗЗ.

Значение уставки **«Тпуск озз макс»** следует выбирать с учетом необходимости исключить длительное сохранение разрешающего пуска ЗДЗ при устойчивом однофазном замыкании на землю в сети. При отсутствии специальных требований эксплуатации значение уставки **«Тпуск озз макс»** рекомендуется принимать равным:

$$Т\text{пуск озз макс} = 1 \text{ [с]} \quad (3.153)$$

Уставка **«Твозвр здз»** не является выдержкой времени действия ЗДЗ на отключение и задает задержку возврата соответствующих сигналов алгоритма ЗДЗ.

Уставка **«Твозвр здз»** задержки возврата ЗДЗ предназначена для:

- удержания сигнала срабатывания ЗДЗ после исчезновения светового импульса от датчика или регистратора дуговых замыканий. При формировании общего сигнала ЗДЗ сборных шин, например «ЗДЗ СШ», действующего на отключение вышестоящих выключателей, уставка обеспечивает сохранение сигнала в течение времени, достаточного для его приема схемой защиты, обработки логики и подачи команды на отключение соответствующего выключателя;
- удержания разрешающего сигнала пуска ЗДЗ при применении ЗДЗ с пуском по току и/или напряжению, в том числе при кратковременном исчезновении признаков дугового замыкания вследствие перемежающегося горения дуги, а также при использовании внешнего пуска по току, когда световой сигнал и подтверждающий электрический сигнал могут поступать с временным рассогласованием.

При отсутствии специальных требований эксплуатации значение уставки **«Твозвр здз»** рекомендуется принимать равным:

$$Т\text{возвр здз} = 0{,}1 \text{ [с]} \quad (3.154)$$

При использовании в схеме дуговой защиты промежуточных реле для формирования сигнала пуска по току и/или напряжению, а также в качестве приемных реле, подающих сигнал на дискретный вход устройства РЗА, рекомендуется применять увеличенное значение уставки для обеспечения надежного приема и удержания соответствующих сигналов схемой защиты:

$$Т\text{возвр здз} = 0{,}3 \text{ [с]} \quad (3.155)$$

Значения уставок **«Lтек 1»**, **«Lтек 2»**, **«Lтек 3»** следует задавать при применении петлевых волоконно-оптических датчиков типа **«Текила»**. Указанные уставки определяют рабочую длину соответствующего датчика и используются устройством при обработке сигнала датчика, поскольку порог срабатывания датчика **«Текила»** зависит от его длины.

При выборе уставок **«Lтек 1»**, **«Lтек 2»**, **«Lтек 3»** для защиты сборных шин, шинопроводов, токопроводов и иных протяженных элементов значение уставки **«Lтек i»** следует определять по длине трассы прокладки светочувствительной части датчика в пределах защищаемой зоны:

$$L\text{тек i} = L_{\text{защ.элем.i}} + L_{\text{монт.i}} + L_{\text{зап.i}} \text{ [м]} \quad (3.156)$$

где

$L_{\text{защ.элем}}$	м	длина защищаемого элемента по трассе прокладки светочувствительной части датчика
$L_{\text{монт}}$	м	дополнительная длина, необходимая для обходов конструктивных элементов, поворотов и переходов между отсеками или участками защищаемого элемента
$L_{\text{зап}}$	м	минимально необходимый монтажный запас светочувствительной части датчика в пределах защищаемой зоны
i	–	номер петлевого датчика Текила, принимаемый равным 1, 2 или 3

Окончательное значение уставки **«Lтек i»** следует принимать равным ближайшему большему значению, доступному для задания в устройстве, с учетом диапазона и дискретности задания по РЭ.

Для сборных шин РУ в качестве $L_{защ.элем.i}$ следует принимать длину защищаемой секции шин по трассе прокладки датчика. Для шинопроводов и токопроводов в качестве $L_{защ.элем.i}$ следует принимать длину контролируемого участка шинопровода или токопровода. При этом не следует суммировать длины отдельных фаз защищаемого элемента, если светочувствительная часть датчика прокладывается общей трассой, обеспечивающей контроль зоны возможного возникновения дугового замыкания.

Оптически изолированные участки датчика, предназначенные для прокладки в релейном отсеке, при выборе уставок **«Lтек 1»**, **«Lтек 2»**, **«Lтек 3»** не учитываются.

3.12.3 Обоснование применения дуговой защиты в РУ 0,4 кВ

3.12.3.1 Область применения и назначение расчета

Настоящий подраздел применяется при необходимости обоснования применения дуговой защиты в РУ 0,4 кВ, в том числе в низковольтных комплектных устройствах, главных распределительных щитах, распределительных щитах 0,4 кВ и на стороне НН КТП 6(10)/0,4 кВ.

Опасность дуги обусловлена не только тепловым воздействием на проводники и изоляцию, но и быстрым нагревом воздуха и продуктов испарения металла, что приводит к росту давления и механическим разрушениям [57, 187].

Экспериментальные данные и практические испытания внутренних дуг в оболочках распределительных устройств показывают, что критические последствия могут наступать за десятки миллисекунд, тогда как типовое время отключения вводных автоматов с селективными задержками часто составляет сотни миллисекунд [57, 193].

3.12.3.2 Оценка температуры плазмы дуги (инженерная оценка)

Температура плазмы дуги в электроустановках обычно оценивается в диапазоне 6000–20 000 °C. Для инженерной оценки можно показать порядок величины энергии через мощность дуги и характерные параметры этого явления [102]. Мощность дуги определяется по формуле:

$$P_д = U_д \cdot I_{кз}\ [Вт] \qquad (3.157)$$

где

$P_д$	Вт	мощность дуги
$U_д$	В	напряжение дуги
$I_{кз}$	А	ток дуги при КЗ

Для РУ 0,4 кВ часто принимают $U_д \approx 250–350$ В [187]. В настоящей Методике для инженерной оценки принимается $U_д = 300$ В [102].

При токе Iкз = 30 кА мощность дуги по формуле (3.159) составляет около 9 МВт. При выполнении расчетов исходя из закона Стефана — Больцмана и с учетом излучательной способности плазмы дуги при такой высокой мощности, выделяемой в небольшом объеме, плотность теплового потока может достигать 100–1000 МВт/м^2:

$$q = \sigma \cdot T^4 \qquad (3.158)$$

где

q	Вт/м^2	мощность дуги
σ	Вт/(м^2·Т^4)	постоянная Стефана — Больцмана
T	К	температура

При плотности теплового потока 100–1000 МВт/м^2 температура[1] плазмы составляет порядка 10 000–15 000 °C, что согласуется с экспериментальными данными по дуговым разрядам [187, 190].

[1] Для расчета последствий дугового замыкания в электротехническом шкафу определяющим является не значение температуры плазмы как таковое, а скорость преобразования энергии дуги в рост температуры и давления воздуха в отсеках РУ 0,4 кВ [102]

3.12.3.3 Расчет токов КЗ на шинах 0,4 кВ

Для первичного обоснования дуговой защиты достаточно оценить ожидаемый ток КЗ на шинах 0,4 кВ от питающего силового трансформатора. Для трехфазного КЗ на стороне НН трансформатора используют выражение [11]:

$$I^{(3)}_{кз.0,4} = \frac{S_{тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{нн} \cdot u_k} [А] \quad (3.159)$$

где

$I^{(3)}_{кз.0,4}$	А	ток трехфазного КЗ на шинах 0,4 кВ
$S_{тр}$	ВА	номинальная мощность силового трансформатора
u_k	о.е.	напряжение короткого замыкания трансформатора
$U_{нн}$	В	линейное напряжение на стороне НН трансформатора; принимается равным 400 В

Для распределительных трансформаторов u_k обычно находится в диапазоне 4–6 % от номинального напряжения, что соответствует данным производителей и справочным материалам по расчету КЗ [11]. В расчетах далее принимается u_k=0,05.

Анализ данных, приведенных в таблице 3.24, показывает, что уже при $S_{тр}$≥630 кВА токи КЗ на шинах 0,4 кВ переходят в диапазон десятков килоампер, а значит, энергия дуги при задержках отключения порядка 0,1–0,3 с становится разрушительной [57].

Таблица 3.24. Расчетные токи КЗ на шинах 0,4 кВ при u_k=0,05

МОЩНОСТЬ ТРАНСФОРМАТОРА, КВА	ТОК КЗ, КА
250	7
400	11
630	18
1000	29
1600	46
2500	72

3.12.3.4 Энергия дуги и распределение энергии в электротехническом шкафу

Энергия, выделяемая дугой за время t, определяется как произведение мощности дуги на время. Для практической оценки вводится коэффициент η, отражающий долю энергии, идущую на нагрев воздуха в отсеке. Тогда [187]:

$$Q = \eta \cdot U_д \cdot I_{кз} \cdot t \quad (3.160)$$

где

Q	Дж	тепловая энергия, переданная воздуху
η	–	коэффициент тепловыделения в воздух (в предлагаемой Методике принимается η = 0,35)
$U_д$	В	напряжение дуги, принимаемое по 3.12.3.2
$I_{кз}$	А	ток дуги при КЗ
t	с	длительность дуги

Даже если часть энергии, выделяемой дугой, уходит на нагрев и испарение металла, а также на излучение, с точки зрения безопасности достаточно оценивать «опасную» долю, нагревающую воздух. Именно эта доля энергии непосредственно влияет на рост температуры и давления в электротехническом шкафу и может привести к разлету дверей или панелей и травмированию персонала [57, 193].

3.12.3.5 Аналитический расчет температуры воздуха в отсеке

Рост температуры воздуха в отсеке электротехнического шкафа определяется на основании закона сохранения энергии [102]:

$$T(t) = T_0 + \frac{Q(t)}{\rho \cdot V \cdot C_в} \quad (3.161)$$

где

$T(t)$	°C	температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа в момент времени t
T_0	°C	начальная температура воздуха в отсеке, принимаемая равной 20 °C
$Q(t)$	Дж	тепловая энергия, переданная воздуху за время существования дуги t, определяемая по формуле (3.160)

ρ	кг/м^3	плотность воздуха, принимаемая равной 1,2 кг/м^3
V	м^3	длительность дуги
$C_в$	Дж/(кг·К)	теплоемкость воздуха, принимаемая равной 1000 Дж/(кг·К)

3.12.3.6 Аналитический расчет давления и барический коэффициент

Для оценки давления используется уравнение состояния идеального газа. При постоянном объеме отношение P / T приблизительно постоянно. При расчете давления следует использовать абсолютные температуры, К.

Давление в отсеке электротехнического шкафа следует определять по формуле:

$$P(t)=k_b \cdot P_0 \cdot \frac{T_К(t)}{T_{К.0}} \quad (3.162)$$

где

$P(t)$	атм	абсолютное давление в отсеке электротехнического шкафа в момент времени t
k_b	–	барический коэффициент, учитывающий наличие клапанов сброса давления
$T_К(t)$	К	абсолютная температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа в момент времени t
$T_{К.0}$	К	начальная абсолютная температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа

Абсолютную температуру воздуха в отсеке следует определять по формуле:

$$T_К(t)=T(t) + 273{,}15\ [°C] \quad (3.163)$$

где

$T(t)$	°С	температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа в момент времени t, определяемая по формуле (3.161)

Начальная абсолютная температура воздуха в отсеке определяется по формуле:

$$T_{К.0}=T_0 + 273{,}15\ [°C] \quad (3.164)$$

где

$T(t)$	°С	начальная температура воздуха в отсеке, принимаемая по **3.12.3.5**

Барический коэффициент вводится потому, что часть электротехнических шкафов оснащается клапанами или мембранами сброса давления. Однако их эффективность ограничена инерцией срабатывания (время открытия – десятки миллисекунд), а также тем, что основная часть энергии может быть передана воздуху до полного открытия клапанов; кроме того, направление плазменной струи не всегда совпадает с зоной расположения клапанов [**57**, **102**].

Для инженерной оценки следует принимать $k_б$=1,0 — для отсеков без клапанов сброса давления; $k_б$=0,75 — для отсеков с клапанами сброса давления.

Принятое значение $k_б$=0,75 означает, что наличие клапанов сброса давления учитывается снижением расчетного давления не более чем на 25 %. Такой подход не предполагает идеальную работу клапанов и учитывает задержку их срабатывания.

3.12.3.7 Критерии безопасности и требуемое быстродействие ликвидации дуги

В Методике используются два простых и практичных критерия безопасности [**102**]:

- температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа не должна превышать 120 °С;
- абсолютное давление в отсеке электротехнического шкафа не должно превышать 2 атм, то есть избыточное давление не должно превышать 1 атм.

Критерий давления соответствует уровню, при котором возможны разрушение оболочки электротехнического шкафа и выброс продуктов дуги [**57**, **193**]:

$$T_б=120\ [°C]; \quad P_б=2\ [атм\ (абс)] \quad (3.165)$$

где

$T(t)$	°С	безопасная температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа
$P_б$	атм(абс)	безопасное абсолютное давление в отсеке электротехнического шкафа

С учетом критерия безопасности по температуре $T(t)=T_б$ допустимое время существования дуги по температуре следует определять по формуле:

$$t_Т=\frac{\rho \cdot V \cdot C_в \cdot (T_б - T_0)}{\eta \cdot U_д \cdot I_{кз}} \text{ [с]} \quad (3.166)$$

где

$t_Т$	с	допустимое время существования дуги по температуре
ρ	кг/м^3	плотность воздуха, принимаемая по **3.12.3.5**
V	м^3	объем защищаемого отсека электротехнического шкафа
$C_в$	Дж/(кг·К)	удельная теплоемкость воздуха, принимаемая по **3.12.3.5**
$T_б$	°С	безопасная температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа
T_0	°С	начальная температура воздуха в отсеке, принимаемая по **3.12.3.5**
η	—	коэффициент тепловыделения в воздух, принимаемый по **3.12.3.4**
$U_д$	В	напряжение дуги, принимаемое по **3.12.3.2**
$I_{кз}$	А	ток дуги при КЗ

Из критерия безопасности по давлению $P(t)=P_б$ допустимое время существования дуги по давлению следует определять по формуле:

$$t_Р=\frac{\rho \cdot V \cdot C_в \cdot T_{К.0}}{\eta \cdot U_д \cdot I_{кз}} \cdot \left(\frac{P_б}{k_b \cdot P_0} - 1\right) \text{ [с]} \quad (3.167)$$

где

$t_Р$	с	допустимое время существования дуги по давлению
$T_{К.0}$	К	начальная абсолютная температура воздуха в отсеке электротехнического шкафа, определяемая по формуле (3.164)
P_0	атм(абс)	начальное абсолютное давление воздуха в отсеке, принимаемое равным 1 атм
$C_в$	Дж/(кг·К)	барический коэффициент, принимаемый по 3.12.3.6

остальные величины — те же, что в формуле (3.166)

Требуемое время ликвидации дугового замыкания, соответствующее допустимому времени существования дуги, следует принимать равным наименьшему из значений, определенных по критериям температуры и давления:

$$t_д=\text{мин}(t_Т; t_Р) \text{ [с]} \quad (3.168)$$

где

$t_д$	с	требуемое время ликвидации дугового замыкания, соответствующее допустимому времени существования дуги

Для практического применения методики приняты типовые объемы отсеков электротехнического шкафа: вводной отсек V=1 м^3 и шинный отсек V=6 м^3. Расчет выполнен в диапазоне времени от 5 до 300 мс для характерного тока КЗ $I_{кз}$≈29 кА, соответствующего трансформатору мощностью 1000 кВА при u_k=0,05. На рисунках 3.17 и 3.18 представлены графики темпа нарастания температуры воздуха во вводном отсеке объемом V=1 м^3 и шинном отсеке объемом V=6 м^3.

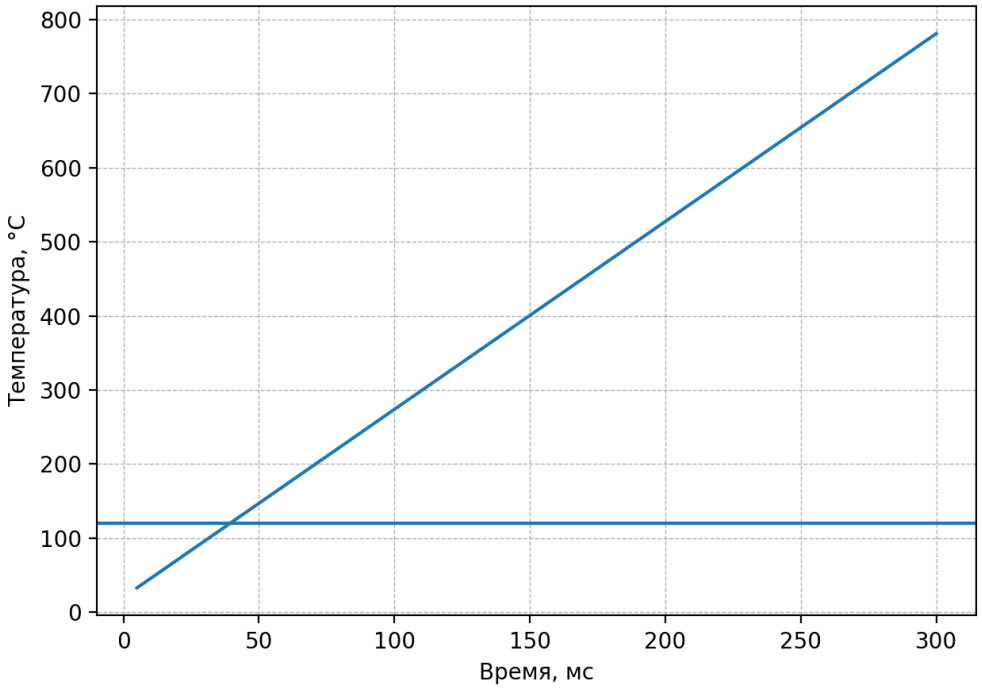


Рисунок 3.17. Температура воздуха во вводном отсеке электротехнического шкафа (V = 1 м³)

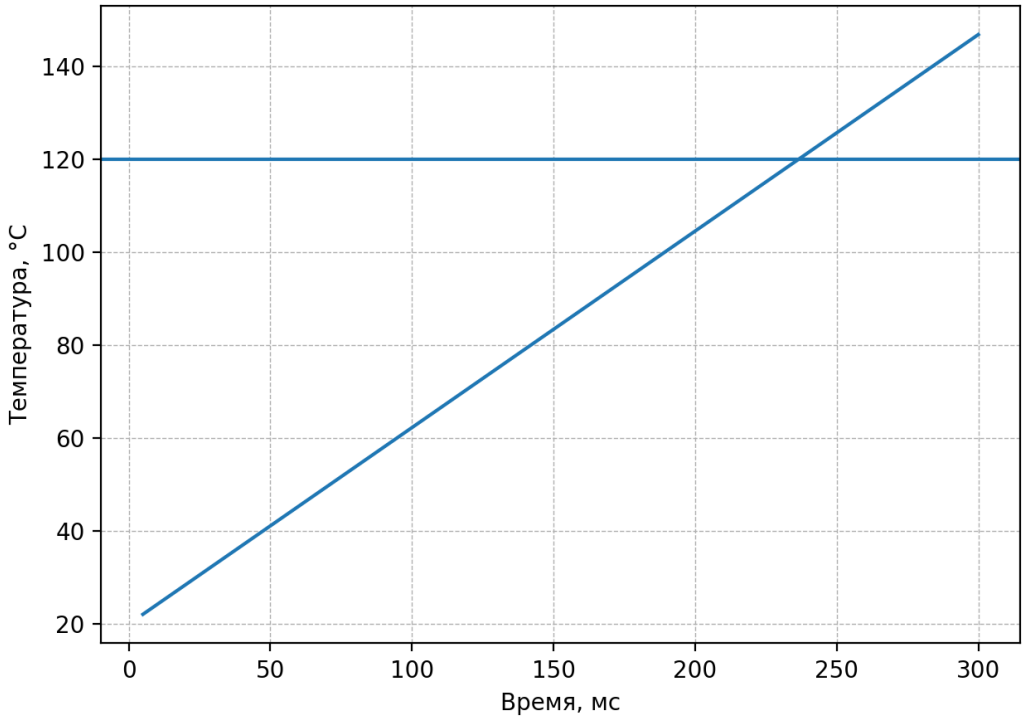


Рисунок 3.18. Температура воздуха в шинном отсеке электротехнического шкафа (V = 6 м³)

На рисунках 3.19 и 3.20 приведены графики темпа нарастания давления воздуха во вводном отсеке объемом V=1 м^3 и шинном отсеке объемом V=6 м^3 при наличии клапана сброса давления, для которого $k_б$ = 0,75, и при его отсутствии, для которого $k_б$=1.

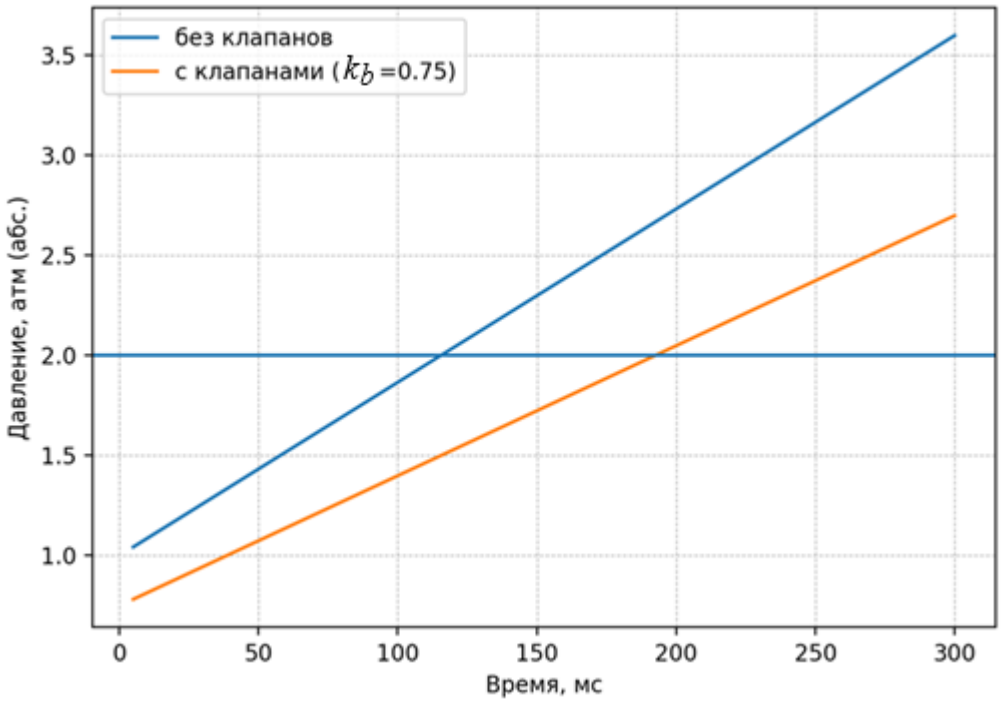


Рисунок 3.19. Давление во вводном отсеке электротехнического шкафа (V=1 м3) при kб=0,75 и kб=1

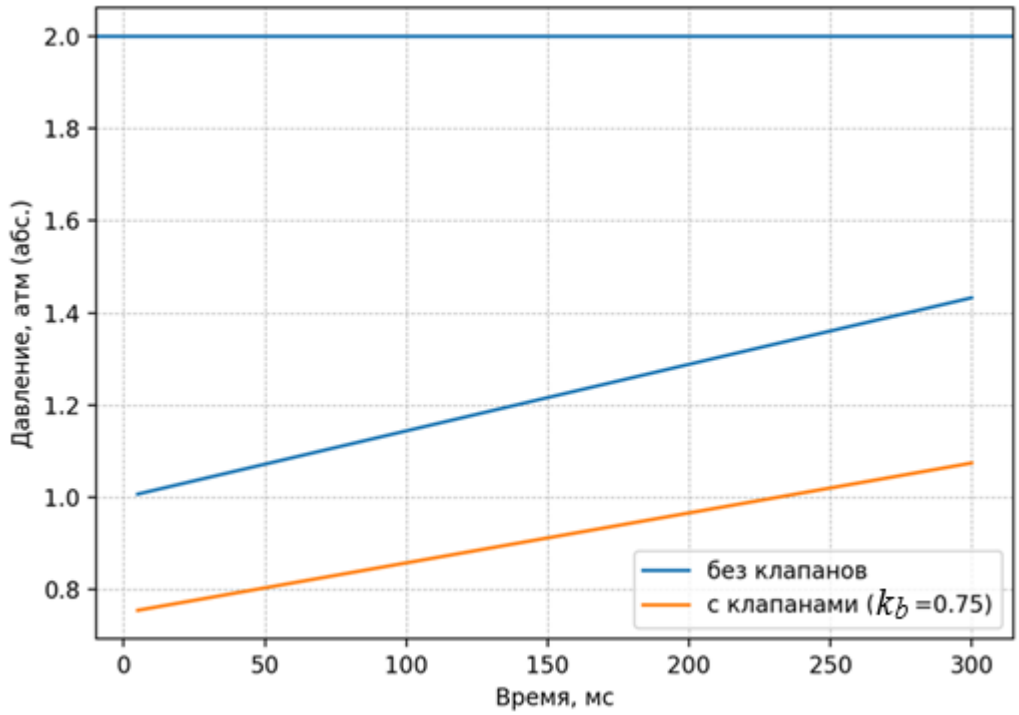


Рисунок 3.20. Давление в шинном отсеке электротехнического шкафа (V=6 м3) при kб=0,75 и kб=1

Анализ данных, представленных на рисунках 3.17–3.20, показывает, что вводной отсек электротехнического шкафа имеет существенно меньший объем и по этой причине в нем происходит наиболее быстрый рост температуры и давления в случае возникновения электрической дуги. Данный вывод подтверждается практическим опытом эксплуатации электроустановок: именно вводные отсеки, содержащие автоматические выключатели и контакты ввода, являются критическими с точки зрения возможных последствий дугового замыкания. Шинный отсек электротехнического шкафа обладает значительно большим объемом, что теоретически позволяет увеличить допустимое время существования дуги без достижения критических параметров. Однако при больших токах КЗ даже в этом отсеке наблюдается быстрое нарастание температуры и давления воздуха, что требует тщательного учета при проектировании систем дуговой защиты и расчете времени срабатывания защитных устройств [102].

Для инженерной оценки требований к быстродействию дуговой защиты на стадии проектирования аналитическую зависимость времени существования дуги удобно свести к простой пропорции $t_д \propto V / I_{кз}$. Для принятых значений параметров η, $U_д$, ρ, $C_в$, а также с учетом критериев безопасности по температуре $T_б$=120 °C и давлению $P_б$=2 атм (абс.) получается приближенная формула для допустимого времени существования дуги:

$$t_д \approx 110 \cdot \frac{V}{I_{кз}} \ [с] \qquad (3.169)$$

где

$t_д$	с	допустимое время существования дуги
V	м^3	объем защищаемого отсека
$I_{кз}$	кА	ток КЗ

Формула (3.169) удобна для быстрой проверки необходимости дуговой защиты на стадии проектирования. Если реальное время отключения защиты превышает $t_д$, установка дуговой защиты обязательна — это позволит минимизировать возможный ущерб от дугового замыкания.

Графическая иллюстрация зависимости требуемого времени ликвидации электрической дуги от тока КЗ для вводного отсека объемом V=1 м^3 и шинного отсека объемом V=6 м^3 приведена на рисунках 3.21 и 3.22 и наглядно демонстрирует влияние объема защищаемого пространства на динамику термодинамических процессов при дуговом замыкании.

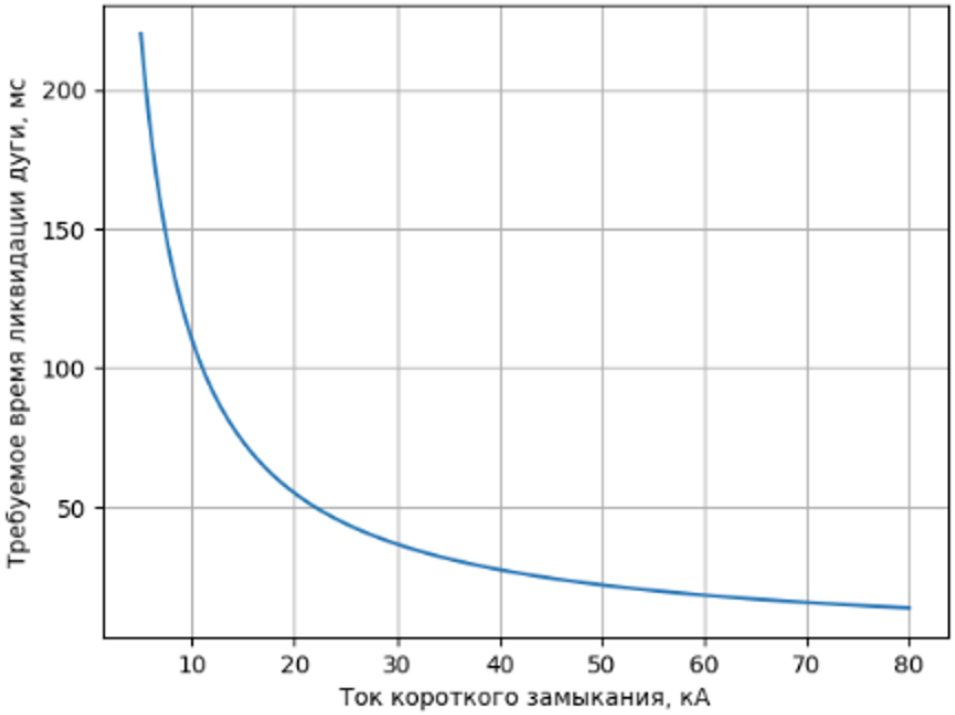


Рисунок 3.21. Требуемое время ликвидации дуги в зависимости от тока КЗ (вводной отсек, V=1 м3)

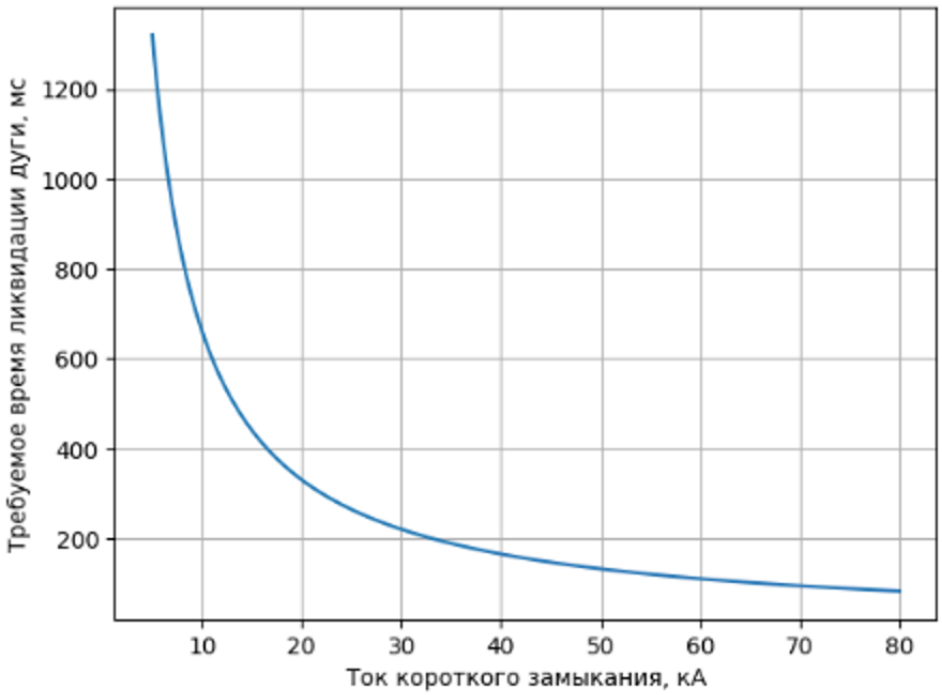


Рисунок 3.22. Требуемое время ликвидации дуги в зависимости от тока КЗ (шинный отсек, V=6 м3)

В РУ 0,4 кВ широко применяются селективные схемы: отходящие автоматические выключатели или предохранители должны отключать повреждение на линии быстрее вводного автоматического выключателя, чтобы не обесточивать всю секцию шин. Поэтому вводной автоматический выключатель часто имеет временную задержку токовой защиты от 150 до 300 мс, а в ряде схем — до 500 мс. Это корректно с точки зрения селективности, но плохо с точки зрения дуговой безопасности: дуга за это время успевает выделить энергию, достаточную для разрушения оборудования [193].

Следовательно, возникает «конфликт целей»: селективность требует задержки, а дуговая безопасность — мгновенного отключения. Применение дуговой защиты обеспечивает сверхбыстрое отключение именно при возникновении дуги, не ухудшая селективность токовых защит [102].

3.12.3.8 Рекомендованная конфигурация оптических датчиков

Для практической реализации эффективной системы дуговой защиты рекомендуется комбинированная схема контроля: точечные датчики света целесообразно размещать во вводном отсеке электротехнического шкафа, где вероятность возникновения дуги и тяжесть ее последствий максимальны, а петлевой оптоволоконный датчик обеспечивает мониторинг протяженных участков с потенциальным риском возникновения дуги: шинного отсека, шинного моста и смежных критических зон. Такой подход обеспечивает полное покрытие защищаемых площадей при минимальной стоимости оборудования и монтажа.

Возможность комбинирования точечных и петлевых датчиков является практическим преимуществом универсального устройства дуговой защиты **«Лайм-2.0»** для РУ 0,4 кВ, где «геометрия» отсеков неоднородна [102].

3.12.3.9 Экономическое обоснование применения универсального устройства дуговой защиты «Лайм-2.0»

Экономическое обоснование является одним из ключевых факторов при принятии решения заказчиком о необходимости внедрения системы дуговой защиты.

Дуговая авария в РУ 0,4 кВ приводит к серьезным последствиям: разрушению секции низковольтного комплектного устройства или главного распределительного щита, повреждению автоматических выключателей и кабельных линий, а также к необходимости дорогостоящих восстановительных работ. Ориентировочная стоимость оборудования и проведения работ при таких авариях представлена в таблице 3.25 [102].

Таблица 3.25. Оценка стоимости восстановления оборудования (условный пример)

СТАТЬЯ ЗАТРАТ	СТОИМОСТЬ, РУБ.
Восстановление или замена шкафа НКУ	1 050 000

СТАТЬЯ ЗАТРАТ	СТОИМОСТЬ, РУБ.
Замена автоматических выключателей и других аппаратов	280 000
Кабели, материалы и монтаж	210 000
Пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию	140 000

Согласно таблице 3.25 стоимость восстановления оборудования составляет $C_{рем}$≈1 680 000 руб. Дополнительно следует учитывать потери от простоя оборудования. Для промышленного потребителя простой оборудования даже в течение 1–2 суток зачастую оказывается существеннее затрат на непосредственное восстановление оборудования. В рассматриваемом примере используется консервативная оценка потерь от простоя, равная 1 000 000 руб.; конкретное значение зависит от отрасли и может быть выше.

Общий ущерб следует оценивать по формуле [102]:

$$C = C_{рем} + C_{простоя} \approx 1\,680\,000 + 1\,000\,000 \approx 2\,680\,000\ [руб.] \quad (3.170)$$

где

$t_д$	с	общий ущерб от дуговой аварии
V	$м^3$	стоимость восстановления оборудования
$I_{кз}$	кА	потери от простоя оборудования

Стоимость системы дуговой защиты **«Лайм-2.0»** с тремя датчиками в рассматриваемом примере составляет 30 000 руб.

Коэффициент предотвращенного ущерба следует определять по формуле [102]:

$$К = \frac{C}{C_{лайм}} \approx \frac{2\,680\,000}{30\,000} \approx 89 \quad (3.171)$$

где

К	–	коэффициент предотвращенного ущерба
$C_{лайм}$	руб	стоимость системы дуговой защиты **«Лайм-2.0»** с тремя датчиками.

Таким образом, отношение величины возможного предотвращенного ущерба к стоимости системы дуговой защиты составляет около 90. Это делает внедрение системы экономически оправданным даже при низкой вероятности возникновения дуговой аварии: предотвращение одной серьезной дуговой аварии за весь период эксплуатации обеспечивает многократную окупаемость системы без учета полной стоимости владения.

3.12.3.10 Условия обязательного применения дуговой защиты

Для практики проектирования удобно сформулировать критерии применения дуговой защиты. Применение дуговой защиты рекомендуется или является обязательным, если выполняется хотя бы одно из следующих условий [102]:

- мощность питающего трансформатора составляет не менее 630 кВА. При указанной мощности и стандартном значении напряжения КЗ u_k=0,05 ожидаемый ток КЗ составляет не менее 18 кА. Начиная с этой мощности токи КЗ и энергия дуги при селективных задержках вводных защит переходят в область, в которой последствия дугового замыкания становятся разрушительными за десятки миллисекунд. Если вводной автоматический выключатель имеет выдержку времени для обеспечения селективности, установка дуговой защиты становится практически неизбежной;
- полное время отключения КЗ вводным автоматическим выключателем превышает допустимое время существования дуги, определенное по формуле (3.169). Выполнение данного условия свидетельствует о возможности повреждения оборудования до прекращения тока через дугу и является основанием для применения быстродействующей дуговой защиты;
- в зоне потенциальной дуговой аварии постоянно находится персонал;
- к надежности и непрерывности электроснабжения предъявляются высокие требования.

3.12.4 Определение допустимого времени ликвидации дугового замыкания в КРУ 6–35 кВ

3.12.4.1 Общие сведения

Допустимое время ликвидации внутреннего дугового замыкания в КРУ 6–35 кВ следует определять по условию ограничения термического воздействия дуги на воздушную среду защищаемого отсека. Расчет основан на энергетической модели, приведенной в п. 3.12.3, с учетом изменения напряжения дуги в зависимости от конструктивных параметров ячейки [96].

Указанный расчет следует рассматривать как ориентировочную инженерную оценку допустимого полного времени ликвидации дуги. Полученное значение не является подтверждением стойкости конкретного КРУ к воздействию внутренней дуги и не заменяет результаты испытаний, технические данные изготовителя и требования применимых нормативных документов.

3.12.4.2 Исходные данные и расчетные допущения

Для расчета следует принимать объем отсека V по конструктивным данным КРУ, расчетный ток КЗ $I_{кз}$ — для наиболее неблагоприятного режима в месте возникновения дуги, а напряжение дуги $U_{дуги}$ — по обоснованным данным о геометрии и условиях ее горения. При отсутствии уточненных данных допускается использовать ориентировочные параметры, приведенные в таблице 3.26 [96].

В рассматриваемой модели приняты: плотность воздуха $\rho_в$ = 1,2 кг/м³; удельная теплоемкость $C_{возд}$ = 1000 Дж/(кг·°C); доля энергии дуги, передаваемая воздуху, η = 0,35; начальная температура $T_{нач}$ = 25 °C; предельная расчетная температура $T_{пред}$ = 140 °C. Значения являются допущениями исходной модели [96] и подлежат уточнению при наличии испытательных либо расчетных данных для конкретного оборудования.

Коэффициент тепловой разгрузки $k_т$ следует принимать равным 1,0 при отсутствии обоснованных данных об эффективности отвода нагретого газа. Значение $k_т$ = 0,75 допускается использовать только для ориентировочной оценки влияния клапанов и газоотводящих каналов по принятой в [96] модели; само наличие клапанов не подтверждает указанное снижение температуры.

Таблица 3.26. Расчетные параметры и коэффициенты для оценки допустимого времени ликвидации дуги в КРУ 6–35 кВ

КЛАСС НАПРЯЖЕНИЯ, КВ	ПРИНЯТОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ДУГИ, В	МЕЖФАЗНЫЙ ЗАЗОР, СМ	K, МС·КА/М³
6	1250	10	315,4
10	1900	15	207,5
20	2900	23	136,0
35	3800	30	103,8

Коэффициент K определен из условия нагрева воздуха от начальной до предельной расчетной температуры при указанных значениях $\rho_в$, $C_{возд}$ и η. Для каждого класса напряжения значение K зависит от принятого напряжения дуги $U_{дуги}$; поэтому при изменении исходных параметров его следует пересчитывать.

3.12.4.3 Расчет допустимого времени ликвидации дугового замыкания

Мощность дуги и энергия, передаваемая воздуху защищаемого отсека, определяются соответственно по формулам (3.157) и (3.160). С учетом температурной модели (3.161) и коэффициента тепловой разгрузки $k_т$ значение допустимого времени ликвидации дугового замыкания следует определять по формуле [96]:

$$t_{доп} = \frac{K \cdot V}{k_т \cdot I_{кз}} \qquad (3.172)$$

где $t_{доп}$ — допустимое время ликвидации дугового замыкания, мс; K — коэффициент, учитывающий принятые параметры воздушной среды, долю энергии дуги и напряжение дуги, мс·кА/м³; V — объем защищаемого отсека, м³; $k_т$ — коэффициент тепловой разгрузки, о. е.; $I_{кз}$ — расчетный ток КЗ, кА.

Для принятых в таблице 3.26 исходных данных коэффициент K численно определяется отношением $\rho_в \cdot C_{возд} \cdot (T_{пред} - T_{нач}) / (\eta \cdot U_{дуги})$ при согласованных единицах измерения. Например, при $U_{дуги}$ = 1250 В для ячейки 6 кВ получаем K = 1,2·1000·(140 − 25)/(0,35·1250) ≈ 315,4 мс·кА/м³.

При V = 1 м³, $I_{кз}$ = 15 кА и $k_т$ = 0,75 значение допустимого времени для ячейки 6 кВ составляет $t_{доп}$ = 315,4/(0,75·15) ≈ 28 мс. При отсутствии подтвержденного эффекта тепловой разгрузки ($k_т$ = 1,0) для тех же исходных данных получаем $t_{доп}$ ≈ 21 мс.

Зависимости допустимого времени ликвидации дуги от тока КЗ для рассматриваемых классов напряжения при V = 1 м³ и $k_т$ = 0,75 приведены на рисунке 3.23. Величина допустимого времени уменьшается с увеличением тока КЗ и принятого напряжения дуги.

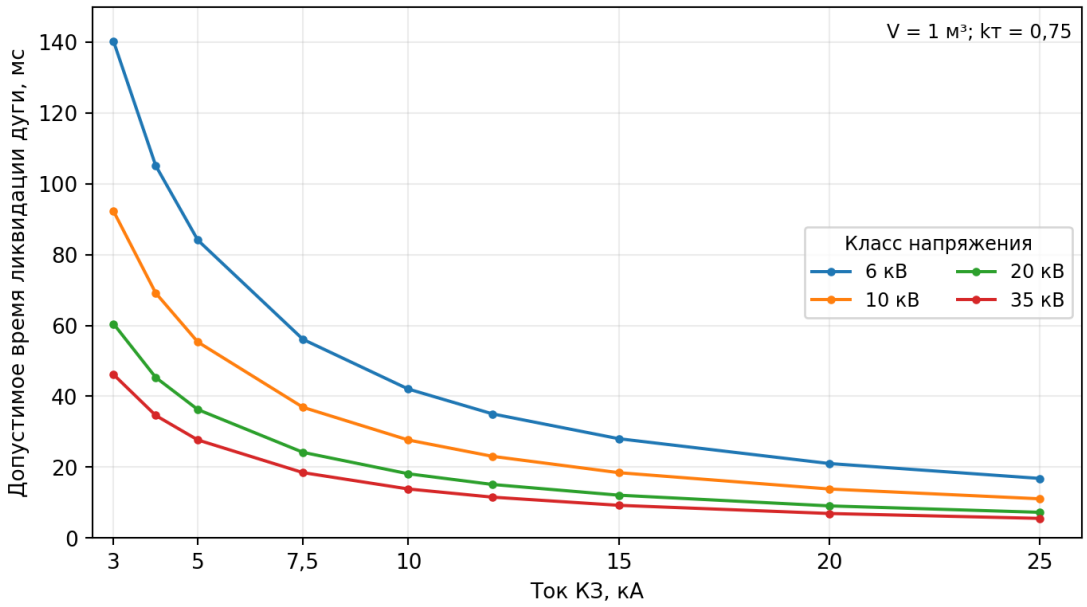


Рисунок 3.23. Расчетная зависимость допустимого времени ликвидации дугового замыкания от тока КЗ для КРУ 6–35 кВ (V = 1 м³; $k_т$ = 0,75)

3.12.4.4 Проверка быстродействия системы дуговой защиты

Проверку быстродействия следует выполнять по условию, чтобы расчетное полное время от возникновения дугового замыкания до прекращения тока повреждения не превышало допустимого времени, определенного по формуле (3.172):

$$t_{\Sigma} \leq t_{доп} \quad (3.173)$$

где t_{Σ} – расчетное полное время ликвидации дугового замыкания с учетом обнаружения повреждения, обработки сигналов, формирования и передачи отключающего воздействия, действия промежуточных элементов (при их наличии) и полного времени отключения выключателя, мс; $t_{доп}$ – допустимое время, определенное по формуле (3.172), мс.

При определении t_{Σ} следует руководствоваться фактической логикой и временными характеристиками применяемых устройств ЗДЗ и выключателя. Если указанное в РЭ полное время срабатывания устройства уже включает время работы датчика, логики и выходного реле, повторное суммирование этих составляющих не допускается.

При невыполнении условия (3.173) следует рассматривать сокращение времени действия цепи отключения, исключение необоснованных промежуточных звеньев, применение более быстродействующего выключателя и (или) конструктивные мероприятия по ограничению воздействия внутренней дуги. Окончательное решение следует принимать с учетом технических характеристик КРУ, результатов испытаний и требований завода-изготовителя.

3.13 ПРОВЕРКА ВТОРИЧНЫХ ОБМОТОК ТТ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЭО ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПЕРЕМЕННОГО ОПЕРАТИВНОГО ТОКА

3.13.1 Общие сведения

В схемах на переменном оперативном токе трансформаторы тока могут использоваться не только для формирования измерительных величин токовых защит, но и в качестве источника питания устройства РЗА, встроенного источника питания дискретных входов, выходных реле, модуля дешунтирования и токовых электромагнитов отключения выключателя (ТЭО).

Коэффициенты чувствительности токовых защит при применении постоянного и переменного оперативного тока следует определять по формулам, приведенным в соответствующих разделах настоящей Методики для ТО, МТЗ, ЛЗШ и других токовых защит. При применении переменного оперативного тока дополнительно следует выполнять проверку вторичных обмоток ТТ для защиты на 10%-ную погрешность с учетом фактической нагрузки вторичных цепей, а для схем с дешунтированием ТЭО — проверку чувствительности ТЭО.

Согласно ПУЭ для защит на переменном оперативном токе, выполняемых по схеме с дешунтированием электромагнитов отключения, чувствительность следует проверять с учетом действительной токовой погрешности ТТ после дешунтирования [**100**, п. 3.2.24]. Минимальное значение коэффициента чувствительности электромагнитов отключения, определяемое по условию их надежного срабатывания, должно быть приблизительно на 20 % больше коэффициента чувствительности, принимаемого для соответствующих защит по [**100**, п. 3.2.21]. При проверке ТТ следует учитывать все элементы, питающиеся от проверяемой вторичной обмотки ТТ.

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** после формирования команды отключения дальнейшее отключающее воздействие обеспечивается алгоритмом **«Отключение»**, а при применении модуля дешунтирования **«iD»** — фиксированной длительностью команды управления указанным модулем. Поэтому допустимую токовую погрешность ТТ для измерительного органа устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** после дешунтирования отдельно не вводят. Действительная токовая погрешность ТТ f может учитываться при уточняющей проверке чувствительности ТЭО по **3.13.5.3**.

Сведения о наличии функций в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, влияющих на нагрузку вторичных цепей ТТ при применении переменного оперативного тока, приведены в таблице 3.27.

Таблица 3.27. Особенности устройств при применении переменного оперативного тока

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Питание от токовых цепей	+, для исполнений Лютик-Т, Лютик-Т-110	+, для исполнения 4IT	+, для исполнения 4IT	–	–
Встроенный источник питания дискретных входов	–	+, не зависит от 4IT	+, не зависит от 4IT; для Алтей-01 — начиная с серийного номера 401	–	–
Канал подключения модуля дешунтирования iD	–	+; модуль iD — опционально	+; модуль iD применяется совместно с исполнением 4IT	–	–

3.13.2 Расчетные случаи применения схем с питанием от токовых цепей

Проверку вторичных обмоток ТТ для защиты и чувствительности ТЭО при применении переменного оперативного тока следует выполнять с учетом фактической схемы питания устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**, модуля дешунтирования и ТЭО выключателя.

При применении устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** с питанием от токовых цепей в качестве нагрузки вторичной обмотки ТТ следует учитывать потребляемую мощность устройства, встроенного источника питания дискретных входов, выходных реле и модуля дешунтирования, если указанные цепи питаются от проверяемой обмотки ТТ. При одновременном подключении нескольких видов нагрузки расчетную потребляемую мощность устройства следует определять суммированием мощностей, соответствующих каждому виду нагрузки.

Расчет следует выполнять для одного из следующих расчетных случаев.

1. Устройство РЗА и ТЭО питаются от разных вторичных обмоток ТТ для защиты. В этом случае проверка каждой вторичной обмотки ТТ для защиты выполняется отдельно:

- для обмотки ТТ, питающей устройство РЗА, учитывается нагрузка токового входа устройства, встроенного источника питания дискретных входов, выходных реле, модуля дешунтирования, а также сопротивление соединительных проводов и переходных контактов;
- для обмотки ТТ, питающей токовый электромагнит отключения, учитывается нагрузка ТЭО после дешунтирования, сопротивление соединительных проводов и переходных контактов.

Указанный вариант является предпочтительным при проектировании схем переменного оперативного тока, так как нагрузка устройства РЗА и нагрузка токового электромагнита отключения распределяются по разным вторичным обмоткам

ТТ. Это уменьшает расчетную нагрузку каждой из обмоток ТТ и, соответственно, повышает вероятность выполнения условия допустимой погрешности ТТ в расчетном режиме.

2. Устройство РЗА и ТЭО питаются от одной вторичной обмотки ТТ для защиты. В этом случае проверку следует выполнять раздельно для двух расчетных режимов: до дешунтирования ТЭО — по условию обеспечения работы устройства РЗА; после дешунтирования ТЭО — по условию обеспечения надежного действия ТЭО. Состав расчетной нагрузки следует принимать для каждого расчетного режима отдельно: до дешунтирования ТЭО учитывается нагрузка устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и иных элементов, питающихся от проверяемой вторичной обмотки ТТ; после дешунтирования ТЭО дополнительно учитывается расчетное сопротивление цепи ТЭО.

3.13.3 Исходные данные для проверки ТТ

Проверку ТТ на 10%-ную погрешность следует выполнять по паспортным данным ТТ или по кривым предельной кратности [162]. Проверка по вольтамперным характеристикам в настоящей Методике не рассматривается, так как на стадии проектирования указанные данные, как правило, отсутствуют.

Исходные данные для проверки ТТ следует принимать по паспортным данным ТТ, РЭ устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**, РЭ выключателя, схемам вторичных соединений и расчетам токов КЗ. Рекомендуемый состав исходных данных приведен в таблице 3.28.

Таблица 3.28. Исходные данные для проверки ТТ на 10%-ную погрешность

ГРУППА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	ИСХОДНАЯ ВЕЛИЧИНА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ПРИМЕЧАНИЕ
Параметры ТТ	Номинальный первичный ток ТТ	$I_{перв.ном.ТТ}$	А	Определяется по данным проекта
	Номинальный вторичный ток ТТ	$I_{втор.ном.ТТ}$	А	1 или 5 А
	Коэффициент трансформации ТТ	$k_{ТТ}$	–	Определяется по номинальным данным ТТ
	Класс точности вторичной обмотки ТТ для защиты	–	–	5P или 10P
	Номинальная нагрузка вторичной обмотки ТТ для защиты	$S_{ном.ТТ}$	ВА	Принимается по паспортным данным ТТ
	Номинальная предельная кратность вторичной обмотки ТТ для защиты	$k_{10ном}$	–	Принимается по паспортным данным ТТ[1]
	Сопротивление вторичной обмотки ТТ постоянному току	$R_{втор.ТТ}$	Ом	Принимается по паспортным данным ТТ[2]
Вторичные цепи	Схема соединения вторичных обмоток ТТ	–	–	Полная звезда, неполная звезда и т.д.
	Коэффициент схемы для проверки чувствительности ТЭО	$k_{сх.ТЭО}$	–	Принимается в зависимости от схемы соединения и вида КЗ
	Коэффициент схемы для проверки ТТ на 10%-ную погрешность после дешунтирования ТЭО	$k^{(3)}_{сх.ТЭО}$	–	Используется в формуле (3.177)
	Длина контрольного кабеля	$L_к$	м	Принимается по данным проекта
	Сечение жил контрольного кабеля	$q_к$	мм²	
	Материал жил контрольного кабеля	–	–	Медь, алюминий
	Сопротивление одного соединительного провода вторичной цепи ТТ от зажимов ТТ до устройства РЗА	$R_{пр}$	Ом	Определяется по длине, сечению и материалу жил
	Суммарное переходное сопротивление контактов в рассматриваемой вторичной цепи ТТ	$R_{конт}$	Ом	При отсутствии уточненных данных принимается равным 0,10 Ом [162]
Расчетные токи	Первичный расчетный ток для проверки ТТ на 10%-ную погрешность	$I_{перв.расч}$	А	Принимается по расчету токов КЗ для соответствующего расчетного режима
	Расчетный вторичный ток в цепях устройства	$I_{вх}$	А	Определяется с учетом $k_{ТТ}$, схемы соединения ТТ и вида КЗ
Параметры устройства РЗА	Тип устройства РЗА	–	–	**«Алтей-01»**, **«Лютик-Плюс»** и др.
	Исполнение устройства по питанию от токовых цепей	–	–	Указывается наличие исполнения с питанием от ТТ

[1] В настоящем подразделе расчет приведен для вторичных обмоток ТТ для защиты класса точности 10P. Для класса 10P по ГОСТ 7746-2015 полная погрешность при токе номинальной предельной кратности не должна превышать 10 %. При применении вторичных обмоток ТТ для защиты другого класса точности проверку следует выполнять с учетом нормируемой полной погрешности для соответствующего класса.

[2] $R_{втор.ТТ}$ принимается по эксплуатационной документации, в том числе паспорту ТТ; значение сопротивления вторичных обмоток постоянному току должно быть установлено изготовителем и указано в эксплуатационной документации [ГОСТ 7746-2015, п. 6.8, п. 6.12.2].

	Мощность, потребляемая токовым входом устройства, при отсутствии дополнительной нагрузки	$S_{устр}$	ВА	Принимается по РЭ или графикам потребления
	Количество дискретных входов, питаемых от встроенного источника	$N_{ДВх}$	шт.	Учитываются входы, фактически питаемые от встроенного источника
	Потребляемая мощность одного дискретного входа	$S_{ДВх1}$	ВА	Принимается по РЭ или графикам потребления
	Количество срабатывающих выходных реле	$N_{ДВых}$	шт.	Учитываются реле, срабатывающие в расчетном режиме
	Потребляемая мощность одного выходного реле	$S_{ДВых1}$	ВА	Принимается по РЭ или графикам потребления
Внешний блок питания от токовых цепей	Наличие внешнего блока питания от токовых цепей	–	–	Указывается при применении, например, **«Пион-Т»**
	Расчетный входной ток блока питания	$I_{вх.БП}$	А	Определяется для соответствующего расчетного режима
	Мощность, потребляемая токовым входом блока питания	$S_{вх.БП}$	ВА	Принимается по РЭ или графикам потребления
	Эквивалентное сопротивление токового входа блока питания	$Z_{вх.БП}$	Ом	Определяется по РЭ блока питания
Модуль дешунтирования	Наличие дешунтирования	–	–	Указывается при применении модуля **«iD»**
	Количество модулей дешунтирования	N_{iD}	шт.	Как правило, 1 шт.[1]
	Потребляемая мощность одного модуля дешунтирования	S_{iD1}	ВА	Принимается по РЭ или графикам потребления
Токовый электромагнит отключения (ТЭО)	Наличие ТЭО в проверяемой цепи	–	–	Указывается, питается ли ТЭО от проверяемой обмотки ТТ
	Ток срабатывания	$I_{с.ТЭО}$	А	Принимается по РЭ выключателя (как правило, 3 или 5А)
	Потребляемая мощность или сопротивление ТЭО	$S_{ТЭО}$	ВА	Принимается по РЭ выключателя

При проверке вторичной обмотки для защиты, к которой подключено устройство РЗА, расчетную нагрузку следует определять с учетом фактического состава нагрузок, питающихся от проверяемой вторичной обмотки ТТ. В расчетную нагрузку следует включать потребляемую мощность токового входа устройства, встроенного источника питания дискретных входов, выходных реле, модуля дешунтирования **«iD»**, а также иных элементов, подключенных к данной обмотке ТТ. Полученное значение расчетной потребляемой мощности следует использовать для определения эквивалентного сопротивления нагрузки устройства РЗА.

При проверке вторичной обмотки для защиты, к которой подключен ТЭО, исходными данными являются ток срабатывания ТЭО, его потребляемая мощность или сопротивление, схема соединения вторичных цепей ТТ, сопротивление соединительных проводов и переходных контактов. Расчетную нагрузку указанной обмотки ТТ следует определять для режима после дешунтирования токового электромагнита отключения с учетом увеличения нагрузки вторичной цепи ТТ на расчетное сопротивление цепи ТЭО.

Расчетные токи КЗ следует принимать в первичных величинах. Пересчет расчетных токов и сопротивлений во вторичные величины следует выполнять с учетом коэффициентов трансформации ТТ и схем соединения вторичных цепей в соответствии с **2.1**.

3.13.4 Определение нагрузки на вторичную обмотку ТТ для защиты

Расчетную нагрузку на проверяемую вторичную обмотку ТТ следует определять с учетом фактического состава нагрузок, питающихся от указанной обмотки ТТ. При применении устройства РЗА с питанием от вторичных цепей ТТ в расчетной нагрузке следует учитывать потребляемую мощность токового входа устройства, встроенного источника питания дискретных входов, выходных реле, модуля дешунтирования **«iD»**, а также иных элементов, питающихся от проверяемой вторичной обмотки ТТ.

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** расчетную потребляемую мощность следует определять по графикам потребляемой мощности.

[1] Один модуль **«iD»** содержит две группы перекидных контактов; при соответствующей схеме подключения один модуль может использоваться для дешунтирования двух ТЭО

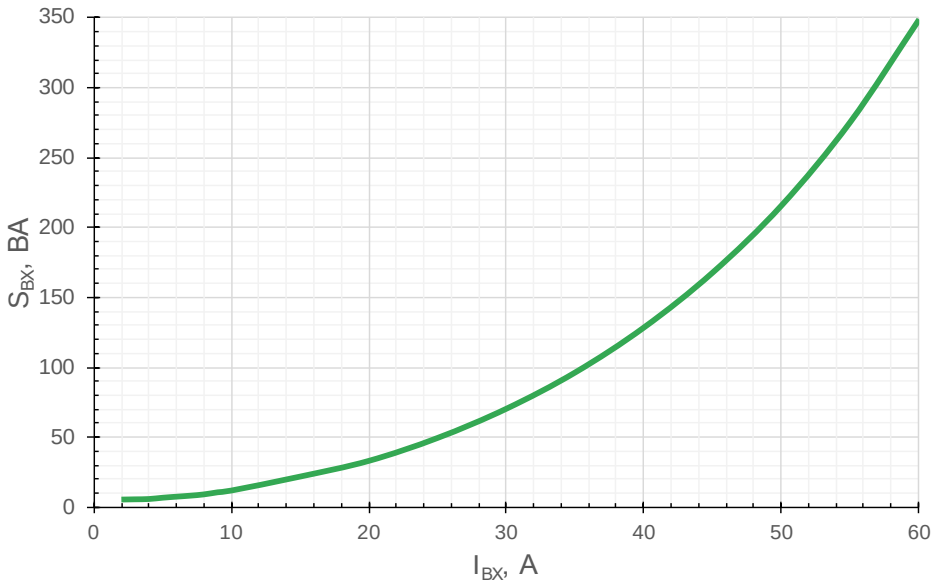


Рисунок 3.24. Мощность, потребляемая токовым входом устройствами **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при отсутствии нагрузки на встроенный источник питания дискретных входов, разомкнутых дискретных выходах, несработанном состоянии модуля дешунтирования

Расчетный вторичный ток в токовом входе устройства РЗА следует определять по формуле [162]:

$$I_{вх} = \frac{I_{перв.расч}}{k_{тт}} \ [А] \quad (3.174)$$

Значение $I_{перв.расч}$ следует выбирать в зависимости от вида защиты [162]. Для токовых защит с независимой характеристикой выдержки времени, в том числе токовых отсечек без выдержки времени:

$$I_{перв.расч} = 1{,}1 \cdot I_{с.з} \ [А] \quad (3.175)$$

где

$I_{с.з}$ А первичный ток срабатывания защиты

для максимальной токовой защиты с зависимой характеристикой:

$$I_{перв.расч} = 1{,}1 \cdot I_{согл} \ [А] \quad (3.176)$$

где

$I_{согл}$ А первичный ток КЗ, при котором производится согласование по времени последующей и предыдущей защит и определяется ступень селективности Δt. Для создания запаса по возможности $I_{согл}$ принимается равным току, при котором начинается независимая часть характеристики

Для токовой направленной защиты линии с односторонним питанием $I_{перв.расч}$ следует принимать равным наибольшему значению тока при КЗ в конце защищаемой линии. Для линии с двусторонним питанием дополнительно следует рассматривать КЗ «за спиной» защиты.

Для дешунтируемых ТЭО расчетный первичный ток следует определять по выражению:

$$I_{перв.расч.ТЭО} = k_{н.ТЭО} \cdot \frac{I_{с.ТЭО} \cdot k_{тт}}{k^{(3)}_{сх.ТЭО}} \ [А] \quad (3.177)$$

где

$k_{н.ТЭО}$ – коэффициент надежного действия ТЭО, принимаемый; при отсутствии специальных указаний завода-изготовителя выключателя или проектных решений согласно [162] принимается из диапазона 1,4–1,8

$k^{(3)}_{сх.ТЭО}$ – коэффициент схемы, учитывающий отношение тока в ТЭО к вторичному току ТТ при трехфазном КЗ

Для схемы полной звезды и неполной звезды при проверке ТТ на 10%-ную погрешность после дешунтирования ТЭО следует принимать $k^{(3)}_{сх.ТЭО} = 1$. Коэффициент 0,50, учитывающий снижение тока в ТЭО при двухфазном КЗ за трансформатором Y/Δ–11, в формуле (3.177) не применяется и учитывается только при проверке чувствительности ТЭО по **3.13.5.3**.

Значение $I_{перв.расч.ТЭО}$ используется для определения расчетной предельной кратности $K_{10расч.ТЭО}$ при проверке вторичной обмотки ТТ для защиты на 10%-ную погрешность в режиме после дешунтирования ТЭО. Указанное значение не используется

при определении коэффициента чувствительности ТЭО. При выполнении уточняющей проверки с учетом действительной токовой погрешности ТТ значение $I_{перв.расч.ТЭО}$ может использоваться для определения расчетной кратности, при которой определяется данная погрешность.

Расчетную потребляемую мощность устройствами **«Алтей»** или **«Лютик»** следует определять по формуле:

$$S_{вх.\Sigma}=S_{устр}+N_{ДВх}\cdot S_{ДВх1}+N_{iD}\cdot S_{iD1}+N_{ДВых}\cdot S_{ДВых1}\ [ВА] \quad (3.178)$$

где

$S_{устр}$ ВА мощность, потребляемая токовым входом устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при отсутствии нагрузки на встроенный источник питания дискретных входов, разомкнутых дискретных выходах и несработанном состоянии модуля дешунтирования

Значение $S_{устр}$ следует принимать по рисунку 3.24 в зависимости от расчетного вторичного тока $I_{вх}$, определяемого по формуле (3.174).

На рисунке 3.25 приведены значения потребляемой мощности, соответствующие одному модулю дешунтирования **«iD»**, одному дискретному входу и одному дискретному выходу устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**. Указанные значения следует принимать в зависимости от расчетного вторичного тока $I_{вх}$ и использовать при определении расчетной потребляемой мощности по формуле (3.178). При отсутствии соответствующего вида нагрузки в расчетном режиме количество таких элементов в формуле (3.178) следует принимать равным нулю.

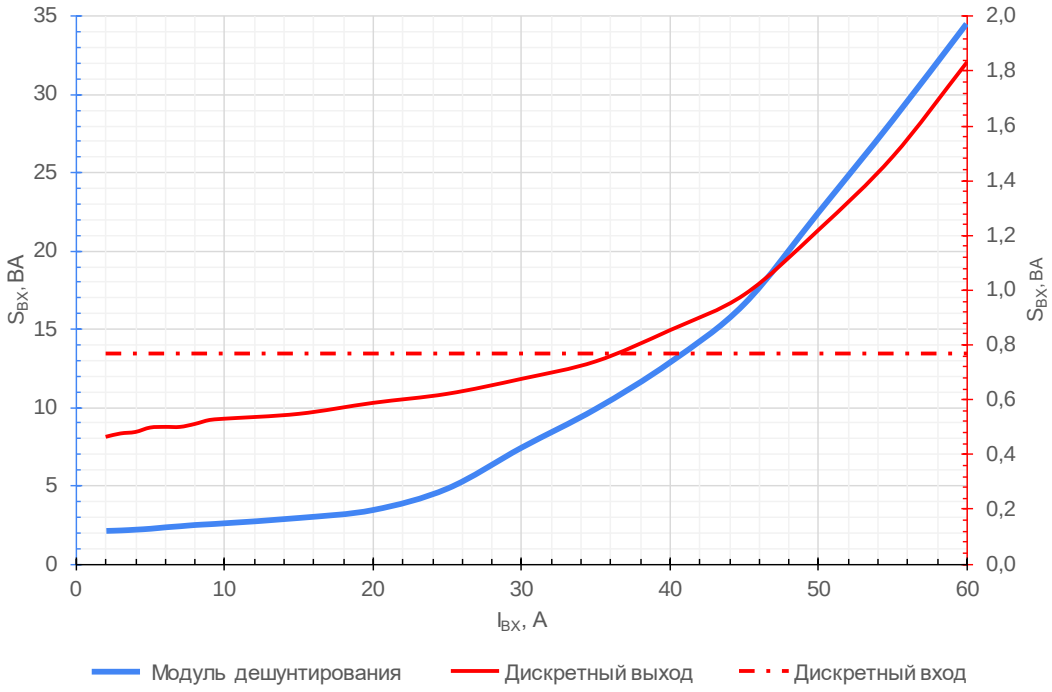


Рисунок 3.25. Потребляемая мощность модулем дешунтирования **«iD»**, одним дискретным входом и одним дискретным выходом устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** в зависимости от расчетного вторичного тока $I_{вх}$

Суммарное эквивалентное сопротивление устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** следует определять по формуле:

$$Z_{устр}=\frac{S_{вх.\Sigma}}{I_{вх}^2}\ [Ом] \quad (3.179)$$

При применении устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в схемах переменного оперативного тока питание устройства РЗА может выполняться от внешнего блока питания от токовых цепей, например **«Пион-Т»**. В этом случае токовый вход внешнего блока питания следует учитывать как дополнительную нагрузку проверяемой вторичной обмотки ТТ для защиты. **«Пион-Т»** предназначен для питания цифровых устройств РЗА на объектах с переменным или выпрямленным оперативным током, а при снижении напряжения на входе питания отбор мощности осуществляется от токовых цепей.

Эквивалентное сопротивление токового входа внешнего блока питания следует определять по формуле:

$$Z_{вх.БП}=\frac{S_{вх.БП}}{I_{вх.БП}^2}\ [Ом] \quad (3.180)$$

где

$Z_{вх.БП}$	Ом	эквивалентное сопротивление токового входа внешнего блока питания
$S_{вх.БП}$	ВА	мощность, потребляемая токовым входом внешнего блока питания при расчетном входном токе
$I_{вх.БП}$	А	расчетный вторичный ток токового входа внешнего блока питания

Значение $S_{вх.БП}$ следует принимать по РЭ или графикам потребления внешнего блока питания в зависимости от расчетного входного тока. Для блока **«Пион-Т»** указанная зависимость приведена в РЭ [101, рис. 2.2], при этом полное сопротивление токового входа определяется по формуле, аналогичной (3.180).

Значение $I_{вх.БП}$ следует определять по фактической схеме подключения внешнего блока питания. Если токовый вход внешнего блока питания включен в ту же вторичную цепь ТТ для защиты, что и токовый вход устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**, и рассматривается тот же расчетный режим, значение $I_{вх.БП}$ следует принимать равным расчетному вторичному току $I_{вх}$, определяемому по формуле (3.174):

$$I_{вх.БП} = I_{вх} \ [А] \tag{3.181}$$

При подключении устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и внешнего блока питания к разным вторичным обмоткам ТТ для защиты проверку каждой обмотки следует выполнять отдельно. При подключении к одной вторичной обмотке ТТ для защиты $Z_{вх.БП}$ следует учитывать совместно с нагрузкой устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** при определении $Z_{цеп}$ для соответствующего расчетного режима.

3.13.5 Проверка вторичной обмотки ТТ для защиты на 10%-ную погрешность

Проверку вторичной обмотки ТТ для защиты на 10%-ную погрешность следует выполнять для каждой вторичной обмотки ТТ, используемой в схеме переменного оперативного тока.

Проверка может производиться [162, 163]:

- по паспортным данным ТТ;
- по кривым предельной кратности (КПК) ТТ.

В схемах с дешунтированием ТЭО расчетную нагрузку вторичной цепи ТТ следует определять раздельно для режима до дешунтирования и режима после дешунтирования ТЭО.

До дешунтирования ТЭО зашунтирован и его сопротивление не учитывается в составе расчетной нагрузки вторичной цепи ТТ. После дешунтирования ТЭО расчетная нагрузка вторичной цепи ТТ возрастает на расчетное сопротивление цепи ТЭО:

$$Z_{ТЭО} = \frac{S_{ТЭО}}{I^2_{с.ТЭО}} \ [Ом] \tag{3.182}$$

где

$Z_{ТЭО}$	Ом	расчетное сопротивление ТЭО

Расчетное сопротивление элементов, фактически включенных в рассматриваемую вторичную цепь ТТ в заданном режиме, обозначается $Z_{цеп}$.

Для режима до дешунтирования ТЭО следует принимать:

$$Z_{цеп} = Z_{устр} \ [Ом] \tag{3.183}$$

Для режима после дешунтирования ТЭО при питании только ТЭО от проверяемой вторичной обмотки ТТ для защиты следует принимать:

$$Z_{цеп} = Z_{ТЭО} \ [Ом] \tag{3.184}$$

При питании устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО от одной вторичной обмотки ТТ для защиты в режиме после дешунтирования следует принимать:

$$Z_{цеп} = Z_{устр} + Z_{ТЭО} \ [Ом] \tag{3.185}$$

При этом $Z_{устр}$ следует определять по формуле (3.179), принимая $S_{вх\Sigma}$ по формуле (3.178) с учетом фактически подключенных устройств: токового входа устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**, встроенного источника питания дискретных входов, выходных реле и модуля дешунтирования **«iD»**.

Расчетную внешнюю нагрузку вторичной цепи ТТ $Z_{н.расч}$ следует определять по таблице 3.29 с учетом схемы соединения вторичных цепей ТТ, вида КЗ и состава нагрузок, подключенных к проверяемой вторичной обмотке ТТ для защиты [162].

Таблица 3.29. Расчетные формулы для определения вторичной нагрузки ТТ

СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ТТ	ВИД КЗ	РАСЧЕТНАЯ ФОРМУЛА
Полная звезда	Трехфазное	$Z_{н.расч}=Z_{цеп}+R_{пр}+R_{конт}$
Полная звезда	Двухфазное	$Z_{н.расч}=Z_{цеп}+R_{пр}+R_{конт}$
Неполная звезда	Трехфазное	$Z_{н.расч}=Z_{цеп}+\sqrt{3}\cdot R_{пр}+R_{конт}$
Неполная звезда	Двухфазное АВ или ВС	$Z_{н.расч}=Z_{цеп}+2\cdot R_{пр}+R_{конт}$
Неполная звезда	Двухфазное КЗ за трансформатором Y/Δ-11	$Z_{н.расч}=Z_{цеп}+3\cdot R_{пр}+R_{конт}$

Для режима двухфазного КЗ за трансформатором Y/Δ–11 в таблице 3.29 приведено расчетное выражение для наиболее неблагоприятного случая загрузки соединительных проводов схемы неполной звезды при отсутствии отдельной нагрузки в общем обратном проводе. При наличии такой нагрузки ее сопротивление следует учитывать дополнительно.

Для вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей устройство **«Алтей»** или **«Лютик»**, 10%-ная погрешность должна обеспечиваться в расчетном режиме до дешунтирования ТЭО. Указанная проверка подтверждает корректность работы токовых измерительных органов устройств до формирования команды отключения.

После формирования команды отключения дальнейшее удержание отключающего воздействия обеспечивается логикой устройства. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при применении модуля дешунтирования **«iD»** команда управления модулем дешунтирования имеет фиксированную длительность 150 мс [147, 150, 151]. В связи с этим отдельное значение допустимой токовой погрешности ТТ для измерительного органа устройства после дешунтирования ТЭО в расчет не вводится. Требование [162] о необходимости специальных мероприятий, предотвращающих возврат дешунтирующих органов после их срабатывания и дешунтирования ЭО, для рассматриваемых устройств выполняется за счет удержания команды отключения алгоритмом **«Отключение»** и фиксированной длительности команды управления модулем дешунтирования **«iD»**.

При применении устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в схемах переменного оперативного тока совместно с внешними реле дешунтирования следует учитывать особенности принятой внешней схемы. Если внешней схемой обеспечивается удержание дешунтирующего реле после его срабатывания, расчетную проверку чувствительности измерительных органов защиты после дешунтирования ТЭО допускается не выполнять по аналогии с указаниями [162] для схем с самоудерживающимися реле дешунтирования.

3.13.5.1 Проверка по паспортным данным ТТ

При проверке по паспортным данным ТТ для вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей устройство **«Алтей»** или **«Лютик»**, расчетную предельную кратность тока КЗ следует определять по формуле:

$$k_{10расч}=\frac{I_{перв.расч}}{I_{перв.ном.ТТ}} \quad (3.186)$$

Указанное выражение применяется как при раздельном подключении устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО к разным вторичным обмоткам ТТ для защиты, так и для режима до дешунтирования ТЭО при питании устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО от одной вторичной обмотки ТТ для защиты. Значение $I_{перв.расч}$ следует принимать в соответствии с 3.13.4.

Для вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей только ТЭО после дешунтирования, значение $I_{перв.расч.ТЭО}$ следует принимать по формуле (3.177), а расчетную предельную кратность — определять по формуле:

$$k_{10расч.ТЭО}=\frac{I_{перв.расч.ТЭО}}{I_{перв.ном.ТТ}} \quad (3.187)$$

Если устройство РЗА и ТЭО питаются от одной вторичной обмотки ТТ для защиты, проверку указанной обмотки следует выполнять раздельно для двух расчетных режимов:

- до дешунтирования ТЭО — по условию обеспечения работы устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**;
- после дешунтирования ТЭО — по условию обеспечения надежного действия ТЭО.

Для каждого из указанных режимов значение допустимой предельной кратности следует определять по расчетной внешней нагрузке вторичной цепи ТТ $Z_{н.расч}$, определяемой по таблице 3.29. При этом $Z_{цеп}$, входящее в расчетные формулы таблицы 3.29, следует принимать как расчетное сопротивление элементов, фактически включенных в рассматриваемую вторичную цепь ТТ в заданном режиме:

- до дешунтирования ТЭО – по формуле (3.183);
- после дешунтирования ТЭО при питании только ТЭО от проверяемой вторичной обмотки ТТ для защиты – по формуле (3.184);
- после дешунтирования ТЭО при питании устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО от одной вторичной обмотки ТТ для защиты – по формуле (3.185).

Если устройство **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО питаются от разных вторичных обмоток ТТ для защиты, проверку каждой обмотки следует выполнять отдельно. Для обмотки, питающей устройство **«Алтей»** или **«Лютик»**, $Z_{цеп}$ следует принимать по формуле (3.183); для обмотки, питающей ТЭО после дешунтирования – по формуле (3.184). Расчетную внешнюю нагрузку вторичной цепи ТТ $Z_{н.расч}$ в каждом случае следует определять по таблице 3.29.

ПУЭ устанавливает общие требования к погрешности ТТ в цепях РЗА [100, п. 3.2.29], но не регламентирует порядок раздельной проверки вторичной обмотки ТТ для защиты в режимах до и после дешунтирования ТЭО. Указанная раздельная проверка принимается по расчетной логике схем с дешунтированием ТЭО: до дешунтирования проверяется обеспечение работы устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**, после дешунтирования – обеспечение надежного действия ТЭО.

Номинальное сопротивление нагрузки вторичной обмотки для защиты следует определять по формуле:

$$Z_{ном.ТТ} = \frac{S_{ном.ТТ}}{I^2_{втор.ном.ТТ}} \ [Ом] \qquad (3.188)$$

Допустимую предельную кратность вторичной обмотки ТТ для защиты при фактической расчетной нагрузке следует определять по формуле:

$$k_{10доп} = k_{10ном} \cdot \frac{Z_{ном.ТТ} + R_{втор.ТТ}}{Z_{н.расч} + R_{втор.ТТ}} \qquad (3.189)$$

Условие обеспечения 10%-ной погрешности ТТ для вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей устройство **«Алтей»** или **«Лютик»**, имеет вид:

$$k_{10доп} \geq k_{10расч} \qquad (3.190)$$

где $k_{10доп}$ определяется при расчетной внешней нагрузке вторичной цепи ТТ $Z_{н.расч}$, соответствующей подключению устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**.

Указанное условие применяется как при раздельном подключении устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО к разным вторичным обмоткам ТТ для защиты, так и для режима до дешунтирования ТЭО при питании устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО от одной вторичной обмотки ТТ для защиты.

Для вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей только ТЭО после дешунтирования, условие обеспечения 10%-ной погрешности имеет вид:

$$k_{10доп.ТЭО} \geq k_{10расч.ТЭО} \qquad (3.191)$$

где $k_{10доп.ТЭО}$ определяется при расчетной внешней нагрузке вторичной цепи ТТ $Z_{н.расч}$, соответствующей подключению ТЭО после дешунтирования.

При питании устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО от одной вторичной обмотки ТТ для защиты проверку указанной обмотки следует выполнять для двух расчетных режимов. Для режима до дешунтирования ТЭО должно выполняться условие:

$$k_{10доп.до} \geq k_{10расч.до} \qquad (3.192)$$

для режима после дешунтирования ТЭО должно выполняться условие:

$$k_{10доп.после} \geq k_{10расч.после} \qquad (3.193)$$

где $k_{10доп.до}$ определяется при расчетной внешней нагрузке вторичной цепи ТТ до дешунтирования ТЭО, а $k_{10доп.после}$ – при расчетной внешней нагрузке вторичной цепи ТТ после дешунтирования ТЭО.

Если указанные условия выполняются, вторичная обмотка ТТ для защиты обеспечивает работу с погрешностью не более 10 % при принятой расчетной нагрузке вторичной цепи.

Если условие обеспечения 10%-ной погрешности не выполняется для режима питания устройства РЗА до дешунтирования ТЭО, следует рассмотреть применение ТТ с большей номинальной нагрузкой или большей номинальной предельной кратностью, увеличение сечения соединительных проводов, уменьшение вторичной нагрузки либо подключение устройства РЗА к другой вторичной обмотке ТТ для защиты.

Если условие обеспечения 10%-ной погрешности не выполняется для режима после дешунтирования ТЭО, возможность применения схемы должна рассматриваться отдельно по данным завода-изготовителя выключателя, ТТ и принятой схеме переменного оперативного тока. В настоящем подразделе основной расчет выполняется по условию обеспечения 10%-ной погрешности ТТ. Если для режима после дешунтирования ТЭО указанное условие не выполняется, возможность применения схемы допускается оценивать по уточняющей проверке чувствительности ТЭО с учетом действительной токовой погрешности ТТ по [162].

3.13.5.2 Проверка по кривым предельной кратности ТТ

При проверке по кривым предельной кратности ТТ следует использовать кривую, соответствующую проверяемой вторичной обмотке ТТ для защиты.

Паспортный параметр $K_{10ном}$ следует использовать для выбора кривой предельной кратности, соответствующей проверяемой вторичной обмотке ТТ для защиты. В заводской документации и на графиках КПК указанный параметр может обозначаться как $K_{ном}$.

Расчетную нагрузку $Z_{н.расч}$, определенную по таблице 3.29, следует приводить к вторичной нагрузке:

$$S_{н.расч} = I^2_{втор.ном.ТТ} \cdot Z_{н.расч} \quad (3.194)$$

где

$S_{н.расч}$ ВА расчетная вторичная нагрузка вторичной обмотки ТТ для защиты

$Z_{н.расч}$ Ом расчетная внешняя нагрузка вторичной цепи ТТ, определяемая по таблице 3.29

При проверке вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей устройство **«Алтей»** или **«Лютик»**, расчетную предельную кратность $K_{10расч}$ следует принимать по **3.13.5.1**. По значению $K_{10расч}$ на выбранной КПК следует определить допустимую вторичную нагрузку $S_{н.доп}$.

Условие обеспечения 10%-ной погрешности ТТ при проверке по кривой предельной кратности имеет вид:

$$S_{н.расч} \le S_{н.доп} \quad (3.195)$$

где

$S_{н.доп}$ ВА определяется по выбранной КПК, соответствующей паспортному значению $K_{10ном}$, для расчетной предельной кратности $K_{10расч}$

Эквивалентно указанное условие может быть проверено по значению $K_{10доп}$, определяемому по той же КПК для $S_{н.расч}$:

$$k_{10доп} \ge k_{10расч} \quad (3.196)$$

Для вторичной обмотки ТТ для защиты, питающей только ТЭО после дешунтирования, проверку по кривой предельной кратности следует выполнять при расчетной нагрузке вторичной цепи после дешунтирования ТЭО. При этом $Z_{цеп}$, входящее в формулы таблицы 3.29, следует принимать по формуле (3.184), а расчетную предельную кратность — равной $K_{10расч.ТЭО}$, определенной по **3.13.5.1**.

При питании устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** и ТЭО от одной вторичной обмотки ТТ для защиты проверку по кривой предельной кратности следует выполнять раздельно для двух расчетных режимов:

- до дешунтирования ТЭО — при $Z_{цеп}$, определяемом по формуле (3.183), и расчетной предельной кратности $K_{10расч.до}$, определяемой по расчетному току $I_{перв.расч}$ в соответствии с **3.13.5.1**;
- после дешунтирования ТЭО — при $Z_{цеп}$, определяемом по формуле (3.185), и расчетной предельной кратности $K_{10расч.после}$, определяемой по расчетному току $I_{перв.расч.ТЭО}$ в соответствии с **3.13.5.1**.

Для указанных режимов должны выполняться условия:

$$S_{н.расч.до} \le S_{н.доп.до} \quad (3.197)$$

$$S_{н.расч.после} \le S_{н.доп.после} \quad (3.198)$$

Эквивалентно допускается проверять условия:

$$k_{10доп.до} \ge k_{10расч.до} \quad (3.199)$$

$$k_{10доп.после} \ge k_{10расч.после} \quad (3.200)$$

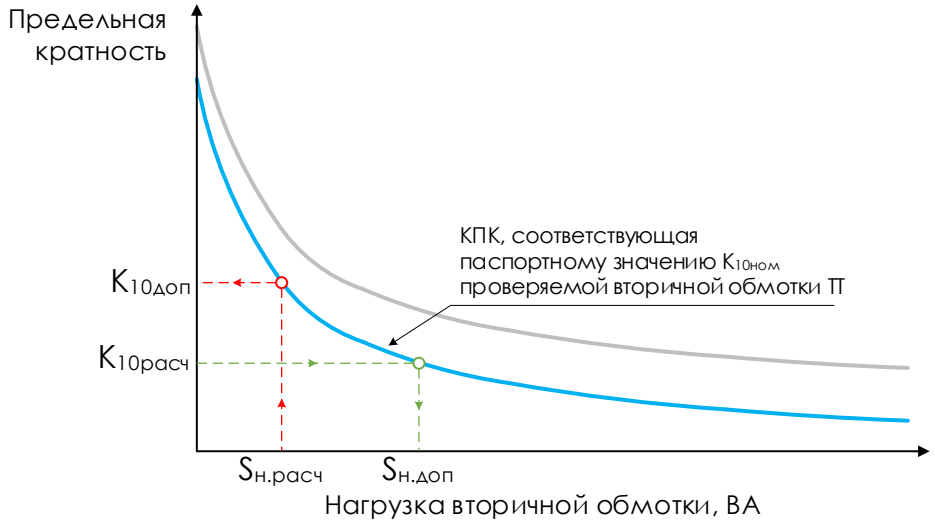


Рисунок 3.26. Определение допустимой вторичной нагрузки и допустимой предельной кратности вторичной обмотки ТТ для защиты по кривой предельной кратности

Проверку по кривой предельной кратности следует выполнять после определения расчетной внешней нагрузки $Z_{н.расч}$ по таблице 3.29. Графическое пояснение определения $S_{н.доп}$ и $K_{10доп}$ приведено на рисунке 3.26. Проверку следует выполнять в следующей последовательности:

- по паспортному значению $K_{10ном}$ выбирается соответствующая кривая предельной кратности
- по значению расчетной предельной кратности $K_{10расч}$ на выбранной КПК определяется допустимая вторичная нагрузка $S_{н.доп}$;
- расчетная внешняя нагрузка $Z_{н.расч}$, определенная по таблице 3.29, приводится к вторичной нагрузке $S_{н.расч}$;
- по значению $S_{н.расч}$ на выбранной КПК определяется допустимая предельная кратность $K_{10доп}$;
- проверяется выполнение условия $S_{н.расч} \le S_{н.доп}$, что эквивалентно условию $K_{10доп} \ge K_{10расч}$.

Если условие обеспечения 10%-ной погрешности по КПК не выполняется, следует рассмотреть мероприятия, указанные для соответствующего расчетного режима в **3.13.5.1**. Для режима после дешунтирования ТЭО возможность применения схемы допускается оценивать по уточняющей проверке чувствительности ТЭО с учетом действительной токовой погрешности ТТ по **3.13.5.3**.

3.13.5.3 Проверка чувствительности ТЭО

Проверку чувствительности ТЭО следует выполнять для схем с дешунтированием ТЭО после проверки вторичной обмотки ТТ для защиты на 10%-ную погрешность по **3.13.5.1** или **3.13.5.2**.

Значение $I_{перв.расч.ТЭО}$, используемое при проверке вторичной обмотки ТТ для защиты на 10%-ную погрешность, при определении коэффициента чувствительности ТЭО не используется.

Если для режима после дешунтирования ТЭО выполняется условие обеспечения 10%-ной погрешности ТТ, коэффициент чувствительности ТЭО следует определять без учета токовой погрешности ТТ по выражению [**162**]:

$$k_{ч.ТЭО} = \frac{k_{сх.ТЭО} \cdot I_{кз.мин}}{k_{ТТ} \cdot I_{с.ТЭО}} \quad (3.201)$$

где

$I_{кз.мин}$ А минимальный первичный ток КЗ в расчетном режиме, приведенный к стороне установки ТТ

$k_{сх.ТЭО}$ – коэффициент схемы, учитывающий отношение тока в ТЭО к вторичному току ТТ в рассматриваемом расчетном режиме проверки чувствительности ТЭО

$k_{ТТ}$ – коэффициент трансформации ТТ

$I_{с.ТЭО}$ А ток срабатывания ТЭО

Для схемы полной звезды и для схемы неполной звезды при КЗ между фазами, в которые включены ТЭО, следует принимать $k_{сх.ТЭО}$=1. Для трансформатора Y/Δ-11 при включении ТЭО в фазах А и С в расчетном режиме двухфазного КЗ за трансформатором следует принимать $k_{сх.ТЭО}$=0,5, что учитывает неблагоприятное токораспределение для двухрелейной схемы неполной звезды.

Минимальное значение коэффициента чувствительности ТЭО, определяемое для обеспечения его надежного срабатывания, следует принимать приблизительно на 20 % больше значения коэффициента чувствительности, требуемого для соответствующей защиты [162]. Условие обеспечения чувствительности ТЭО имеет вид:

$$k_{ч.ТЭО} \geq k_{ч.ТЭО.треб} \quad (3.202)$$

Требуемое значение коэффициента чувствительности ТЭО следует определять по формуле:

$$k_{ч.ТЭО.треб} = k_{пов.ТЭО} \cdot k_{ч.треб} \quad (3.203)$$

где

$k_{пов.ТЭО}$ – повышающий коэффициент для проверки чувствительности ТЭО, принимаемый равным 1,2 по условию [100, п. 3.2.24]

$k_{ч.треб}$ – минимальное значение коэффициента чувствительности, принимаемое для соответствующей защиты

В частности, для ТО и МТЗ при КЗ в основной зоне $k_{ч.треб}$ следует принимать равным 1,5, при КЗ в зоне резервирования – 1,2 [100, п. 3.2.21]. С учетом повышающего коэффициента $k_{пов.ТЭО}$=1,2 для ТЭО следует принимать: при КЗ в основной зоне $k_{ч.ТЭО.треб}$=1,8, при КЗ в зоне резервирования – 1,44.

Если для режима после дешунтирования ТЭО условие обеспечения 10%-ной погрешности ТТ не выполняется, допускается выполнять уточняющую проверку чувствительности ТЭО с учетом действительной токовой погрешности ТТ по формуле [162]:

$$k_{ч.ТЭО} = \frac{k_{сх.ТЭО} \cdot I_{кз.мин} \cdot \left(1 - \frac{f}{100}\right)}{k_{ТТ} \cdot I_{с.ТЭО}} \quad (3.204)$$

где

f % действительная токовая погрешность, определяемая для режима после дешунтирования ТЭО при расчетной нагрузке вторичной цепи ТТ

Уточняющую проверку следует выполнять при наличии данных, позволяющих определить действительную токовую погрешность ТТ. Значение $I_{перв.расч.ТЭО}$ может использоваться для определения расчетной кратности, при которой определяется действительная токовая погрешность ТТ f.

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** после формирования команды отключения дальнейшее отключающее воздействие обеспечивается алгоритмом **«Отключение»**, а при применении модуля дешунтирования **«iD»** – фиксированной длительностью команды управления указанным модулем. Поэтому допустимую токовую погрешность ТТ для измерительного органа устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** после дешунтирования отдельно не вводят. Действительная токовая погрешность ТТ f может учитываться при уточняющей проверке чувствительности ТЭО по формуле (3.204).

3.14 РАСЧЕТ УСТАВОК ЗАЩИТЫ ОТ ОБРЫВА ФАЗЫ И НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗКИ

3.14.1 Общие сведения

Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (далее – ЗОФ) предназначена для выявления неполнофазных режимов работы присоединения и несимметрии нагрузки. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** ЗОФ может применяться для защиты электродвигателей и другого оборудования от неполнофазного режима работы, а также для сигнализации обрыва фаз на линиях электропередачи и появления несимметричной нагрузки.

Необходимость применения защиты от неполнофазного режима должна рассматриваться с учетом схемы питания, характера нагрузки и последствий длительной работы оборудования при обрыве одной из фаз. В соответствии с ПУЭ при

применении предохранителей или открытых плавких вставок, в зависимости от уровня несимметрии в неполнофазном режиме и характера питаемой нагрузки, следует рассматривать необходимость установки на приемной подстанции защиты от неполнофазного режима [100, п.3.2.3].

ЗОФ реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки»**, основные параметры которого приведены в таблице 3.30.

Таблица 3.30. Алгоритм «Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Входная величина $\mathbf{I_2/I_1}$	+	+	+	+	+
Входная величина $\mathbf{I_2}$	+	+	+	+	+
Направленность	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.31.

Таблица 3.31. Уставки алгоритма «Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ)							
kI2 зоф	–	0,5	0,02	1	0,01	0,95	ЗОФ - уставка относительного тока срабатывания
Тзоф	с	1	0,1	60	0,01	-	Задержка срабатывания ЗОФ
I2 зоф	А	1	0,04	10	0,01	0,95	ЗОФ - уставка тока срабатывания I2
Фмч ОП	град	-90	-180	0	1	-	Угол максимальной чувствительности реле направления мощности обратной последовательности

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.32.

Таблица 3.32. Уставки алгоритма «Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ)							
kI2 зоф	–	0,5	0,02	1	0,01	0,95	ЗОФ - уставка относительного тока срабатывания
Тзоф	с	1	0,1	60	0,01	-	Задержка срабатывания ЗОФ
I2 зоф	А	1	0,04	10	0,01	0,95	ЗОФ - уставка тока срабатывания I2
Фмч ОП	град	-90	-180	0	1	-	Угол максимальной чувствительности реле направления мощности обратной последовательности

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.33.

Таблица 3.33. Уставки алгоритма «Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ)» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ)							
kI2 зоф	–	0,5	0,05	1	0,01	0,95	ЗОФ - уставка относительного тока срабатывания
Тзоф	с	5	0	100	0,01	-	Задержка срабатывания ЗОФ
I2 зоф	А	0,5	0,2	20	0,01	0,95	ЗОФ - уставка тока срабатывания I2

Расчет уставок ЗОФ выполняется в зависимости от выбранного режима работы алгоритма: по отношению тока обратной последовательности к току прямой последовательности I_2/I_1 либо по току обратной последовательности I_2. При расчете

используются максимальные значения I_2/I_1 или I_2 в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах, а также минимальные расчетные значения указанных величин при обрыве фазы или несимметрии нагрузки, для выявления которых вводится защита.

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

3.14.2 Расчет уставок

Расчет уставок ЗОФ следует выполнять в зависимости от выбранного режима работы алгоритма. При работе ЗОФ по отношению тока обратной последовательности к току прямой последовательности используется уставка **«kI2 зоф»**. При работе ЗОФ по току обратной последовательности используется уставка **«I2 зоф»**.

Режим работы по отношению I_2/I_1 следует применять преимущественно для выявления обрыва фазы и неполнофазного режима на нагруженном присоединении. Указанный режим позволяет оценивать не абсолютное значение тока обратной последовательности, а степень несимметрии тока относительно тока прямой последовательности. Поэтому его применение целесообразно в случаях, когда значение нагрузки может существенно изменяться, а расчетным признаком контролируемого режима является увеличение отношения I_2/I_1.

Режим работы по току обратной последовательности I_2 следует применять для выявления несимметрии нагрузки или неполнофазного режима в случаях, когда расчетом или эксплуатационными данными подтверждается достаточное отличие тока обратной последовательности в контролируемом ненормальном режиме от тока обратной последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах.

При выборе режима работы ЗОФ следует учитывать, что неполнофазный режим является режимом продольной несимметрии. При таком режиме в сети возникают составляющие обратной последовательности, а в зависимости от схемы сети и режима заземления нейтрали — также составляющие нулевой последовательности [**153**].

Значение уставки **«kI2 зоф»** следует выбирать по условию отстройки от наибольшего значения отношения тока обратной последовательности к току прямой последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах:

$$\text{kI2 зоф} \geq k_{\text{отс}} \cdot \left(\frac{I_2}{I_1}\right)_{\text{раб.макс}} \tag{3.205}$$

где

$k_{\text{отс}}$ — коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2

$\left(\frac{I_2}{I_1}\right)_{\text{раб.макс}}$ — наибольшее расчетное значение отношения тока обратной последовательности к току прямой последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах

При отсутствии достоверных расчетных или эксплуатационных данных значение уставки **«kI2 зоф»** допускается принимать:

$$\text{kI2 зоф} \geq 0{,}1 \tag{3.206}$$

Значение уставки **«I2 зоф»** следует выбирать по условию отстройки от наибольшего значения тока обратной последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах:

$$\text{I2 зоф} \geq k_{\text{отс}} \cdot I_{2.\text{раб.макс}} \tag{3.207}$$

где

$k_{\text{отс}}$ — коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2

$I_{2.\text{раб.макс}}$ А наибольшее расчетное значение тока обратной последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах

При отсутствии достоверных расчетных или эксплуатационных данных о значении $I_{2.\text{раб.макс}}$ значение уставки **«I2 зоф»** допускается принимать:

$$\text{I2 зоф} \geq 0{,}1 \cdot I_{\text{раб.макс}} \tag{3.208}$$

где

$I_{\text{раб.макс}}$ А максимальный рабочий ток защищаемого присоединения

Для ЗОФ, применяемой для выявления обрыва фазы на нагруженной линии, допускается выполнять проверку выявляемости неполнофазного режима по расчетному значению I_2/I_1 или I_2 в контролируемом режиме.

Коэффициент чувствительности ЗОФ при работе по отношению тока обратной последовательности к току прямой последовательности следует определять по формуле:

$$k_{ч.зоф}=\frac{\left(\frac{I_2}{I_1}\right)_{мин}}{kI2\ зоф} \quad (3.209)$$

где

$\left(\frac{I_2}{I_1}\right)_{мин}$ – минимальное расчетное значение отношения тока обратной последовательности к току прямой последовательности при обрыве фазы или неполнофазном режиме, для выявления которого вводится ЗОФ

Коэффициент чувствительности ЗОФ при работе по току обратной последовательности следует определять по формуле:

$$k_{ч.зоф}=\frac{I_{2.мин}}{I2\ зоф} \quad (3.210)$$

где

$I_{2.мин}$ А минимальное расчетное значение тока обратной последовательности при обрыве фазы, неполнофазном режиме или несимметрии нагрузки, для выявления которых вводится ЗОФ

ПУЭ не устанавливают специальных требований к коэффициенту чувствительности защиты от обрыва фазы и несимметрии нагрузки. При оценке чувствительности ЗОФ, реализуемой по токовым величинам обратной последовательности, следует руководствоваться общими требованиями ПУЭ к токовым органам, включенным на составляющие обратной или нулевой последовательностей.

Коэффициент чувствительности ЗОФ должен соответствовать следующим требованиям.

С учетом общего требования ПУЭ [**100**, п. 3.2.21] к чувствительности основных защит:

- около 1,5 – для токовых органов защит, включенных на составляющие обратной или нулевой последовательностей.

С учетом общего требования ПУЭ [**100**, п. 3.2.25] к чувствительности резервных защит:

- 1,2 – для резервных защит при КЗ в конце смежного элемента.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 14]:

- 1,5 – для измерительных органов тока защит, в том числе включенных на составляющие обратной или нулевой последовательностей, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента энергосистемы.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 15]:

- 1,2 – для измерительных органов тока защит, выполняющих функции дальнего резервирования.

При отсутствии специальных требований значение коэффициента чувствительности ЗОФ следует принимать:

- $k_{ч.зоф} \geq 1{,}5$ – если ЗОФ предусматривается как защита оборудования от длительной работы в неполнофазном режиме с действием на отключение;
- $k_{ч.зоф} \geq 1{,}2$ – если ЗОФ применяется для выявления обрыва фазы на нагруженной линии, технологического контроля несимметрии нагрузки или действия на предупредительную сигнализацию.

Значение уставки **«Тзоф»** следует выбирать по условию отстройки от времени действия защит от КЗ смежных элементов при внешних несимметричных КЗ, сопровождающихся появлением токов обратной последовательности, а при наличии электродвигательной нагрузки – также по условию отстройки от кратковременной несимметрии при пуске и самозапуске электродвигателей.

По условию согласования с защитами смежных элементов значение уставки **«Тзоф»** следует выбирать по формуле:

$$Тзоф \geq t_{сз.смеж} + \Delta t \quad (3.211)$$

где

$t_{сз.смеж}$	с	наибольшая выдержка времени защит от КЗ и защит по обратной последовательности смежных элементов, от действия которых должна быть отстроена ЗОФ
Δt	с	ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

При выборе $t_{с.з.смеж}$ следует учитывать защиты от междуфазных КЗ смежных элементов, в том числе ТО, МТЗ, дистанционные и токовые защиты обратной последовательности, если при расчетных внешних несимметричных КЗ токовые величины I_2/I_1 или I_2 в месте установки ЗОФ превышают выбранные уставки. Если расчетом подтверждено отсутствие пуска ЗОФ при внешних КЗ на смежных элементах, условие согласования с защитами указанных элементов допускается не учитывать.

При наличии электродвигателей, пуск или самозапуск которых сопровождается кратковременным увеличением тока обратной последовательности или отношения I_2/I_1, значение уставки **«Тзоф»** дополнительно следует проверять по условию:

$$Тзоф \geq k_{отс.пуск} \cdot t_{пуск.макс} \quad (3.212)$$

где

$k_{отс.пуск}$	–	коэффициент отстройки
$t_{пуск.макс}$	с	наибольшая расчетная продолжительность пуска или самозапуска электродвигателей, при которой возможно превышение выбранной токовой уставки ЗОФ

Окончательное значение уставки **«Тзоф»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (3.211) и (3.212).

Значение коэффициента $k_{отс.пуск}$ следует принимать равным:

- 1,2 – при использовании фактического времени пуска или самозапуска, определенного по осциллограммам, регистраторам аварийных событий или данным эксплуатации;
- 1,4 – при определении времени пуска или самозапуска только по технической документации на двигатель и механизм, без фактических замеров.

Применение ЗОФ по току обратной последовательности в качестве дополнительной защиты для повышения чувствительности к несимметричным КЗ допускается рассматривать только при специальном расчетном обосновании. В этом случае должны быть выполнены отстройка от тока обратной последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах, отстройка или согласование с защитами смежных элементов при внешних несимметричных КЗ, а также проверка чувствительности при расчетном виде несимметричного КЗ. Расчет такой защиты следует выполнять как расчет токовой защиты обратной последовательности, а не как расчет ЗОФ для выявления обрыва фазы и несимметрии нагрузки.

Особенности расчета уставок «I2 зоф» и «Тзоф» для защиты электродвигателя от неполнофазного режима

ЗОФ при работе по току обратной последовательности может применяться для защиты электродвигателя от длительной работы в неполнофазном режиме. Неполнофазный режим электродвигателя сопровождается появлением тока обратной последовательности, вызывающего дополнительный нагрев ротора и механические вибрации [74, 139].

Значение уставки **«I2 зоф»** для защиты электродвигателя от неполнофазного режима следует выбирать по условию отстройки от тока обратной последовательности в нормальном режиме работы электродвигателя:

$$I2\ зоф \geq k_н \cdot \varepsilon_{дв} \cdot I_{ном.дв} \quad (3.213)$$

где

$k_н$	–	коэффициент надежности отстройки, принимаемый равным 1,5
$\varepsilon_{дв}$	–	коэффициент несимметрии по току в нормальном режиме работы электродвигателя, учитывающий несимметрию линейных напряжений, неидентичность сопротивлений фаз электродвигателя и погрешности ТТ
$I_{ном.дв}$	А	номинальный ток электродвигателя

При отсутствии расчетных или эксплуатационных данных о длительно возможном токе обратной последовательности в нормальном режиме работы электродвигателя допускается принимать:

$$\varepsilon_{дв} = 0{,}1 \quad (3.214)$$

В этом случае значение уставки **«I2 зоф»** допускается принимать равным:

$$I2\ зоф = 0{,}15 \cdot I_{ном.дв} \quad (3.215)$$

При наличии данных о повышенной несимметрии напряжений, несимметрии сопротивлений фаз электродвигателя, повышенной погрешности ТТ либо особенностях режима работы электродвигателя значение $\varepsilon_{дв}$ следует уточнять расчетом или по эксплуатационным данным.

Дополнительную проверку коэффициента чувствительности ЗОФ для защиты электродвигателя от неполнофазного режима допускается не выполнять, если уставка **«I2 зоф»** выбрана по формуле (3.213) или (3.215), а схема питания электродвигателя не имеет особенностей, существенно влияющих на ток обратной последовательности при обрыве фазы. При наличии таких особенностей, а также при необходимости подтверждения действия защиты при малой нагрузке электродвигателя, минимальное значение тока обратной последовательности при неполнофазном режиме следует определять отдельным расчетом.

Значение уставки **«Тзоф»** для защиты электродвигателя от неполнофазного режима следует выбирать с учетом отстройки от кратковременного увеличения тока обратной последовательности при пуске и самозапуске электродвигателя. Расчет выдержки времени по указанному условию следует выполнять по формуле (3.212).

Если в питающей сети электродвигателя предусмотрены устройства РЗА или автоматики, предназначенные для ликвидации внешнего несимметричного режима, при котором возможен пуск ЗОФ электродвигателя, значение уставки **«Тзоф»** допускается дополнительно проверять по условию согласования с временем ликвидации указанного режима:

$$Тзоф \geq t_{несим} + t_{зап} \quad (3.216)$$

где

$t_{несим}$ – с – наибольшее время ликвидации внешнего несимметричного режима устройствами РЗА или автоматики питающей сети, при котором возможен пуск ЗОФ защищаемого присоединения

$t_{зап}$ – с – время запаса, допускается принимать равным 1 с

В частности, если в схеме электроснабжения электродвигателя предусмотрено устройство АВР с пусковым органом по напряжению обратной последовательности, в качестве $t_{несим}$ в формуле (3.216) следует принимать выдержку времени указанного пускового органа АВР.

Условие согласования по формуле (3.216) следует учитывать только в том случае, если его выполнение не приводит к недопустимому увеличению времени работы электродвигателя в неполнофазном режиме. Если выполнение указанного условия может привести к повреждению электродвигателя, условие согласования с временем ликвидации внешнего несимметричного режима допускается не принимать определяющим.

Особенности применения ЗОФ для защиты БСК от несимметрии токов

ЗОФ при работе по току обратной последовательности может применяться для защиты БСК от несимметрии токов, обусловленной нарушением симметрии фазных токов БСК, внутренними повреждениями элементов БСК, несимметричными КЗ в БСК, а также для резервирования действия быстродействующих защит БСК при указанных повреждениях.

Для защиты БСК от несимметрии токов следует применять ЗОФ по току обратной последовательности с использованием уставки **«I2 зоф»**. Применение уставки **«kI2 зоф»** для указанной цели, как правило, нецелесообразно, поскольку для БСК определяющим является абсолютное значение тока обратной последовательности, протекающего через фазные ТТ присоединения БСК.

Значение уставки **«I2 зоф»** следует выбирать по условию отстройки от максимального расчетного значения тока обратной последовательности в нормальных и допустимых эксплуатационных режимах БСК по формуле:

$$I2\ зоф \geq k_{отс} \cdot \varepsilon_{БСК} \cdot k_{U.доп.БСК} \cdot I_{ном.БСК} \quad (3.217)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый равным 1,2

$\varepsilon_{БСК}$ – коэффициент токовой несимметрии нормального режима БСК; при отсутствии уточняющего расчета допускается принимать из диапазона 0,1–0,2

$k_{U.доп.БСК}$ – коэффициент, учитывающий допустимое повышение напряжения на единичном конденсаторе БСК; с учетом требований ПУЭ к длительно допустимому напряжению на единичных конденсаторах БСК [**100**, п. 5.6.8, п. 5.6.9, п. 5.6.17] принимается равным 1,1. При наличии в документации производителя БСК или конденсаторов меньшего допустимого значения напряжения значение данного коэффициента следует принимать по указанной документации

$I_{ном.БСК}$ – А – номинальный ток БСК

Если ЗОФ БСК применяется с действием на отключение для защиты БСК от несимметричных КЗ либо для резервирования действия быстродействующих защит БСК, чувствительность выбранного значения уставки **«I2 зоф»** следует проверять по формуле (3.210). При этом в качестве расчетного тока обратной последовательности следует принимать минимальное

значение I_2, протекающее через фазные ТТ присоединения БСК при расчетном несимметричном КЗ в зоне действия или резервирования защиты. Требуемое значение коэффициента чувствительности следует принимать по требованиям, приведенным после формулы (3.210).

При применении ЗОФ БСК только для предупредительной сигнализации о несимметрии токов БСК проверку чувствительности по расчетному КЗ допускается не выполнять.

Значение уставки **«Тзоф»** при применении ЗОФ для защиты БСК от несимметрии токов следует выбирать по условию согласования с временем ликвидации внешнего несимметричного режима, при котором возможен пуск ЗОФ БСК, по формуле (3.216).

При этом в качестве $t_{несим.макс}$ следует принимать наибольшее время действия защит или автоматики смежных элементов, предназначенных для ликвидации внешнего несимметричного КЗ или иного внешнего несимметричного режима, при котором возможен пуск ЗОФ БСК.

Если ЗОФ БСК применяется для резервирования действия быстродействующих защит БСК при внутренних несимметричных КЗ, отдельное условие согласования по времени с указанными быстродействующими защитами допускается не вводить.

Расчет уставки «Фмч ОП»

Значение уставки **«Фмч ОП»** следует выбирать как угол напряжения обратной последовательности относительно тока обратной последовательности при расчетном несимметричном КЗ в направлении действия защиты. Расчет уставки следует выполнять по формуле:

$$\text{Фмч ОП} = \frac{180}{\pi} \cdot \text{arctg}\left(\frac{X_{2.расч}}{R_{2.расч}}\right) - 180 \text{ [град]} \quad (3.218)$$

где

$R_{2.расч}$, $X_{2.расч}$	Ом	соответственно активная и реактивная составляющие расчетного сопротивления обратной последовательности от места установки защиты до расчетной точки несимметричного КЗ в направлении действия защиты

При отсутствии уточненных расчетных данных, а также при преобладании индуктивной составляющей сопротивления обратной последовательности $U_2 \approx -jX_2 \cdot I_2$, поэтому $\arg(U_2/I_2)$ составляет около −90°. В этом случае уставку **«Фмч ОП»** допускается принимать равной:

$$\text{Фмч ОП} = -90 \text{ [град]} \quad (3.219)$$

3.15 РАСЧЕТ УСТАВОК ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ И ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

3.15.1 Общие сведения

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются одним из наиболее распространенных видов повреждений в распределительных электрических сетях 6–35 кВ[1]. В сетях с изолированной, компенсированной нейтралью, а также с высокоомным резистивным и комбинированным заземлением нейтрали ток ОЗЗ, как правило, существенно меньше тока междуфазного КЗ, однако длительное существование ОЗЗ может приводить к развитию повреждения изоляции, возникновению дуговых прерывистых замыканий, переходу ОЗЗ в двойные и многоместные замыкания, а также к нарушению селективности действия защит. В соответствии с ПУЭ [**100**, п. 1.2.16] работа электрических сетей напряжением 2–35 кВ может предусматриваться с изолированной нейтралью, с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор, заземленной через резистор либо через дугогасящий реактор и резистор. Режим заземления нейтрали определяет характер электромагнитных процессов при ОЗЗ, значение и состав тока повреждения, уровень перенапряжений, требования к защите от ОЗЗ, принципы ее выполнения и способ действия — на сигнал или на отключение [**161**, **166**, **173**, **176**, **177**].

Наиболее опасными для изоляции и для устойчивости функционирования защит являются дуговые прерывистые и перемежающиеся ОЗЗ, при которых возможны переходные перенапряжения на неповрежденных фазах, появление высоко-

[1] В [**80**] указывается, что в распределительных сетях 6–35 кВ ОЗЗ составляют не менее 75% от общего числа повреждений.

частотных составляющих в токах и напряжениях нулевой последовательности, а также переход ОЗЗ в двойные и многоместные замыкания. Значение и характер перенапряжений при дуговых ОЗЗ зависят от режима заземления нейтрали, конфигурации сети, места повреждения, места измерения перенапряжений и параметров переходного процесса [62, 176, 177].

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.96] защита от однофазных замыканий на землю должна быть выполнена в виде:

- селективной защиты, устанавливающей поврежденное направление и действующей на сигнал;
- селективной защиты, устанавливающей поврежденное направление и действующей на отключение, когда это необходимо по требованиям безопасности; при этом защита должна быть установлена на питающих элементах во всей электрически связанной сети
- устройства контроля изоляции; при этом отыскание поврежденного элемента должно осуществляться специальными устройствами, либо, если это допускается условиями эксплуатации, поочередным отключением присоединений.

Защиту от ОЗЗ следует выполнять, как правило, с использованием трансформаторов тока нулевой последовательности. Защита в первую очередь должна реагировать на установившиеся замыкания на землю; допускается также применение устройств, регистрирующих кратковременные замыкания без обеспечения повторности действия [100, п. 3.2.97].

В электрических сетях напряжением 6–10 кВ действие защиты от ОЗЗ, как правило, выполняется на сигнал. Такое решение позволяет при соответствующей организации эксплуатации выявить поврежденный элемент и отключить его без нарушения электроснабжения потребителей [161, 176]. В электрических сетях, где по условиям электробезопасности или по условиям сохранности оборудования требуется немедленное устранение замыкания на землю, действие защиты от ОЗЗ следует выполнять на отключение [100, п. 3.2.96]. Для линий 20 и 35 кВ в сетях с изолированной нейтралью также должны предусматриваться устройства защиты от ОЗЗ; способ действия защиты следует выбирать с учетом требований ПУЭ, режима нейтрали и условий эксплуатации сети [100, п. 3.2.98, п. 3.2.99].

Для кабельных сетей 6–35 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена при выборе способа действия защиты от ОЗЗ следует дополнительно учитывать повышенные требования к ограничению перенапряжений, длительности воздействия линейного напряжения на неповрежденные фазы, а также возможность развития повреждения при дуговом характере замыкания. В таких сетях, особенно при резистивном или комбинированном заземлении нейтрали, при наличии технической возможности обеспечения селективности следует рассматривать действие защиты от ОЗЗ на отключение [62, 173].

Для ВЛ и КЛ 6(10) кВ, питающих протяженные технологические объекты, в том числе объекты предприятий нефтяного сектора, трубопроводного транспорта и иных производств с распределенной линейной инфраструктурой, защиту от ОЗЗ следует выполнять с учетом требований проектной и эксплуатационной документации объекта. При необходимости отключения поврежденного элемента значение выдержки времени защиты от ОЗЗ следует выбирать по условиям селективности и допустимого времени отключения ОЗЗ, установленного для соответствующего объекта.

Выбор принципа выполнения защиты от ОЗЗ не может быть универсальным для всех сетей 6–35 кВ. Он должен выполняться с учетом режима заземления нейтрали, суммарного емкостного тока сети, собственного емкостного тока защищаемого присоединения, наличия и типа ТТНП, схемы формирования напряжения $3U_0$, ожидаемого переходного сопротивления в месте повреждения, характера ОЗЗ, требований к действию защиты и функциональных возможностей применяемого устройства [161, 166, 170, 171, 176].

Переходное сопротивление в месте ОЗЗ может существенно уменьшать ток и напряжение нулевой последовательности и ухудшать чувствительность токовых и направленных защит; его влияние должно учитываться при определении минимальных расчетных значений $3I_0$ и $3U_0$, используемых для проверки чувствительности. Указанное особенно важно для воздушных линий, сетей с большим переходным сопротивлением в месте повреждения, а также для случаев падения провода на грунт, снег, лед или другие поверхности с переменным сопротивлением [64, 172].

Контроль напряжения нулевой последовательности $3U_0$ позволяет выявить наличие ОЗЗ в электрически связанной сети, однако сам по себе не обеспечивает выбора поврежденного присоединения при измерении $3U_0$ от шинного ТН. Поэтому контроль $3U_0$ может применяться для фиксации факта возникновения ОЗЗ в электрически связанной сети и не обеспечивает самостоятельного определения поврежденного присоединения; в составе селективной защиты он может использоваться в качестве условия пуска или разрешения работы, а также для контроля изоляции сети [100, п. 3.2.96; 161, 176].

Ненаправленная токовая защита нулевой последовательности, реагирующая на ток $3I_0$ промышленной частоты, может применяться в сетях с изолированной нейтралью или с нейтралью, заземленной через резистор при наличии достаточного тока повреждения и возможности отстройки от собственного емкостного тока присоединения, токов небаланса ТТНП и переходных процессов. Значение тока срабатывания такой защиты следует выбирать по условию отстройки от тока, протекающего через защищаемое присоединение при внешнем ОЗЗ, с последующей проверкой чувствительности при ОЗЗ на защищаемом присоединении [170, 176].

Распределение емкостных токов и токов $3I_0$, измеряемых ТТНП, при ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью приведено на рисунке 3.27. При ОЗЗ на защищаемом присоединении через ТТНП поврежденного присоединения протекает ток, определяемый емкостями остальной электрически связанной сети. При внешнем ОЗЗ через ТТНП неповрежденного присоединения протекает его собственный емкостный ток. Указанное распределение токов определяет необходимость отстройки ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности от собственного емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ [170, 176].

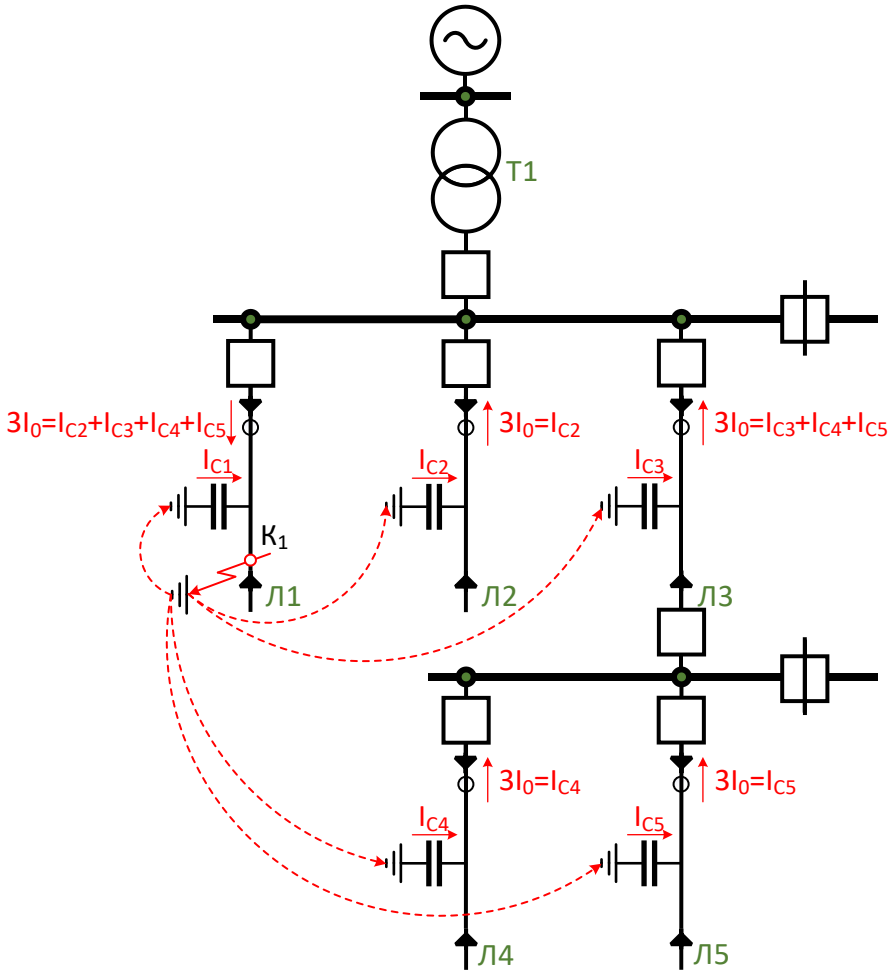


Рисунок 3.27. Распределение емкостных токов и токов $3I_0$, измеряемых ТТНП, при ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью

В компенсированных сетях применение ненаправленных токовых защит промышленной частоты ограничено, поскольку дугогасящий реактор уменьшает основную гармонику тока ОЗЗ и может ухудшать условия селективного действия защиты. В таких сетях для повышения селективности и чувствительности могут применяться защиты, использующие активную составляющую тока нулевой последовательности, направление мощности нулевой последовательности, высшие гармоники, наложенный ток или электрические величины переходного процесса [161, 166, 176].

Защиты, основанные на использовании высших гармонических составляющих тока нулевой последовательности, могут применяться преимущественно в компенсированных и изолированных сетях, где высшие гармоники тока ОЗЗ не компенсируются дугогасящим реактором в той же степени, что и основная гармоника. При выборе уставок таких защит следует

учитывать уровень высших гармоник в токе ОЗЗ, собственный емкостный ток присоединения, суммарный емкостный ток сети и возможные токи небаланса [23, 72, 176].

Направленные защиты от ОЗЗ используют фазовые соотношения между током $3I_0$ и напряжением $3U_0$ либо между соответствующими составляющими этих величин. В сетях с изолированной нейтралью направление тока нулевой последовательности в поврежденном и неповрежденных присоединениях различается, что позволяет обеспечить селективное определение поврежденного присоединения. При выборе уставок направленных защит следует учитывать режим нейтрали, угол максимальной чувствительности, минимальные значения $3I_0$ и $3U_0$ при внутренних ОЗЗ, а также небалансы токов и напряжений нулевой последовательности [167, 168, 171, 176].

Для направленных защит от ОЗЗ дополнительно учитываются фазовые соотношения между током нулевой последовательности $3I_0$, измеряемым ТТНП, и напряжением нулевой последовательности $3U_0$. На рисунке 3.28 приведены распределение токов $3I_0$, измеряемых ТТНП, и соответствующие векторные диаграммы при ОЗЗ на присоединении Л2. Условное положительное направление токов $3I_0$ в присоединениях принято от шин в сторону линии. Для защиты, установленной на присоединении Л1, указанное повреждение является внешним ОЗЗ; через ТТНП Л1 протекает собственный емкостный ток присоединения. Для защиты, установленной на присоединении Л2, указанное повреждение является внутренним ОЗЗ; через ТТНП Л2 протекает ток, определяемый емкостными токами остальной электрически связанной сети. При принятом направлении отсчета ток $3I_0$ при внешнем ОЗЗ опережает напряжение $3U_0$ примерно на 90°, а ток $3I_0$ при внутреннем ОЗЗ отстает от напряжения $3U_0$ примерно на 90°. Указанное различие используется направленными защитами нулевой последовательности [168, 176]. При изменении условно принятого положительного направления тока $3I_0$, полярности цепей $3I_0$, $3U_0$ или направления отсчета угла вид векторной диаграммы может изменяться; при этом различие фазовых соотношений для внешнего и внутреннего ОЗЗ сохраняется.

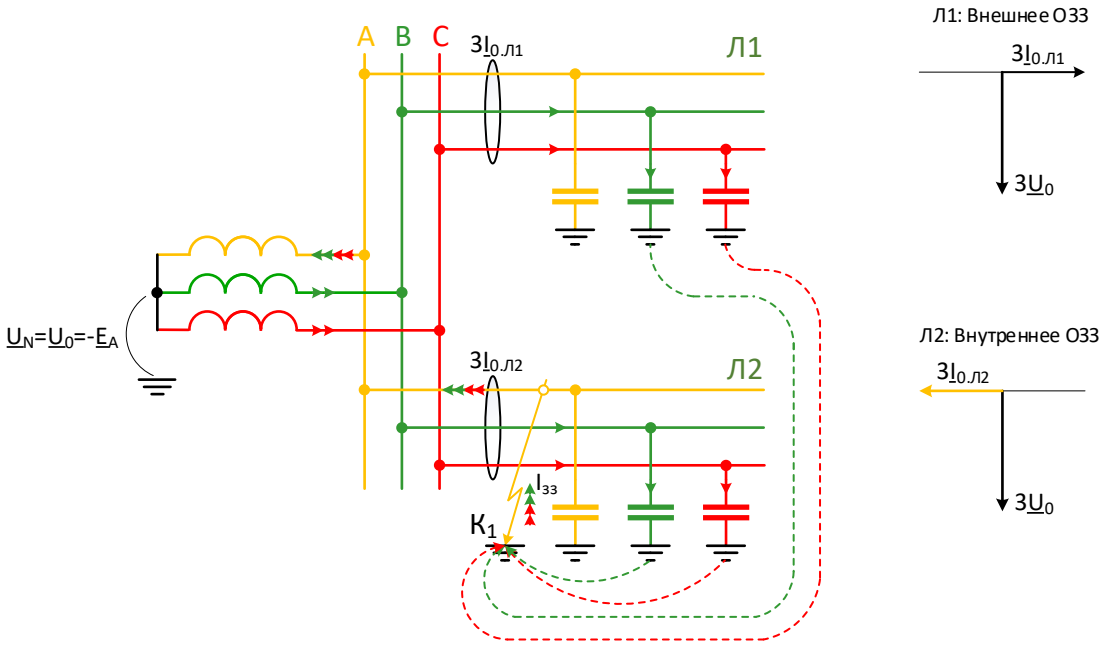


Рисунок 3.28. Распределение токов $3I_0$, измеряемых ТТНП, и их векторные диаграммы при внешнем и внутреннем ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью

При расчете уставок направленных защит от ОЗЗ минимальные значения уставок устройства не должны приниматься автоматически в качестве расчетных. Уставки следует выбирать с учетом возможных небалансов, обусловленных несимметрией фазных емкостей и проводимостей, влиянием параллельных линий, погрешностями ТТНП и ТН, внешними ОЗЗ, переходными процессами и особенностями конкретной сети [167, 168].

Защита от ОЗЗ реализуется в устройствах **«Лютик»**, **«Лютик-Плюс»**, **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Защита от однофазных замыканий на землю»**; в устройстве **«Алтей-01»** в алгоритме **«Защита от однофазных замыканий на землю и токовая защита нулевой последовательности»**, основные параметры которых приведены в таблице 3.34.

Таблица 3.34. Алгоритмы «Защита от однофазных замыканий на землю»

и «Защита от однофазных замыканий на землю и токовая защита нулевой последовательности»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	2	3		2	
Первая ступень ОЗЗ	3I0, ВГ, 3U0	3I0, ВГ, 3U0, РНМ НП		3I0, ВГ, 3U0, РНМ НП	
Последующие ступени	ОЗЗ 2 по 3I0	ОЗЗ 2 по 3I0		ОЗЗ 2 и ОЗЗ 3 по 3I0	
Пуск по измеренному току 3I0	+	+		+	
Пуск по расчетному току 3I0	+	+		+	
Контроль напряжения 3U0	-	+		+	
Контроль направления мощности НП	-	+		+	
Пуск по высшим гармоническим составляющим 3I0	+	+		+	

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.35.

Таблица 3.35. Уставки алгоритма «Защита от однофазных замыканий на землю» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ)							
Iозз 1 вг	А	0,5	0,001	5	0,001	0,95	ОЗЗ 1 – уставка срабатывания по току высших гармоник
Iозз 1	А	0,5	0,001	100	0,001	0,95	ОЗЗ 1 - ток срабатывания
Uозз 1	В	15	5	20	0,01	0,95	Напряжение срабатывания первой ступени защиты от однофазных замыканий на землю
Тозз 1	с	1	0	100	0,01	-	ОЗЗ 1 - задержка срабатывания на сигнализацию
Тозз 1 откл	мин	0	0	1440	1	-	ОЗЗ 1 - задержка срабатывания на отключение
Фмч НП	град	110	-180	180	1	-	Угол максимальной чувствительности реле направления мощности нулевой последовательности
Iозз 2	А	5	0,1	100	0,001	0,95	ОЗЗ 2 - ток срабатывания
Тозз 2	с	1	0	10	0,01	-	ОЗЗ 2 – задержка срабатывания
Тозз 1 возв	с	0	0	1	0,01	-	ОЗЗ 1 – задержка возврата

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.36.

Таблица 3.36. Уставки алгоритма «Защита от однофазных замыканий на землю и токовая защита нулевой последовательности» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от однофазных замыканий на землю и токовая защита нулевой последовательности (ОЗЗ и ТЗНП)							
Iозз 1 вг	А	0,5	0,02	5	0,01	0,95	ОЗЗ 1 – уставка срабатывания по току высших гармоник
Iозз 1	А	0,5	0,02	5	0,01	0,95	ОЗЗ 1 - ток срабатывания
Uозз 1	В	15	5	20	0,01	0,95	Напряжение срабатывания первой ступени защиты от ОЗЗ
Тозз 1	с	1	0	100	0,01	-	ОЗЗ 1 - задержка срабатывания на сигнализацию
Тозз 1 откл	мин	0	0	1440	1	-	ОЗЗ 1 - задержка срабатывания на отключение
Фмч НП	град	110	0	360	1	-	Угол максимальной чувствительности реле направления мощности нулевой последовательности
Iозз 2	А	5	0,1	100	0,01	0,95	ОЗЗ 2 - ток срабатывания
Uозз 2	В	15	5	20	0,01	0,95	Напряжение срабатывания второй ступени защиты от однофазных замыканий на землю

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Тозз 2	с	1	0	10	0,01	-	ОЗЗ 2 – задержка срабатывания
Iозз 3	А	5	0,1	100	0,01	0,95	ОЗЗ 3 - ток срабатывания
Uозз 3	В	15	5	20	0,01	0,95	Напряжение срабатывания третьей ступени защиты от однофазных замыканий на землю
Тозз 3	с	1	0	10	0,01	-	ОЗЗ 3 – задержка срабатывания
Фмч НП расч	град	0	0	360	1	-	Угол максимальной чувствительности расчетного реле направления мощности нулевой последовательности

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 3.37.

Таблица 3.37. Уставки алгоритма «Защита от однофазных замыканий на землю» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ)							
Iозз 1	А	0,5	0,02	60	0,001	0,95	ОЗЗ 1 - ток срабатывания
Iозз 1 вг	А	0,5	0,02	8	0,001	0,95	ОЗЗ 1 – ток срабатывания первой ступени защиты от однофазных замыканий на землю по высшим гармоникам
Тозз 1	с	2	0	100	0,01	-	ОЗЗ 1 - задержка срабатывания на сигнализацию
Тозз 1 откл	мин	0	0	1440	1	-	ОЗЗ 1 - задержка срабатывания на отключение
Iозз 2	А	2	0,02	60	0,001	0,95	ОЗЗ 2 - ток срабатывания
Тозз 2	с	1	0	10	0,01	-	ОЗЗ 2 – задержка срабатывания

3.15.2 Исходные данные для расчета

Для расчета уставок защиты от ОЗЗ и ТЗНП в общем случае могут использоваться исходные данные, приведенные в таблице 3.38. Приведенный перечень является обобщенным; при расчете конкретной уставки следует использовать только те исходные данные, которые относятся к выбранному расчетному условию, режиму заземления нейтрали, составу измерительных цепей и составу уставок по РЭ соответствующего устройства.

Таблица 3.38. Исходные данные для расчета уставок защиты от ОЗЗ и ТЗНП

ГРУППА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	ИСХОДНАЯ ВЕЛИЧИНА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ПРИМЕЧАНИЕ
Параметры электрически связанной сети	Режим заземления нейтрали	–	–	изолированная, компенсированная, резистивно-заземленная, комбинированно заземленная нейтраль
	Суммарный емкостный ток электрически связанной сети	$I_{C\Sigma}$	А	Определяется расчетом или по проектным данным
	Минимальный суммарный емкостной ток сети, определяемый при различных режимах эксплуатации сети (отключение участков сети, отключенное положение секционного выключателя и т.д.)	$I_{C\Sigma.мин}$	А	Определяется расчетом или по проектным данным. Используется для проверки чувствительности при ОЗЗ на защищаемом присоединении
	Собственный емкостный ток защищаемого присоединения	$I_{Сприс}$	А	Учитываются элементы, расположенные за местом установки ТТНП
	Емкостный ток i-го присоединения	I_{Ci}	А	Используется при определении $I_{C\Sigma}$
Небалансы измерительных цепей	Максимальное значение небаланса напряжения $3U_0$ в нормальном режиме	$U_{3U0нб.макс}$	В	Используется для отстройки уставки по напряжению $3U_0$
	Первичный максимальный ток небаланса ФТНП в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ	$I_{3I0нб.макс}$	А	Используется для отстройки уставки по току $3I_0$
Резистивное заземление нейтрали	Активная составляющая тока ОЗЗ, создаваемая заземляющим резистором	I_R	А	Принимаются по проектным данным или определяется по параметрам заземляющего резистора и способа его подключения; используются для расчета тока ОЗЗ в сетях с резистивным или комбинированным заземлением нейтрали
	Сопротивление заземляющего резистора	R_N	Ом	

ГРУППА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	ИСХОДНАЯ ВЕЛИЧИНА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ПРИМЕЧАНИЕ
Компенсированная нейтраль	Остаточный ток ОЗЗ при компенсации	$I_{ост}$	А	Учитывается при расчете уставок по току в компенсированной сети
	Ток расстройки компенсации	ΔI	А	Используется при расчете остаточного тока и при комбинированном заземлении нейтрали
Комбинированное заземление нейтрали	Активная составляющая тока, создаваемая резистором, подключенным параллельно ДГР	$I_{РДГР}$	А	Принимается по проектным данным или расчету устройства заземления нейтрали
Измерительные цепи	Коэффициент трансформации ТТНП	$k_{ТТНП}$	–	Используется для приведения расчетных токов к вторичным величинам
	Коэффициент трансформации фазных ТТ	$k_{ТТ}$	–	Используется при контроле $3I_0$ по фазным ТТ
	Коэффициент трансформации ТН	$k_{ТН}$		Используется для приведения $3U_0$ к вторичным величинам
	Схема подключения цепей тока нулевой последовательности	–	–	ТТНП либо ФТНП по фазным ТТ
	Схема подключения цепей напряжения нулевой последовательности	–	–	Дополнительная обмотка ТН, соединенная по схеме разомкнутого треугольника, либо расчет $3U_0$

Состав исходных данных по таблице 3.38 следует уточнять для каждого расчетного условия. При расчете ненаправленной токовой защиты по $3I_0$ в сети с изолированной нейтралью основными исходными данными являются $I_{C\Sigma}$, $I_{Cприс}$, расчетный ток $3I_0$ при внутреннем и внешнем ОЗЗ, коэффициент трансформации ТТНП и диапазон задания уставки по току для соответствующего устройства. При расчете направленной защиты дополнительно должны учитываться цепи напряжения $3U_0$, полярность цепей $3I_0$ и $3U_0$, а также направление отсчета угла и диапазон задания уставки угла максимальной чувствительности по РЭ соответствующего устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**.

3.15.3 Определение расчетных токов ОЗЗ

Суммарный емкостный ток сети $I_{C\Sigma}$ следует определять как сумму емкостных токов всех присоединений, электрически связанных с рассматриваемой секцией шин [176]:

$$I_{C\Sigma}=k_C \cdot \sum_{i=1}^{n} I_{Ci} \ [А] \qquad (3.220)$$

где

k_C – коэффициент, учитывающий емкость фаз на землю шин, ошиновок, трансформаторов и др.; принимается из диапазона 1,1–1,2

n – количество присоединений, учитываемых при определении суммарного емкостного тока электрически связанной сети в рассматриваемом режиме

Собственный емкостный ток защищаемого присоединения $I_{Cприс}$ следует определять как сумму емкостных токов электрически связанных участков и элементов защищаемого присоединения, находящихся со стороны линии относительно места установки ТТНП. При определении $I_{Cприс}$ следует учитывать емкостные токи кабельных и воздушных участков, шинопроводов, токопроводов, электродвигателей, генераторов, трансформаторов и иного оборудования, входящего в расчетную зону защиты от ОЗЗ. Расчетные выражения для определения емкостных токов указанных участков и элементов приведены в [161, 176] и иной справочной литературе. При наличии на одном присоединении нескольких кабелей, проходящих через отдельные ТТНП, вторичные цепи указанных ТТНП должны подключаться к измерительному входу тока $3I_0$ устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** по принятой схеме: параллельно или последовательно. В этом случае собственный емкостный ток защищаемого присоединения следует определять для всей совокупности кабелей, охваченных указанными ТТНП.

Собственный емкостной ток ЛЭП (участка ЛЭП) определяется по выражению [161, 176]:

$$I_{Сл}=n \cdot C_{0л} \cdot L_л \cdot \omega \cdot U_{ф.ном} \ [А] \qquad (3.221)$$

или

$$I_{Сл}=n \cdot I_{C0л} \cdot L_л \ [А] \qquad (3.222)$$

где

n шт число параллельных ЛЭП в одной цепи (для КЛ)

$C_{0л}$ Ф/км удельная емкость фазы ЛЭП на землю

$L_л$	км	длина участка ЛЭП (участка ЛЭП)
$\omega = 2\pi \cdot 50$	рад/с	угловая частота сети
$U_{ф.ном}$	В	номинальное первичное фазное напряжение сети
$I_{С0л}$	А/км	собственный емкостной ток ЛЭП на единицу длины

Собственный емкостной ток ЭД рассчитывается по выражению:

$$I_{Сэд}=C_{0дв} \cdot \omega \cdot U_{ф.ном}\ [А] \quad (3.223)$$

где

$C_{0дв}$	Ф	емкость фазы обмотки статора ЭД на землю; при отсутствии указанных данных допускается определять по справочным данным таблицы 5.4 либо по приближенным формулам п. **5.5.2**

Для ненаправленной токовой защиты по $3I_0$ расчетный ток внешнего ОЗЗ принимается равным току, протекающему через ТТНП защищаемого присоединения при ОЗЗ вне данного присоединения. В сети с изолированной нейтралью данный ток определяется собственным емкостным током защищаемого присоединения:

$$I_{3I0}=I_{Сприс} \quad (3.224)$$

Указанное значение используется при выборе уставки защиты по условию отстройки от внешнего ОЗЗ.

При ОЗЗ на защищаемом присоединении через ТТНП поврежденного присоединения в сети с изолированной нейтралью протекает ток, определяемый емкостными токами остальных присоединений электрически связанной сети:

$$I_{3I0}=I_{C\Sigma} - I_{Сприс} \quad (3.225)$$

Для проверки чувствительности следует использовать минимальное расчетное значение указанного тока:

$$I_{3I0мин}=I_{C\Sigma мин} - I_{Сприс} \quad (3.226)$$

При внешнем ОЗЗ через ТТНП защищаемого присоединения протекает его собственный емкостный ток, используемый для отстройки токовой защиты от внешних повреждений. При внутреннем ОЗЗ через ТТНП поврежденного присоединения протекает ток, определяемый емкостными токами остальных присоединений электрически связанной сети; указанное значение используется при проверке чувствительности защиты [**161**, **170**, **176**].

Пояснение к определению расчетных токов $3I_0$ приведено на рисунке 3.27. Например, для защиты, установленной на присоединении Л3, при ОЗЗ на другом присоединении указанное повреждение является внешним. Через ТТНП присоединения Л3 в этом случае протекает собственный емкостный ток присоединения Л3:

$$I_{Сприс.Л3} = I_{C3} + I_{C4} + I_{C5} \quad (3.227)$$

При ОЗЗ на присоединении Л3 повреждение является внутренним для защиты Л3. В этом случае расчетный ток, протекающий через ТТНП присоединения Л3, определяется емкостными токами остальных присоединений электрически связанной сети:

$$I_{3I0.Л3} = I_{C\Sigma} - I_{Сприс} = I_{C1} + I_{C2} \quad (3.228)$$

В формулах, поясняющих рисунок 3.27, дополнительные емкости шин, ошиновок, трансформаторов и иных элементов сети не показаны. При выполнении расчетов следует использовать значения $I_{C\Sigma}$, $I_{C\Sigma мин}$ и $I_{Сприс}$, определенные с учетом исходных данных по таблице 3.38 и формуле (3.220).

В сети с нейтралью, заземленной через резистор, расчетный ток внутреннего ОЗЗ следует определять с учетом активной составляющей тока через заземляющий резистор. При отсутствии уточненного расчета допускается принимать расчетный ток через ТТНП поврежденного присоединения равным геометрической сумме активной составляющей тока через резистор и емкостной составляющей тока остальных присоединений:

$$I_{3I0}=\sqrt{I_R^2 + \left(I_{C\Sigma} - I_{Сприс}\right)^2} \quad (3.229)$$

Для проверки чувствительности следует использовать минимальное расчетное значение тока, протекающего через ТТНП защищаемого присоединения:

$$I_{3I0мин}=\sqrt{I_R^2 + \left(I_{C\Sigma мин} - I_{Сприс}\right)^2} \quad (3.230)$$

Если активная составляющая тока через заземляющий резистор существенно превышает емкостную составляющую тока сети, расчетный ток внутреннего ОЗЗ допускается принимать приближенно равным:

$$I_{3I0внутр} \approx I_R\ [А] \quad (3.231)$$

В СТО Газпром 2-1.11-070-2006 для низкоомного резистивного заземления нейтрали указано, что при $I_C \ll I_R$ ток ОЗЗ может определяться активной составляющей тока через резистор [126].

В сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали расчет уставок токовой защиты допускается выполнять по расчетным условиям для сети с изолированной нейтралью, но с учетом активной составляющей тока ОЗЗ, создаваемой заземляющим резистором.

Для компенсированных сетей при наличии в составе алгоритма уставки по высшим гармоническим составляющим тока нулевой последовательности следует рассматривать применение защиты по суммарному уровню высших гармоник тока $3I_0$. Использование высших гармоник является одним из распространенных способов определения поврежденного присоединения в компенсированных и некомпенсированных сетях; в компенсированных кабельных сетях 6–10 кВ защиты абсолютного замера высших гармоник получили широкое применение для защиты и селективной сигнализации ОЗЗ [65, 72, 176]. Натурные эксперименты в сетях среднего класса напряжения подтверждают наличие гармонических составляющих в токе ОЗЗ [4].

При настройке ДГР, близкой к резонансной компенсации, ток основной гармоники может быть недостаточен для надежного действия ненаправленной токовой защиты по $3I_0$. В СТО Газпром 2-1.11-070-2006 указано, что устройства защиты от ОЗЗ, основанные на токовом принципе, не функционируют в условиях полной компенсации тока однофазного замыкания на землю; для обеспечения селективной работы ток замыкания должен быть больше тока срабатывания защиты [126, п. 6.6]. Ограничения применения токовых защит по основной гармонике в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью также рассматриваются в работах по защите от ОЗЗ в сетях 6–35 кВ [158, 170, 176].

При недостаточной чувствительности или селективности ненаправленной защиты по основной гармонике либо по абсолютному уровню высших гармоник следует рассматривать применение направленных защит от ОЗЗ с учетом фазовых соотношений токов и напряжений нулевой последовательности [171, 176].

При применении направленной защиты от ОЗЗ значение уставки угла максимальной чувствительности РНМ НП следует выбирать с учетом фазовых соотношений между током $3I_0$, протекающим через ТТНП защищаемого присоединения, и напряжением $3U_0$. На рисунке 3.28 приведены векторные диаграммы для внешнего и внутреннего ОЗЗ при условно принятом положительном направлении токов $3I_0$ в присоединениях от шин в сторону линии. При указанном направлении отсчета ток $3I_0$ при внешнем ОЗЗ опережает напряжение $3U_0$ примерно на 90°, а ток $3I_0$ при внутреннем ОЗЗ отстает от напряжения $3U_0$ примерно на 90° [171, 176].

3.15.4 Выбор вида защиты от ОЗЗ по режиму заземления нейтрали

Вид защиты от ОЗЗ и ТЗНП следует выбирать с учетом режима заземления нейтрали сети, расчетных токов ОЗЗ, определенных по 3.15.3, требований к селективности и чувствительности, а также набора уставок, предусмотренного для соответствующего устройства **«Алтей»** или **«Лютик»** согласно таблицам 3.35–3.37. При выборе вида защиты следует учитывать, что режим заземления нейтрали определяет величину и состав тока ОЗЗ, уровень перенапряжений, допустимость работы сети с ОЗЗ и требования к действию защиты [126, 166, 176].

Рекомендуемый выбор вида защиты от ОЗЗ и ТЗНП приведен в таблице 3.39.

Таблица 3.39. Выбор вида защиты от ОЗЗ и ТЗНП по режиму заземления нейтрали

РЕЖИМ ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ	РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ТИП ЗАЩИТЫ	РАСЧЕТНЫЙ ПРИЗНАК	ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
Изолированная	Ненаправленная токовая защита по $3I_0$; при недостаточной чувствительности или селективности — направленная защита от ОЗЗ, защита по ВГ или централизованная защита от ОЗЗ **«Геум-И»**	$3I_0$; при направленном исполнении — $3I_0$, $3U_0$, фазовые соотношения $3I_0$ и $3U_0$	Ненаправленную токовую защиту от ОЗЗ по $3I_0$ следует применять при возможности одновременного обеспечения отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ и требуемой чувствительности при внутреннем ОЗЗ. Контроль напряжения нулевой последовательности $3U_0$ сам по себе обеспечивает только неселективное выявление ОЗЗ в электрически связанной сети без определения поврежденного присоединения [161, 169, 171]
Заземленная через высокоомный резистор	Токовая защита по $3I_0$; при необходимости — направленная защита от ОЗЗ	$3I_0$, I_R, при наличии РНМ НП — $3I_0$ и $3U_0$	Расчет выполняется с учетом емкостной составляющей тока сети и активной составляющей тока ОЗЗ, создаваемой заземляющим резистором. Возможность работы сети с ОЗЗ и действие защиты определяются проектными решениями и требованиями эксплуатирующей организации [126, 161]
Заземленная через низкоомный резистор	ТЗНП по $3I_0$ с действием на отключение	$3I_0$, I_R	Расчет выполняется по току ОЗЗ, определяемому преимущественно током заземляющего резистора. Основная задача — быстрое селективное отключение поврежденного присоединения [126].
Компенсированная	Защита по высшим гармоническим составляющим тока $3I_0$; направленная защита от ОЗЗ; при необходимости применение централизованной защиты от ОЗЗ **«Геум-К»**	ВГ $3I_0$, $3I_0$, $3U_0$, фазовые соотношения токов и напряжений НП	Применение ненаправленной токовой защиты по основной гармонике ограничено из-за компенсации емкостного тока ДГР. При наличии соответствующей уставки в устройстве следует рассматривать защиту по суммарному уровню ВГ $3I_0$. ля компенсированных кабельных сетей 6–10 кВ защиты по ВГ получили широкое применение, однако выбор уставок и оценку чувствительности таких защит следует выполнять с учетом нестабильности уровня и спектрального состава высших гармонических составляющих тока ОЗЗ [23, 66, 72, 176]
Комбинированное заземление	Токовая защита по $3I_0$, направленная защита от ОЗЗ, защита по ВГ $3I_0$	$3I_0$, IR, остаточный ток компенсации, ВГ $3I_0$, $3U_0$	Вид защиты выбирается с учетом остаточного тока компенсации и активной составляющей тока ОЗЗ. При достаточном токе ОЗЗ применяется токовая защита по $3I_0$; при недостаточной чувствительности следует рассматривать направленный орган мощности нулевой последовательности и/или признак ВГ [126, 161]

Окончательный состав рассчитываемых уставок следует принимать по таблицам 3.35–3.37 и РЭ соответствующего устройства. Если соответствующая уставка отсутствует в РЭ устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**, расчет по данному признаку не выполняется.

3.15.5 Расчет уставок неселективной защиты от ОЗЗ по напряжению $3U_0$

Расчет уставок неселективной защиты от ОЗЗ по напряжению $3U_0$ следует выполнять по исходным данным, приведенным в **3.15.1**. При выборе уставок по напряжению должны учитываться расчетные или измеренные значения небаланса напряжения $3U_0$ в нормальном режиме, значение напряжения $3U_0$ при металлическом ОЗЗ, модуль коэффициента полноты замыкания на землю |b| при проверке чувствительности к ОЗЗ через переходное сопротивление, коэффициент трансформации ТН, номинальное напряжение дополнительной обмотки ТН, соединенной по схеме «разомкнутого треугольника».

Уставки **«Uозз 1»**, **«Uозз 2»**, **«Uозз 3»** следует рассматривать как уставки контроля напряжения нулевой последовательности в алгоритме **«ОЗЗ»** соответствующих ступеней защиты. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«ОЗЗ»** предусмотрены уставки **«Uозз 1»**, **«Uозз 2»**, **«Uозз 3»**; для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** – уставка **«Uозз 1»**; для устройства **«Лютик»** уставки по напряжению в алгоритме ОЗЗ не предусмотрены.

Уставки **«3U0 макс 1»** и **«3U0 макс 2»**, приведенные в **2.2.2**, относятся к алгоритму контроля электрических параметров. При одновременном применении уставок алгоритма **«ОЗЗ»** и алгоритма **«КЭП»** значения **«3U0 макс 1»**, **«3U0 макс 2»** должны быть согласованы с уставками **«Uозз 1»**, **«Uозз 2»**, **«Uозз 3»**, но не заменяют их.

3.15.5.1 Назначение и общие условия применения

Неселективная защита от ОЗЗ по напряжению $3U_0$ предназначена для фиксации появления напряжения нулевой последовательности при ОЗЗ в электрически связанной сети.

Неселективная защита от ОЗЗ по напряжению $3U_0$ выполняет функции контроля изоляции секции шин. Цепи напряжения защиты подключаются к ТН соответствующей секции шин; напряжение нулевой последовательности $3U_0$ измеряется на выходе дополнительной обмотки ТН, соединенной по схеме «разомкнутого треугольника», либо вычисляется устройством по фазным напряжениям при соответствующем подключении цепей напряжения.

Защита позволяет выявить наличие ОЗЗ в электрически связанной сети и определить секцию шин, на которой зафиксировано напряжение нулевой последовательности, но не определяет конкретное поврежденное присоединение. Поэтому указанная защита является неселективной защитой от ОЗЗ [161, 176].

При применении неселективной защиты от ОЗЗ по напряжению $3U_0$ следует учитывать, что указанная защита фиксирует появление напряжения нулевой последовательности в электрически связанной сети, но не определяет поврежденное присоединение. Поэтому режим заземления нейтрали влияет не столько на принцип выбора уставки **«Uозз 1»**, сколько на назначение данной защиты, требования к проверке чувствительности и необходимость применения дополнительных селективных признаков [166, 169, 176].

В сетях с изолированной нейтралью защиту по напряжению $3U_0$ следует применять для сигнализации о наличии ОЗЗ. При необходимости действия на отключение данная защита должна рассматриваться как резервная неселективная защита; выдержка времени должна быть согласована с действием селективных защит от ОЗЗ.

В сетях с компенсированной нейтралью защита по напряжению $3U_0$ также может применяться для контроля наличия ОЗЗ в электрически связанной сети. При этом для определения поврежденного присоединения следует использовать селективные признаки: ток $3I_0$, направление мощности нулевой последовательности, высшие гармонические составляющие тока $3I_0$ либо иные признаки, предусмотренные устройством и проектными решениями [166, 176].

В сетях с высокоомным резистивным заземлением нейтрали защиту по напряжению $3U_0$ допускается применять аналогично сетям с изолированной нейтралью – для сигнализации, контроля наличия ОЗЗ или резервного действия. Проверку чувствительности следует выполнять по минимальному расчетному значению $U_{3U0мин}$, определенному с учетом активной проводимости цепи заземления нейтрали и расчетного переходного сопротивления в месте ОЗЗ [169].

В сетях с низкоомным резистивным заземлением нейтрали основным селективным признаком поврежденного присоединения, как правило, является ток $3I_0$, а защита по напряжению $3U_0$ может применяться как сигнализационная или резервная. При действии на отключение ее выдержка времени должна быть отстроена от времени действия основных токовых защит от ОЗЗ [126].

В сетях с комбинированным заземлением нейтрали применение защиты по напряжению $3U_0$ следует определять с учетом принятой схемы заземления нейтрали, остаточного тока компенсации и активной составляющей тока ОЗЗ. При недостаточной селективности одной защиты по напряжению $3U_0$ должны применяться защиты на ином принципе (токовые, направленные, работающие по высшим гармоникам), предусмотренные для соответствующего устройства **«Алтей»** или **«Лютик»**.

3.15.5.2 Расчет уставок

Расчет уставки **«Uозз 1»** целесообразно выполнять во вторичных величинах. В выражениях настоящего подпункта значения **«Uозз 1»**, $U_{3U0нб.макс}$, $U_{3U0мин}$ принимаются во вторичных величинах, соответствующих цепи измерения напряжения $3U_0$.

Значение уставки **«Uозз 1»** следует выбирать по условию отстройки от максимального напряжения небаланса $3U_0$, возникающего в нормальных и допустимых послеаварийных режимах работы сети.

Напряжение небаланса $3U_0$, от которого отстраивается уставка **«Uозз 1»**, может быть обусловлено несимметрией фазных нагрузок, неидентичностью фаз ТН и/или несимметрией дополнительной обмотки, неравенством емкостей фаз ВЛ относительно земли, межцепными связями с параллельными ВЛ другого класса напряжения, составляющими $3U_0$, возникающими в сети данного уровня при КЗ на землю (для сетей 110 кВ и выше) или ОЗЗ (для сетей 35 кВ) в сети высшего напряжения за счет емкостной связи между обмотками силового трансформатора [168, 169, 176].

Значение уставки **«Uозз 1»** по условию отстройки от напряжения небаланса следует определять по формуле:

$$Uозз\ 1 \geq k_{отс.U} \cdot U_{3U0.нб.макс} \quad (3.232)$$

где

$k_{отс.U}$ – коэффициент отстройки по напряжению, рекомендуется принимать из диапазона 1,2–1,3

Практически, без детальных расчетов уставка **«Uозз 1»** принимается из диапазона 15–30 В вторичного напряжения [166, 176].

При номинальном напряжении вторичной обмотки ТН, соединенной по схеме «разомкнутого треугольника», равном 100 В, рекомендуемое значение уставки **«Uозз 1»** допускается предварительно принимать равным:

$$Uозз\ 1 = 15\ В \quad (3.233)$$

При наличии данных эксплуатационных измерений окончательное значение уставки **«Uозз 1»** следует выбирать по условию отстройки от максимального измеренного значения небаланса $3U_0$ с учетом коэффициента $k_{отс.U}$. В процессе эксплуатации значения небаланса $3U_0$ в различных режимах должны быть уточнены замерами реальных величин; при необходимости выбранное значение уставки **«Uозз 1»** должно быть скорректировано.

Для уставок **«Uозз 2»** и **«Uозз 3»** расчет следует выполнять аналогично, если указанные уставки предусмотрены для соответствующего устройства и выполнения функций неселективной защиты от ОЗЗ и при этом вводятся в работу.

Проверку коэффициента чувствительности неселективной защиты от ОЗЗ по напряжению $3U_0$ следует выполнять при наихудшем сочетании параметров, уменьшающих измеренное или вычисленное напряжение $3U_0$ (максимальный суммарный емкостной ток сети, наличие переходного сопротивления в месте ОЗЗ, минимальное допустимое рабочее напряжение шин и т.д.) при ОЗЗ в электрически связанной сети.

При проверке чувствительности к ОЗЗ через переходное сопротивление значение $U_{3U0мин}$ следует определять с учетом модуля коэффициента полноты замыкания на землю |b|. При металлическом ОЗЗ значение |b| принимается равным 1. При ОЗЗ через переходное сопротивление значение |b| следует определять для максимального расчетного значения переходного сопротивления в месте ОЗЗ [169, 176].

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Uозз 1»** следует выполнять по формуле:

$$k_{ч.U} = \frac{U_{3U0мин}}{Uозз\ 1} \quad (3.234)$$

где

$U_{3U0мин}$ В минимальное расчетное значение напряжения $3U_0$ при ОЗЗ, приведенное ко вторичным величинам

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 10]:

- около 1,5 – для защит от замыканий на землю на ВЛ в сетях с изолированной нейтралью, действующих на сигнал или отключение.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 – для измерительных органов напряжения защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента энергосистемы.

При применении неселективной защиты по напряжению $3U_0$ в качестве резервной защиты с действием на отключение коэффициент чувствительности согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 15] следует принимать:

- 1,2 – для измерительных органов напряжения защит, выполняющих функции дальнего резервирования.

Значение $K_{ч.U}$=1,2 допускается принимать только при назначении защиты по напряжению $3U_0$ в качестве резервной защиты с действием на отключение. При действии защиты на сигнализацию или при использовании ее в качестве контроля наличия ОЗЗ следует принимать $K_{ч.U}$=1,5, если иное не установлено требованиями эксплуатирующей организации.

Значение уставки **«Тозз 1»** при действии защиты на сигнализацию следует принимать равным [169, 176]:

$$Тозз\ 1 = 9\ [с] \quad (3.235)$$

При применении общей неселективной защиты по напряжению $3U_0$ в качестве резервной защиты с действием на отключение для устройств, в которых предусмотрена вторая ступень ОЗЗ по напряжению, следует использовать набор уставок **«Uозз 2»** и **«Тозз 2»**. Значение уставки **«Uозз 2»** следует выбирать по тем же условиям, что и значение уставки **«Uозз 1»** для контроля изоляции, т. е. по условию отстройки от напряжения небаланса по формуле (3.232), с учетом предварительного практического значения по формуле (3.233), а также проверки чувствительности по формуле (3.234). Если в электрически связанной сети предусмотрена селективная защита от ОЗЗ с действием на отключение без выдержки времени по требованиям безопасности, значение уставки **«Тозз 2»** резервной защиты нулевой последовательности, действующей на отключение всей электрически связанной сети – системы (секции) шин или питающего трансформатора, согласно ПУЭ следует принимать равным [100, п. 3.2.97]:

$$Тозз\ 2 = 0{,}5\ [с] \quad (3.236)$$

В остальных случаях, когда резервная ступень должна быть согласована по времени с основными селективными защитами от ОЗЗ, значение уставки **«Тозз 2»** следует определять по формуле [166, 176]:

$$Тозз\ 2 = t_{сз.осн} + \Delta t\ [с] \quad (3.237)$$

где

$t_{сз.осн}$	с	время срабатывания основной селективной защиты от ОЗЗ с наибольшей выдержкой времени в пределах электрически связанной сети
Δt	–	ступень селективности, выбирается по таблице 3.3

Если в устройстве вторая ступень ОЗЗ по напряжению не предусмотрена либо резервное отключение выполняется первой ступенью, для действия на отключение следует использовать уставки **«Uозз 1»** и **«Тозз 1»**. В этом случае значение уставки **«Тозз 1»** следует выбирать по формулам (3.236) или (3.237). Уставку **«Тозз 1 откл»** не следует принимать равной полной выдержке времени до отключения, так как она отсчитывается после срабатывания ступени на сигнализацию.

3.15.6 Расчет уставок ненаправленной токовой защиты от ОЗЗ по $3I_0$

Ненаправленная токовая защита от ОЗЗ по $3I_0$ относится к защитам абсолютного замера тока нулевой последовательности промышленной частоты. Защита реагирует на значение тока $3I_0$ в контролируемом присоединении.

Расчет уставок ненаправленной токовой защиты следует выполнять по исходным данным, приведенным в **3.15.1**, с учетом расчетных токов ОЗЗ, определенных в **3.15.3**.

Выбор уставок ненаправленной токовой защиты по $3I_0$ должен обеспечивать несрабатывание защиты при внешнем ОЗЗ и небалансах в цепи тока нулевой последовательности, а также требуемую чувствительность при ОЗЗ на защищаемом присоединении [171, 176].

3.15.6.1 Назначение и общие условия применения

Ненаправленная токовая защита от ОЗЗ в сетях с изолированной нейтралью работает надежно, когда суммарный емкостный ток секции значительно превышает собственный емкостный ток защищаемого присоединения: для мгновенно действующих защит – ориентировочно в 5–10 раз; при наличии выдержки времени – в 3–5 раз. Такие соотношения чаще встречаются в цеховых кабельных сетях 6–10 кВ с большим числом присоединений малой мощности (много коротких кабельных линий и электродвигателей) [166, 170]. Указанное условие, как правило, труднее обеспечить на объектах с небольшим числом линий малой протяженности, где суммарный емкостный ток сети может быть недостаточен для надежной работы защиты. При невыполнении данного условия следует рассматривать применение направленной защиты, защиты по высшим гармоническим составляющим тока $3I_0$ либо централизованной защиты от замыканий на землю с применением устройства **«Геум-И»**.

Ненаправленная токовая защита от ОЗЗ по $3I_0$ предназначена для выявления ОЗЗ по току нулевой последовательности, протекающему в цепи защищаемого присоединения. Селективность такой защиты обеспечивается не направленным органом, а выбором токовой уставки, отстроенной от тока $3I_0$, протекающего через защищаемое присоединение при внешнем ОЗЗ, и от токов небаланса в цепи тока нулевой последовательности [2, 161]. Под током небаланса в цепи тока нулевой последовательности следует понимать рабочий сигнал $3I_0$, фиксируемый защитой при отсутствии ОЗЗ на защищаемом присоединении либо искажающий ее поведение при ОЗЗ на защищаемом присоединении [168].

В сети с изолированной нейтралью при внешнем ОЗЗ через ТТНП неповрежденного присоединения протекает его собственный емкостный ток, а при ОЗЗ на защищаемом присоединении — ток, определяемый емкостными токами остальных присоединений электрически связанной сети, что поясняется на рисунке 3.27. Поэтому основным условием применения ненаправленной токовой защиты является возможность одновременного обеспечения отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения и требуемой чувствительности при ОЗЗ на защищаемом присоединении.

Ненаправленные токовые защиты от ОЗЗ по основной гармонике $3I_0$ в сетях с компенсированной нейтралью, как правило, имеют ограниченную область применения. При настройке ДГР, близкой к резонансной, токи $3I_0$ при внешнем и внутреннем ОЗЗ могут быть близкими по значению, что затрудняет одновременное выполнение условий отстройки и чувствительности [161, 176, 177]. Применение ненаправленной токовой защиты по $3I_0$ в компенсированной сети допускается рассматривать при наличии расчетных или измеренных данных, подтверждающих достаточный остаточный ток ОЗЗ для выполнения условий отстройки и чувствительности. В частности, применение такой защиты возможно для генераторов и электродвигателей, собственные емкостные токи которых, как правило, невелики, а также при наличии в схеме заземления нейтрали дополнительных устройств, создающих активную составляющую тока ОЗЗ [166, 170]. При подключении резистора параллельно ДГР расчет уставок следует выполнять с учетом активной составляющей тока ОЗЗ по расчетным условиям для комбинированного заземления нейтрали.

В резистивно-заземленных сетях при внутреннем ОЗЗ через ТТНП поврежденного присоединения протекает активная составляющая тока ОЗЗ, создаваемая заземляющим резистором. Данная составляющая не определяет условие отстройки от внешнего ОЗЗ, но учитывается при проверке чувствительности защиты при ОЗЗ на защищаемом присоединении [126].

В сетях с низкоомным резистивным заземлением нейтрали ненаправленная токовая защита по $3I_0$, как правило, применяется как селективная защита от ОЗЗ с действием на отключение; при расчете чувствительности учитывается ток заземляющего резистора I_R, протекающий по защите поврежденного присоединения [126].

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТНП.

3.15.6.2 Расчет уставок для изолированной нейтрали

Значение уставки **«Iозз 1»** следует определять по следующим условиям:

- отстройка от собственного емкостного тока защищаемого присоединения при дуговых перемежающихся ОЗЗ;
- отстройка от максимального тока небаланса фильтра тока нулевой последовательности (ФТНП) в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ.

Значение уставки **«Iозз 1»** по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения при дуговых перемежающихся ОЗЗ следует определять по формуле [161, 170, 176]:

$$I_{озз\ 1} = k_{отс} \cdot k_{бр} \cdot I_{Сприс}\ [А] \qquad (3.238)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным из диапазона 1,2–1,3

$k_{бр}$ – коэффициент броска, учитывающий увеличение емкостного тока в момент возникновения внешнего перемежающегося ОЗЗ, принимается равным:
- 3,3–4,2 – при работе без выдержки времени;
- 2,0–2,1 – при работе с выдержкой времени при наличии риска перемежающейся дуги

Значение уставки **«Iозз 1»** по условию отстройки от максимального тока небаланса ФТНП в режимах без ОЗЗ или при внешних междуфазных КЗ [170, 176]:

$$I_{озз\ 1} = k_{отс} \cdot I_{3I0нб.макс}\ [А] \quad (3.239)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным:
- 1,25 – для трехтрансформаторных ФТНП;
- 1,5–2,0 – для кабельных ТТНП

Для защит ОЗЗ, действующих на сигнал, в сетях с изолированной нейтралью и с заземлением нейтрали через высокоомный резистор к указанным выше расчетным условиям дополнительно учитывается возможность наложения внешнего ОЗЗ на режим, обусловливающий возникновение максимального тока небаланса $I_{3I0нб.макс}$. Значение уставки **«Iозз 1»** для этого случая следует определять по формуле [176]:

$$I_{озз\ 1} = k'_{отс} \cdot I_{Сприс} + k''_{отс} \cdot I_{3I0нб.макс}\ [А] \quad (3.240)$$

где

$k'_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,2–1,3

$k''_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным:
- 1,25 – для трехтрансформаторных ФТНП;
- 1,5–2,0 – для кабельных ТТНП

Первичный ток небаланса для трехтрансформаторного ФТНП определяется по формуле [176]:

$$I_{3I0нб.макс} = k_{нб} \cdot I_{ф.расч.макс}\ [А] \quad (3.241)$$

где

$k_{нб}$ – коэффициент небаланса, принимается равным:
- 0,05 – при небольших кратностях, до (2–3)·$I_{ном}$, где $I_{ном}$ – номинальный фазный ток защищаемого присоединения, А;
- 0,1 – при больших кратностях, более 3·$I_{ном}$

$I_{ф.расч.макс}$ А максимальное значение фазного тока в месте установки ФТНП в режимах без ОЗЗ (нормальная работа, пуск/самозапуск электродвигателей, внешние КЗ и т. д.)

Наибольшее из значений уставки **«Iозз 1»**, вычисленное по формулам (3.238)–(3.240), может оказаться меньше, чем минимальный первичный ток срабатывания, определяемый нижней границей диапазона срабатывания и коэффициента трансформации ТТНП. В этом случае уставка **«Iозз 1»** определяется по формуле [176]:

$$I_{озз\ 1} = I_{озз\ 1.мин} \cdot k_{ТТНП} \quad (3.242)$$

где

$I_{озз\ 1.мин}$ А вторичное значение нижней границы диапазона тока срабатывания уставки **«Iозз 1»**, определяемое по таблицам 3.35–3.37 для соответствующего устройства

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Iозз 1»** следует выполнять по формуле [161, 166, 169, 176]:

$$k_{ч.3I0} = \frac{I_{C\Sigma мин} - I_{Сприс}}{I_{озз\ 1}} \quad (3.243)$$

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 9, пп. 10] коэффициент чувствительности защит от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью с действием на сигнал или отключение должен быть:

- около 1,25 – для кабельных линий при применении защит, реагирующих на токи основной частоты;
- около 1,5 – для воздушных линий.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 22] базовые значения коэффициента чувствительности для защит от замыкания на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью следует принимать:

- 1,25 – для измерительных органов защит кабельных ЛЭП, реагирующих на токи основной частоты;
- 1,5 – для измерительных органов защит кабельных ЛЭП, реагирующих на токи повышенных частот;
- 1,5 – для любых типов измерительных органов защит воздушных ЛЭП.

Для защиты электродвигателей с действием на отключение согласно [74] коэффициент чувствительности должен быть около 2. В [163] коэффициент чувствительности предлагается принимать из диапазона (1,5–2).

Значение уставки **«Тозз 1»** при работе защиты на сигнал, с учетом отстройки от кратковременных и самоликвидирующихся ОЗЗ, селективных и/или направленных защит от ОЗЗ (при наличии), феррорезонансных явлений, связанных с измерительными ТН, рекомендуется принимать из диапазона:

$$\text{Тозз } 1=(1-9)\ [\text{с}] \tag{3.244}$$

Значение уставки **«Тозз 2»** при действии ненаправленной токовой защиты от ОЗЗ по $3I_0$ на отключение следует выбирать с учетом назначения ступени, требований безопасности, допустимого времени существования ОЗЗ, необходимости отстройки от кратковременных переходных процессов и требований эксплуатирующей организации. При возможности применения защиты с выдержкой времени такая выдержка повышает устойчивость и селективность действия защиты при внешних ОЗЗ и переходных процессах [169].

При выполнении селективной защиты от ОЗЗ без выдержки времени по требованиям безопасности резервную защиту нулевой последовательности, действующую на отключение всей электрически связанной сети, следует выполнять с выдержкой времени [100, п. 3.2.97]:

$$\text{Тозз } 2=0{,}5\ [\text{с}] \tag{3.245}$$

В иных случаях значение выдержки времени отключающей ступени следует принимать по требованиям эксплуатирующей организации и условиям отстройки от переходных процессов.

В сетях, для которых нормативными документами или требованиями безопасности предусмотрено немедленное отключение ОЗЗ, значение уставки **«Тозз 2»** согласно ПУЭ следует принимать равным [100, п. 3.2.97]:

$$\text{Тозз } 2=0\ [\text{с}] \tag{3.246}$$

Указанное решение применимо, в частности, для сетей с повышенными требованиями к электробезопасности, включая шахтные, карьерные, торфоразработочные сети и сети передвижных механизмов [161, 166, 169, 176].

3.15.6.3 Расчет уставок для компенсированной нейтрали

Значение уставки **«Iозз 1»** в указанных случаях следует выбирать по тем же условиям, что и для сети с изолированной нейтралью: по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ, от максимального тока небаланса в цепи тока нулевой последовательности и с последующей проверкой чувствительности при внутреннем ОЗЗ.

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Iозз 1»** следует выполнять по формуле [176]:

$$k_{\text{ч.}3I0}=\frac{\sqrt{\left(\nu\cdot I_{C\Sigma\text{мин}}-I_{\text{Сприс}}\right)^2+\left(d\cdot I_{C\Sigma\text{мин}}\right)^2}}{\text{Iозз } 1} \tag{3.247}$$

где

ν – степень расстройки компенсации

d – коэффициент успокоения сети, определяется отношением активной составляющей тока ОЗЗ к $I_{C\Sigma\text{мин}}$

Значение коэффициента чувствительности следует принимать таким же, как для сети с изолированной нейтралью. Если выбранная уставка **«Iозз 1»** не обеспечивает требуемую чувствительность, ненаправленную токовую защиту по основной гармонике $3I_0$ не следует применять в качестве основного селективного признака ОЗЗ. В этом случае следует рассматривать применение защиты по высшим гармоническим составляющим тока $3I_0$, направленной защиты от ОЗЗ либо применения централизованной защиты от замыкания на землю **«Геум-К»**.

При действии защиты на отключение по требованиям безопасности значения выдержек времени следует выбирать с учетом общих требований 3.15.1 и расчетных положений 3.15.6.2: селективная защита поврежденного присоединения может выполняться без выдержки времени, а резервная защита нулевой последовательности, действующая на отключение всей электрически связанной сети, должна иметь выдержку времени 0,50 с [100, п. 3.2.97].

3.15.6.4 Расчет уставок для высокоомного резистивного заземления нейтрали

Значение уставки **«Iозз 1»** следует выбирать по тем же условиям, что и для сети с изолированной нейтралью: по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ, по условию отстройки от максимального тока небаланса в цепи тока нулевой последовательности и с последующей проверкой чувствительности при внутреннем ОЗЗ.

Значение уставки **«Iозз 1»** по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения следует определять по формуле (3.238) с учетом пониженного значения коэффициента броска $K_{бр}$=1–1,5 вследствие подавления переходных процессов в сети при подключении высокоомного резистора [166, 176]. Значение уставки **«Iозз 1»** по условию отстройки от максимального тока небаланса следует определять по формуле (3.239). Для защиты, действующей на сигнализацию, при необходимости следует дополнительно учитывать условие наложения внешнего ОЗЗ на режим, обусловливающий возникновение максимального тока небаланса, по формуле (3.240).

Окончательное значение уставки **«Iозз 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по вышеуказанным условиям.

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Iозз 1»** следует выполнять по выражению [176]:

$$k_{ч.3I0}=\frac{\sqrt{\left(I_{C\Sigma мин}-I_{Сприс}\right)^2+I_R^2}}{Iозз\ 1} \quad (3.248)$$

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 23]:

- 1,5 – для защит от замыкания на землю в электрических сетях с резистивным заземлением нейтрали коэффициент чувствительности;
- 1,2 – при неисправности резистора в цепи заземления нейтрали или работе сети в режиме с изолированной нейтралью.

Значение уставки **«Tозз 1»** при действии защиты на сигнализацию следует выбирать по тем же условиям, что и для сети с изолированной нейтралью.

Значения выдержек времени при действии защиты на отключение следует выбирать по проектным решениям, требованиям эксплуатирующей организации и условиям, приведенным в 3.15.6.2, если иное не установлено требованиями к принятому режиму заземления нейтрали.

3.15.6.5 Расчет уставок для низкоомного резистивного заземления нейтрали

Для сети с низкоомным резистивным заземлением нейтрали действие защиты от ОЗЗ, как правило, следует выполнять на отключение поврежденного присоединения. Для указанного действия рекомендуется использовать вторую ступень ОЗЗ с набором уставок **«Iозз 2»** и **«Tозз 2»**. Значение уставки **«Iозз 2»** следует выбирать с учетом активной составляющей тока ОЗЗ, создаваемой заземляющим резистором. При выполнении условия $I_C \ll I_R$ расчетный ток ОЗЗ допускается принимать определяемым активной составляющей тока через резистор [126, п. 5.4]:

$$I_R=\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}\cdot R_N} \quad (3.249)$$

где

I_R	А	активная составляющая тока ОЗЗ, создаваемая заземляющим резистором
$U_{ном}$	В	номинальное линейное напряжение сети
R_N	Ом	сопротивление заземляющего резистора

Значение уставки **«Iозз 2»** по условию отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения следует определять по формуле [126, п. 5.11]:

$$Iозз\ 2=k_{отс}\cdot k_{бр}\cdot I_{Сприс}\ [А] \quad (3.250)$$

где

$k_{отс}$	–	коэффициент отстройки, принимается равным 1,2
$k_{бр}$	–	учитывающий бросок емкостного тока, принимается равным 1,2

При использовании трехтрансформаторного ФТНП значение уставки **«Iозз 2»** дополнительно следует проверять по условию отстройки от тока небаланса при междуфазных КЗ. Для защиты без выдержки времени ток небаланса допускается определять по формуле [173]:

$$Iозз\ 2=k_н\cdot I_{нб}\ [А] \quad (3.251)$$

где

$k_н$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,1–1,2

$I_{нб}$ А первичный ток небаланса ФТНП

Первичный ток небаланса ФТНП определяется по формуле [173]:

$$I_{нб} = k_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{кз.макс} \ [А] \quad (3.252)$$

где

$k_{одн}$ – коэффициент однотипности ТТ, принимается равным 1

ε – предельная погрешность ТТ, принимается равной 0,1

$I_{кз.макс}$ А максимальный ток междуфазного КЗ, который будет протекать по ФТНП

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Iозз 2»** следует выполнять по формуле [176]:

$$k_{ч.3I0} = \frac{I_R}{Iозз\ 2} \quad (3.253)$$

Специальные значения коэффициента чувствительности защит от ОЗЗ для сетей с резистивным заземлением нейтрали в ПУЭ [100, п. 3.2.21] отдельно не выделены. При работе сети в режиме с изолированной нейтралью по причине неисправности резистора либо по иным причинам проверку чувствительности следует выполнять по требованиям, приведенным для сети с изолированной нейтралью в 3.15.6.2.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 23]:

- 1,5 – для защит от замыкания на землю в электрических сетях с резистивным заземлением нейтрали коэффициент чувствительности;
- 1,2 – при неисправности резистора в цепи заземления нейтрали или работе сети в режиме с изолированной нейтралью.

Значение уставки **«Tозз 2»** следует принимать по проектным решениям и требованиям эксплуатирующей организации. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Tозз 2»** допускается выбирать по условию отстройки от времени резервной ступени защиты от междуфазных КЗ [173]:

$$Tозз\ 2 = t_{сз.рез} + \Delta t \ [с] \quad (3.254)$$

где

$t_{сз.рез}$ с выдержка времени резервной ступени защиты от междуфазных КЗ, установленной на защищаемом присоединении

Δt – ступень селективности, выбирается по таблице 3.3

Если при выполнении защиты без выдержки времени значение уставки **«Iозз 2»**, выбранное по условию отстройки от тока небаланса трехтрансформаторного ФТНП при максимальном токе междуфазного КЗ, не обеспечивает требуемую чувствительность при ОЗЗ, защиту следует выполнять с выдержкой времени. В этом случае ток небаланса трехтрансформаторного ФТНП допускается определять по максимальному току нагрузки защищаемого присоединения [173]:

$$I'_{нб} = k'_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{нагр.макс} \ [А] \quad (3.255)$$

где

$k'_{одн}$ – коэффициент однотипности ТТ, принимается из диапазона 0,5–1

ε – предельная погрешность ТТ, принимается равным 0,1

$I_{нагр.макс}$ А максимальный ток нагрузки, который оценочно можно принять равным номинальному первичному току ТТ, установленных на защищаемом фидере

Если по требованиям безопасности для конкретного объекта защита от ОЗЗ должна действовать без выдержки времени, возможность задания выдержки времени, равной 0 с, должна быть подтверждена проектными решениями, требованиями эксплуатирующей организации и проверкой несрабатывания защиты при переходных процессах и внешних повреждениях.

3.15.7 Расчет уставок направленной токовой защиты от ОЗЗ по $3I_0$

Направленная токовая защита от ОЗЗ по $3I_0$ предназначена для выявления поврежденного присоединения по току нулевой последовательности и направлению мощности нулевой последовательности. Для действия защиты используются ток $3I_0$, протекающий через ТТНП защищаемого присоединения, напряжение $3U_0$ и фазовые соотношения между указанными величинами [171, 176].

Расчет уставок направленной токовой защиты следует выполнять по исходным данным, приведенным в 3.15.1, с учетом расчетных токов ОЗЗ, определенных в 3.15.3 и полярности подключения ТТНП и ТН.

3.15.7.1 Назначение и общие условия применения

Направленная токовая защита от ОЗЗ по $3I_0$ применяется для селективного определения поврежденного присоединения в электрически связанной сети. В отличие от ненаправленной токовой защиты, селективность направленной защиты обеспечивается не только выбором токовой уставки, но и контролем направления мощности нулевой последовательности [171, 176].

В сетях с изолированной нейтралью направленную защиту следует рассматривать при невыполнении условий применимости ненаправленной токовой защиты по $3I_0$. В компенсированных сетях направленная защита может применяться при наличии достаточного остаточного тока основной гармоники и устойчивых фазовых соотношений измеряемых величин; при недостаточной чувствительности по основной гармонике следует рассматривать защиту по высшим гармоническим составляющим тока $3I_0$ либо применения централизованной защиты от замыкания на землю **«Геум-И»**.

3.15.7.2 Расчет уставки угла максимальной чувствительности

Значения уставок **«Фмч НП»** и **«Фмч НП расч»** следует выбирать с учетом фазовых соотношений между напряжением $3U_0$ и током $3I_0$, протекающим через ТТНП защищаемого присоединения, а также с учетом направления отсчета угла, принятого в РЭ соответствующего устройства.

При принятом условном положительном направлении токов $3I_0$ от шин в сторону линии фазовые соотношения между $3U_0$ и $3I_0$ при внешнем и внутреннем ОЗЗ различаются примерно на 180°, что поясняется на рисунке 3.28. Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** положительный угол между $3U_0$ и $3I_0$ отсчитывается от вектора напряжения $3U_0$ до вектора тока $3I_0$ по часовой стрелке. При указанном направлении отсчета расчетное значение уставок **«Фмч НП»** или **«Фмч НП расч»** при внутреннем ОЗЗ следует предварительно принимать равным:

$$\text{Фмч НП} = 90 \text{ [град]} \tag{3.256}$$

При изменении полярности подключения ТТНП или цепи напряжения $3U_0$ расчетное значение угла изменяется на 180°. Поэтому окончательные значения уставок **«Фмч НП»** или **«Фмч НП расч»** следует принимать после проверки правильности действия органа направления мощности нулевой последовательности при имитации внутреннего и внешнего ОЗЗ.

3.15.7.3 Расчет уставок для изолированной нейтрали

Значение уставки **«Iозз 1»** направленной защиты не требуется отстраивать от собственного емкостного тока защищаемого присоединения, поскольку отстройка от внешнего ОЗЗ обеспечивается направленным органом. Значение уставки **«Iозз 1»** следует выбирать по условию отстройки от максимального тока небаланса в цепи тока нулевой последовательности по формуле (3.239).

Кроме того, значение уставки **«Iозз 1»** должно удовлетворять условию минимального первичного тока срабатывания, обусловленного нижней границей диапазона задания уставки и коэффициентом трансформации ТТНП, по формуле (3.242).

Для направленной защиты значение уставки **«Iозз 1»** допускается выбирать исходя из условия обеспечения требуемой чувствительности при внутреннем ОЗЗ [176]:

$$\text{Iозз } 1 \le \frac{I_{C\Sigma\text{мин}} - I_{\text{Сприс}}}{k_{\text{ч.3I0мин}}} \tag{3.257}$$

где

$k_{\text{ч.3I0мин}}$ – минимально допустимый коэффициент чувствительности, принимаемый по 3.15.6.2

Проверку коэффициента чувствительности направленной защиты при внутреннем ОЗЗ следует выполнять по формуле (3.243). Отдельные значения коэффициента чувствительности для направленной защиты не вводятся; минимально допустимые значения коэффициента чувствительности следует принимать по **3.15.6.2**.

Значения уставок выдержек времени направленной ступени ОЗЗ следует выбирать по назначению соответствующей ступени. При отсутствии специальных требований значения **«Тозз 1»** и **«Тозз 2»** следует выбирать по условиям, приведенным в **3.15.6.2** для ненаправленной токовой защиты по $3I_0$, с учетом действия ступени на сигнализацию или отключение.

Если направленная защита от ОЗЗ применяется как селективная защита с действием на отключение по требованиям безопасности, значение выдержки времени соответствующей ступени следует принимать равным 0 с, при условии, что защита отключает только элемент, питающий поврежденный участок [**100**, п. 3.2.97].

Если направленная защита используется как резервная защита нулевой последовательности, действующая на отключение всей электрически связанной сети, значение выдержки времени следует принимать равным 0,50 с [**100**, п. 3.2.97].

3.15.7.4 Особенности применения при резистивном и комбинированном заземлении нейтрали

Для сети с высокоомным резистивным заземлением нейтрали расчет токовой уставки направленной защиты следует выполнять с учетом активной составляющей тока ОЗЗ, создаваемой заземляющим резистором. При этом направленный орган может применяться для повышения селективности определения поврежденного присоединения, если ненаправленная токовая защита по $3I_0$ не обеспечивает требуемой устойчивости действия [**171**, **176**].

Для сети с низкоомным резистивным заземлением нейтрали основным расчетным принципом, как правило, является токовая защита по $3I_0$ с действием на отключение, поскольку расчетный ток ОЗЗ определяется преимущественно активной составляющей тока, создаваемой заземляющим резистором [**126**, **173**].

При выборе токовой уставки направленной защиты допускается исходить из условия обеспечения требуемой чувствительности. Для режима исправной работы заземляющего резистора значение уставки **«Iозз 2»** должно удовлетворять условию [**171**]:

$$I_{озз\ 2} \leq \frac{I_R}{k_{ч.3I0мин}}\ [А] \qquad (3.258)$$

При необходимости сохранения чувствительности защиты при неисправности заземляющего резистора или работе сети в режиме с изолированной нейтралью значение уставки **«Iозз 2»** дополнительно должно удовлетворять условию [**171**]:

$$I_{озз\ 2} \leq \frac{I_{C\Sigma мин} - I_{Сприс}}{k_{ч.3I0мин}}\ [А] \qquad (3.259)$$

Минимально допустимое значение коэффициента чувствительности для защит от ОЗЗ в сетях с резистивным заземлением нейтрали следует принимать равным 1,5. Указанное значение соответствует базовому значению коэффициента чувствительности согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 23]. При необходимости обеспечения дополнительного запаса чувствительности значение допускается принимать равным 2,0 по требованиям эксплуатирующей организации или проектным решениям [**171**].

При проверке режима неисправности заземляющего резистора допускается учитывать значение коэффициента чувствительности 1,2, установленное [**145**, п. 23], однако при выборе уставок направленной защиты по подходу [**171**] рекомендуется сохранять значение коэффициента чувствительности, равное 1,5, если иное не задано требованиями эксплуатирующей организации.

3.15.7.5 Выбор уставки по высшим гармоническим составляющим тока $3I_0$

Уставку **«Iозз 1 вг»** следует выбирать при применении первой ступени ОЗЗ по суммарному уровню высших гармонических составляющих тока $3I_0$.

Значение уставки **«Iозз 1 вг»** следует выбирать по условию отстройки от максимального уровня высших гармонических составляющих в токе $3I_0$ защищаемого присоединения при внешнем ОЗЗ:

$$I_{озз\ 1\ вг} = k_{отс} \cdot \alpha_{макс} \cdot I_{Сприс}\ [А] \qquad (3.260)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент надежности отстройки, принимается из диапазона 1,2–1,3

$\alpha_{макс}$ о.е. максимальный относительный уровень высших гармонических составляющих рабочего диапазона частот в токе ОЗЗ

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Iозз 1 вг»** допускается выполнять по формуле:

$$k_{ч.3I0.вг}=\frac{\alpha_{мин}\cdot\left(I_{C\Sigma мин}-I_{Сприс}\right)}{Iозз\ 1\ вг} \quad (3.261)$$

где

$\alpha_{мин}$ о.е. минимальный относительный уровень высших гармонических составляющих в токе устойчивого ОЗЗ в контролируемой сети

Коэффициенты α_{max} и α_{min} – соответственно максимальный и минимальный относительные уровни высших гармонических составляющих рабочего диапазона частот в токе устойчивого ОЗЗ в контролируемой сети. Содержание высших гармоник зависит от параметров сети, состава и режимов работы источников высших гармоник, режима работы сети и характера ОЗЗ и может изменяться от единиц процентов до значения порядка 50 % [176]. При отсутствии уточненных данных допускается предварительно принимать α_{max}=0,4÷0,5, α_{min}=0,01 с последующим уточнением по результатам наладки и эксплуатации.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 9, пп. 10] коэффициент чувствительности защит от замыканий на землю, реагирующих на токи повышенных частот, должен быть:

- около 1,5.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 22] базовое значение коэффициента чувствительности для измерительных органов защит кабельных ЛЭП от замыканий на землю в электрических сетях с изолированной нейтралью, реагирующих на токи повышенных частот, следует принимать:

- 1,5.

Значение уставки **«Тозз 1»** при работе первой ступени ОЗЗ следует выбирать с учетом назначения ступени, требований безопасности, необходимости отстройки от кратковременных переходных процессов и принятой схемы селективности защит от ОЗЗ.

При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тозз 1»** допускается предварительно принимать из диапазона:

$$Тозз\ 1=(0{,}5-2{,}0)\ [с] \quad (3.262)$$

Указанный диапазон рекомендуется для повышения помехозащищенности защиты и устойчивости ее действия в переходных режимах [171].

Для объектов, в которых нормативными документами или требованиями безопасности предусмотрено немедленное отключение ОЗЗ, значение уставки **«Тозз 1»** следует принимать равным:

$$Тозз\ 1=0\ [с] \quad (3.263)$$

При этом защита должна отключать только элемент, питающий поврежденный участок [100, п. 3.2.97]. Указанное решение применимо, в частности, для шахтных, карьерных, торфоразработочных и иных специальных сетей, где требуется отключение поврежденного присоединения без выдержки времени [171].

При необходимости обеспечения временной селективности в сети с последовательно включенными присоединениями значение уставки **«Тозз 1»** следует выбирать с учетом выдержек времени нижестоящих защит. Для отходящих фидеров, питающих РП или подстанции, значение **«Тозз 1»** допускается предварительно принимать из диапазона:

$$Тозз\ 1=(1{,}0-1{,}5)\ [с] \quad (3.264)$$

При наличии резервной ступени на вводе значение ее выдержки времени допускается предварительно принимать из диапазона [171]:

$$Тозз\ 1=(0{,}5-0{,}7)\ [с] \quad (3.265)$$

Окончательное значение выдержки времени следует принимать по проектным решениям, требованиям эксплуатирующей организации, диапазону и дискретности задания уставки соответствующего устройства, а также по результатам наладки и анализа осциллограмм реальных ОЗЗ.

3.15.7.6 Расчет уставки задержки возврата первой ступени ОЗЗ

Уставка **«Тозз 1 возв»** задает задержку возврата первой ступени ОЗЗ после исчезновения условий ее пуска. Указанную уставку следует применять для удержания состояния пуска защиты при перемежающемся ОЗЗ, когда во время кратковременных бестоковых пауз или кратковременного исчезновения измерительного признака не должен сбрасываться отсчет выдержки времени срабатывания. Указанное особенно актуально при защите кабелей с бумажно-масляной изоляцией, для которых ОЗЗ может иметь перемежающийся характер. При возникновении ОЗЗ дуга может приводить к разложению мастично-масляной пропитки; в образовавшемся газовом пузыре дуга гаснет, возникает бестоковая пауза, после чего дуга может возникнуть повторно. Если защита имеет выдержку времени на срабатывание, во время такой паузы возможен возврат защиты в исходное состояние и сброс отсчета выдержки времени. Задержка возврата предотвращает возврат защиты в исходное состояние, если длительность бестоковой паузы не превышает заданное значение [171].

Значение уставки **«Тозз 1 возв»** рекомендуется предварительно принимать равным

$$\text{Тозз 1 возв} = 0{,}3 \text{ с} \tag{3.266}$$

При наличии осциллограмм перемежающихся ОЗЗ значение уставки следует уточнять по фактической длительности бестоковых пауз и устойчивости фиксации пуска защиты.

4 ЗАЩИТЫ ПО НАПРЯЖЕНИЮ

Защиты по напряжению применяются для выявления недопустимого снижения или повышения напряжения, потери питания секции шин, а также для формирования команд отключения, сигнализации, блокировки включения и пуска устройств автоматики.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** реализованы следующие защиты по напряжению:

- защита минимального напряжения (ЗМН);
- защита от повышения напряжения (ЗПН);
- защита от потери питания (ЗПП).

4.1 ЗАЩИТА МИНИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ (ЗМН)

4.1.1 Общие сведения

ЗМН предназначена для отключения части нагрузки с целью облегчения самозапуска ЭД, для предотвращения перегрева ЭД в случаях, когда самозапуск невозможен, а также для отключения электрооборудования при недопустимом снижении напряжения. Согласно ПУЭ [**100**, п. 5.3.43] защита минимального напряжения входит в обязательный состав защит асинхронных и синхронных электродвигателей напряжением выше 1 кВ наряду с защитами от многофазных КЗ, однофазных замыканий на землю и токов перегрузки

ЗМН, установленная на батарее статических конденсаторов (БСК), действует на отключение при снижении или исчезновении напряжения на шинах для исключения возможности повторной подачи напряжения на неразрядившуюся БСК (в этом случае к БСК может быть приложено удвоенное напряжение сети).

Одна из ступеней ЗМН может использоваться для отключения электрооборудования при недопустимом снижении напряжения.

Защита выполняется в двух исполнениях: групповая — организуется в ячейке шинного ТН; индивидуальная — выполняется на каждом отходящем присоединении при наличии функции ЗМН в его терминале и действует только на собственный выключатель. Если к одной секции шин подключено более одного ЭД, как правило, применяется двухступенчатая ЗМН.

Первая ступень ЗМН может быть использована как временное мероприятие для предотвращения режима асинхронного хода без потери возбуждения [**9**]. При этом ЗМН и не заменяет специализированную защиту от асинхронного хода (см. **5.11**).

В ряде схем с использованием ЗМН может использоваться в качестве делительной защиты по напряжению (ДЗН), отключающей выключатели участков сети перед действием сетевого АВР и обеспечивающей автоматическое секционирование сети. Такой режим характерен, в частности, для схем сетевого АВР, расчет уставок которых рассматривается в разделе **10.3** (10.3). При длительном снижении напряжения на шинах узла ниже заданного уровня, обусловленного повреждением или тяжелым аварийным режимом, такая ДЗН разделяет сеть на части и создает условия для работы сетевого АВР и местных устройств АВР/АПВ. При применении ЗМН в качестве ДЗН ее действие должно быть отстроено от кратковременных снижений напряжения, обусловленных КЗ в смежной сети и действием защит, АПВ или АВР питающей сети. ДЗН должна срабатывать только при устойчивом снижении напряжения, сохраняющемся после завершения предусмотренных циклов восстановления питания.

Действие ступеней ЗМН следует назначать в соответствии с проектным решением или требованиями эксплуатирующей организации: на сигнализацию, на отключение собственного выключателя, на отключение группы присоединений. При выборе уставок времени необходимо учитывать, является ли рассматриваемая ступень действующей на сигнал или на отключение.

ЗМН реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Защита минимального напряжения»**, основные параметры которого приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Алгоритм «Защита минимального напряжения»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	–	3	3	2	2

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Измерение линейных напряжений	–	+	+	+	+
Блокировка по U2	–	+	+	+	+
Блокировка по отсутствию РПВ	–	+	+	+	+

При применении ЗМН необходимо учитывать блокировки, предусмотренные алгоритмом **«ЗМН»**. Блокировка по напряжению обратной последовательности и блокировка по отсутствию сигнала РПВ применяются для исключения неправильного действия ЗМН при несимметричных режимах, нарушениях цепей напряжения и отключенном положении выключателя.

Номера ступеней ЗМН, используемые в настоящем подразделе, приняты условно и соответствуют трехступенчатой реализации алгоритма. При применении устройств, содержащих меньшее число ступеней ЗМН, требуемые функции следует распределять по имеющимся ступеням с учетом проектных решений и приоритета действия защиты.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Уставки алгоритма «Защита минимального напряжения» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Защита минимального напряжения (ЗМН)							
Uзмн 1	В	60	10	100	0,01	1,05	ЗМН 1 - напряжение срабатывания
Тзмн 1	с	1	0	100	0,01	-	ЗМН 1 – задержка срабатывания
Uзмн 2	В	75	10	100	0,01	1,05	ЗМН 2 - напряжение срабатывания
Тзмн 2	с	1	0	100	0,01	-	ЗМН 2 – задержка срабатывания

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Уставки алгоритма «Защита минимального напряжения» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Защита минимального напряжения (ЗМН)							
Uзмн 1	В	60	10	100	0,01	1,05	ЗМН 1 - напряжение срабатывания
Тзмн 1	с	1	0	100	0,01	-	ЗМН 1 – задержка срабатывания
Uзмн 2	В	75	10	100	0,01	1,05	ЗМН 2 - напряжение срабатывания
Тзмн 2	с	1	0	100	0,01	-	ЗМН 2 – задержка срабатывания
Uзмн 3	В	80	10	100	0,01	1,05	ЗМН 3 - напряжение срабатывания
Тзмн 3	с	1	0	100	0,01	-	ЗМН 3 – задержка срабатывания

Расчет значений уставок по напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТН.

4.1.2 Расчет уставок ЗМН для обеспечения самозапуска ЭД

Первая ступень ЗМН предназначена для отключения ЭД неответственных механизмов с целью облегчения условий восстановления напряжения на шинах и обеспечения самозапуска ЭД ответственных механизмов после восстановления питания [**100**, п. 5.3.52]. Согласно ПУЭ уставка первой ступени ЗМН по напряжению должна приниматься, как правило, не выше 70 % номинального напряжения, а выдержка времени — в пределах от 0,5 до 1,5 с, на ступень больше времени действия быстродействующих защит от многофазных КЗ [**100**, п. 5.3.52].

С учетом требований ПУЭ и рекомендаций [8; 102; 140] значение уставки **«Uзмн 1»** следует принимать равным: [**9**, **100** п.5.3.52, **113**, **155**]:

$$Uзмн\ 1 = (0,6 - 0,7) \cdot U_{ном}\ [В] \quad (4.1)$$

где

$U_{ном}$ В номинальное междуфазное напряжение сети

Значение уставки **«Тзмн 1»** выбирается по условию отстройки от времени действия быстродействующих защит от междуфазных КЗ отходящих присоединений и принимается из диапазона [100, п.5.3.52]:

$$Тзмн\ 1 = (0{,}5 - 1{,}5)\ [с] \quad (4.2)$$

При отсутствии специальных требований по согласованию с быстродействующими защитами отходящих присоединений значение уставки **«Тзмн 1»** допускается предварительно принимать равным [9, 113, 155]:

$$Тзмн\ 1 = 0{,}5\ [с] \quad (4.3)$$

Вторая ступень ЗМН предназначена для отключения ЭД ответственных механизмов в случаях, когда самозапуск всех ЭД не может быть обеспечен, а также когда самозапуск механизмов после останова недопустим по условиям технологического процесса или требованиям безопасности [100, п. 5.3.53]. Согласно ПУЭ уставка второй ступени ЗМН по напряжению должна приниматься, как правило, не выше 50 % номинального напряжения, а выдержка времени — не более 10 с [100, п. 5.3.53].

С учетом требований ПУЭ и рекомендаций [113, 155] значение уставки **«Uзмн 2»** следует принимать равным:

$$Uзмн\ 2 = (0{,}45 - 0{,}5) \cdot U_{ном}\ [В] \quad (4.4)$$

Значение уставки **«Тзмн 2»** следует выбирать с учетом допустимого времени перерыва питания ЭД по условиям технологического процесса и требованиям безопасности и принимать из диапазона [113, 155]:

$$Тзмн\ 2 = (3 - 9)\ [с] \quad (4.5)$$

По данным [9] значение уставки **«Тзмн 2»** принимается из диапазона:

$$Тзмн\ 2 = (5 - 10)\ [с] \quad (4.6)$$

При выборе значений **«Uзмн 1»**, **«Тзмн 1»**, **«Uзмн 2»** и **«Тзмн 2»** следует учитывать требования ПУЭ [100, п. 5.3.52, п. 5.3.53], допустимость самозапуска ЭД ответственных механизмов, состав отключаемой неответственной нагрузки, требования технологического процесса и условия безопасности. Рекомендации [9, 113, 155] допускается использовать для уточнения расчетных значений уставок в пределах, не противоречащих указанным требованиям ПУЭ.

Окончательное значение уставки **«Uзмн 1»** следует принимать не более значения, определенного по формуле (4.1), и не выше 0,7·$U_{ном}$. Окончательное значение уставки **«Uзмн 2»** следует принимать не более значения, определенного по формуле (4.4), и не выше 0,5·$U_{ном}$.

Окончательное значение уставки **«Тзмн 1»** следует принимать по условию отстройки от времени действия быстродействующих защит отходящих присоединений от многофазных КЗ, но в пределах 0,5–1,5 с. Окончательное значение уставки **«Тзмн 2»** следует принимать по условиям технологического процесса и безопасности, но не более 10 с.

4.1.3 Расчет уставок ЗМН для отключения электрооборудования при недопустимом снижении напряжения

Защита минимального напряжения для отключения электрооборудования при недопустимом снижении напряжения предназначена для отключения электродвигателей и другого электрооборудования, длительная работа которого при пониженном напряжении недопустима по условиям технологического процесса, устойчивости работы, требованиям безопасности или документации завода-изготовителя.

Для электродвигателей необходимость отключения при недопустимом снижении напряжения следует определять с учетом требований ПУЭ [100, п. 5.3.52]. Для другого электрооборудования необходимость отключения, допустимое значение напряжения и допустимое время работы при пониженном напряжении следует принимать по документации завода-изготовителя, проектным решениям и требованиям технологического процесса.

Расчет уставки **«Uзмн 3»** по условию отстройки от минимально допустимого напряжения электрооборудования следует выполнять по формуле:

$$Uзмн\ 3 \geq U_{недоп.макс}\ [В] \quad (4.7)$$

где

$U_{недоп.макс}$ В наибольшее значение напряжения, при котором дальнейшая работа электрооборудования считается недопустимой

При этом значение уставки **«Uзмн 3»** должно быть отстроено от минимального напряжения нормального режима и обеспечивать возврат ЗМН после восстановления напряжения:

$$Uзмн\ 3 < \frac{U_{раб.мин}}{k_в}\ [В] \quad (4.8)$$

где

$U_{раб.мин}$ В минимальное напряжение нормального режима работы электрооборудования

$k_в$ – коэффициент возврата уставки **«Uзмн 3»** для соответствующего устройства

Значение уставки **«Tзмн 3»** следует выбирать с учетом допустимого времени работы электрооборудования при пониженном напряжении, а также с отстройкой от кратковременных снижений напряжения, обусловленных КЗ во внешней сети, пуском электродвигателей, действием АВР и другими возможными переходными процессами:

$$Tзмн\ 3 > t_{кр.сниж.макс}\ [с] \quad (4.9)$$

$$Tзмн\ 3 < t_{доп.сниж}\ [с] \quad (4.10)$$

где

$t_{кр.сниж.макс}$ с наибольшая длительность кратковременного снижения напряжения

$t_{доп.сниж}$ с допустимое время работы электрооборудования при пониженном напряжении

Окончательное значение уставки **«Tзмн 3»** следует принимать по условиям технологического процесса, требований безопасности и допустимого времени работы электрооборудования при пониженном напряжении, с учетом отстройки от кратковременных снижений напряжения в сети.

4.1.4 Расчет уставок ЗМН БСК

ЗМН, применяемая для БСК, действует на отключение выключателя БСК при снижении или исчезновении напряжения на шинах. Назначением ЗМН БСК является исключение повторной подачи напряжения на неразрядившуюся БСК, при которой к БСК может быть приложено повышенное напряжение.

Значение уставки **«Uзмн 1»** для БСК следует выбирать по условию обеспечения возврата ступени ЗМН при минимальном остаточном напряжении на шинах, в том числе обусловленном самозапуском ЭД после восстановления питания:

$$Uзмн\ 1 \leq \frac{U_{ост.мин}}{k_{отс} \cdot k_в}\ [В] \quad (4.11)$$

где

$U_{ост.мин}$ В номинальное междуфазное напряжение сети

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2

$k_в$ – коэффициент возврата уставки **«Uзмн 1»** для соответствующего устройства

При отсутствии расчетных данных значение минимального остаточного напряжения на шинах значение уставки **«Uзмн 1»** допускается предварительно принимать равным:

$$Uзмн\ 1 \leq k_{отс} \cdot U_{ном}\ [В] \quad (4.12)$$

где

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным из диапазона 0,8–0,9

Значение уставки **«Tзмн 1»** для БСК следует выбирать по условию отстройки от максимального времени действия защит смежных присоединений при КЗ, в зоне действия которых напряжение на шинах снижается ниже значения уставки **«Uзмн 1»**:

$$Tзмн\ 1 = t_{смеж.макс} + \Delta t\ [с] \quad (4.13)$$

где

$t_{смеж.макс}$ с максимальная выдержка времени смежных защит, при КЗ в зоне действия которых напряжение на шинах снижается ниже значения уставки **«Uзмн 1»**

Δt с ступень селективности, выбирается по таблице 3.3

4.1.5 Расчет уставок ЗМН как временной меры предотвращения асинхронного хода

ЗМН может применяться как временная мера для предотвращения опасного режима асинхронного хода с возбуждением синхронных двигателей при симметричном снижении напряжения на шинах в послеаварийном процессе. Такое применение ЗМН следует рассматривать как упрощенное решение, допускаемое при отсутствии специализированного устройства опережающего отключения СД при потере устойчивости либо до его внедрения. При применении ЗМН в указанном назначении ступень должна действовать на отключение СД. Следует учитывать, что такая реализация реагирует только на симметричное снижение напряжения, характерное для послеаварийного процесса после отключения КЗ, и должна быть отстроена от действия быстродействующих защит в сети [9].

Значение уставки **«Uзмн 1»** как временной меры предотвращения опасного режима асинхронного хода с возбуждением следует принимать равным [9]:

$$Uзмн\ 1 = (0{,}6 - 0{,}65) \cdot U_{ном}\ [В] \quad (4.14)$$

Рекомендованное значение **«Тзмн 1»** как временной меры предотвращения асинхронного хода [9]:

$$Tзмн\ 1 = (0{,}2 - 0{,}3)\ [с] \quad (4.15)$$

Окончательное значение уставки **«Тзмн 1»** следует принимать в пределах, определенных по формуле (4.15), при условии отстройки от быстродействующих защит, действующих при КЗ в питающей сети.

Применение ЗМН в качестве временной меры предотвращения опасного режима асинхронного хода должно быть подтверждено расчетом или анализом устойчивости СД. При этом следует учитывать возможность излишнего отключения СД при переходных процессах, не приводящих к потере устойчивости [8]. В общем случае для предотвращения и прекращения асинхронного режима следует применять специализированные устройства противоаварийной автоматики, различающие асинхронный режим, синхронные качания, КЗ и другие ненормальные режимы [100, п. 3.3.75].

4.1.6 Расчет уставок ЗМН как делительной защиты, действующей перед сетевым АВР

ЗМН может применяться в качестве делительной защиты минимального напряжения, действующей перед сетевым АВР. Назначением такой защиты является предварительное отделение участка сети, потерявшего питание от основного источника, до действия сетевого АВР, а также обеспечение селективного взаимодействия с АПВ питающих линий и АВР в питающей сети.

Значение уставки **«Uзмн 1»** по условию согласования чувствительности делительной ЗМН с пусковым органом минимального напряжения сетевого АВР следует определять по формуле:

$$Uзмн\ 1 = k_{отс} \cdot U_{авр.с}\ [В] \quad (4.16)$$

где

$k_{отс}$	–	коэффициент отстройки, принимается равным 1,1–1,2
$U_{авр.с}$	В	напряжение срабатывания соответствующего пускового органа минимального напряжения сетевого АВР

Для схемы с АВР для пунктов секционирования $U_{авр.с}$ следует принимать равным соответствующей уставке **«Uавр пс 1»** или **«Uавр пс 2»**, выбранной по 10.3 для той стороны пункта секционирования, с которой должно быть обеспечено согласование действия делительной ЗМН. Для схем с местным АВР допускается принимать $U_{авр.с}=U_{авр}$, определяемое по формулам (10.1)–(10.2).

Значение уставки **«Тзмн 1»** по условию отстройки от времени срабатывания защит, в зоне действия которых КЗ могут вызывать снижение напряжения ниже значения уставки **«Uзмн 1»**, следует определять по формуле [161, 162]:

$$Tзмн\ 1 \geq \max\left(t_{защ.Д} + \Delta t;\ t_{защ.Г} + \Delta t\right)\ [с] \quad (4.17)$$

где

$t_{защ.Д}$	с	наибольшее время срабатывания защит присоединений, подключенных к шинам подстанции Д, при КЗ в зоне действия которых напряжение на шинах снижается ниже значения уставки **«Uзмн 1»**
$t_{защ.Г}$	с	наибольшее время срабатывания защит присоединений, подключенных к шинам подстанции Г, при КЗ в зоне действия которых напряжение на шинах снижается ниже значения уставки **«Uзмн 1»**
Δt	с	ступень селективности; рекомендуемые значения приведены в 10.1.2 при формуле (10.3)

Индексы Д и Г в формуле (4.17) приведены для схемы на рисунке 10.3. Для иных схем обозначения $t_{защ.Д}$ и $t_{защ.Г}$ следует заменять на времена действия защит соответствующих присоединений, КЗ на которых вызывают снижение напряжения ниже значения уставки **«Uзмн 1»**.

Значение уставки **«Тзмн 1»** по условию согласования действия делительной ЗМН с АПВ питающей линии следует определять по формуле [161, 162]:

$$Тзмн\ 1 \geq t_{защ} + t_{АПВ1} + t_{защ.уск} + t_{АПВ2} + t_{зап}\ [с] \quad (4.18)$$

где обозначения соответствуют обозначениям, принятым в формуле (10.4).

Формула (4.21) записана для случая двухциклового АПВ питающей линии. При ином составе автоматики следует учитывать только фактически реализованные циклы АПВ и соответствующие времена действия защит. Для схемы на рисунке 10.3 условие (4.21) означает, что делительная ЗМН на подстанции Г должна действовать только после неуспешного действия принятого цикла АПВ линии Л1.

При согласовании с АВР в питающей сети значение уставки **«Тзмн 1»** следует определять по формуле [161, 162]:

$$Тзмн\ 1 \geq t_{АВР\ пит} + \Delta t\ [с] \quad (4.19)$$

где

$t_{АВР\ пит}$ с время работы АВР в питающей сети

Δt с ступень селективности, рекомендуемые значения приведены в 10.1.2 при формуле (10.3)

Условия (4.17)–(4.19) следует учитывать в зависимости от фактической схемы сети и состава устройств автоматики. Если в рассматриваемой схеме отсутствуют АПВ питающей линии или АВР в питающей сети, соответствующее условие при выборе выдержки времени делительной ЗМН не учитывается.

При выборе окончательного значения уставки **«Uзмн 1»** должно быть обеспечено более чувствительное действие делительной ЗМН по сравнению с пусковым органом минимального напряжения сетевого АВР.

Окончательное значение уставки **«Тзмн 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (4.17)–(4.19).

4.2 ЗАЩИТА ОТ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ (ЗПН)

4.2.1 Общие сведения

ЗПН предназначена для защиты конденсаторных установок и другого первичного оборудования от воздействия повышенного напряжения.

Согласно ПУЭ [100, п. 5.6.17] конденсаторная установка в целом должна иметь защиту от повышения напряжения, отключающую батарею при повышении действующего значения напряжения сверх допустимого. Отключение установки следует производить с выдержкой времени 3–5 мин. Повторное включение конденсаторной установки допускается после снижения напряжения в сети до номинального значения, но не ранее чем через 5 мин после ее отключения. Защита не требуется, если батарея выбрана с учетом максимально возможного значения напряжения цепи, т.е. так, что при повышении напряжения к единичному конденсатору не может быть длительно приложено напряжение более 110% номинального.

ЗПН, используемая для защиты устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ) и/или батареи статических конденсаторов (БСК), блокирует включение выключателя после срабатывания на время, необходимое для разряда УКРМ и/или БСК до допустимого остаточного напряжения, установленного в технической документации на установку. После снятия блокирующего сигнала может быть выполнено автоматическое повторное включение выключателя.

Помимо защиты оборудования (БСК, УКРМ и др.) от длительных перенапряжений, ЗПН используется для сигнализации о повышенном напряжении и для блокировки работы устройств РПН трансформаторов. Блокировка РПН целесообразна, в частности, на трехобмоточных трансформаторах, где регулятор РПН контролирует напряжение только на одной стороне (как правило, НН). В таких случаях ЗПН, подключенная к шинному ТН стороны СН, запрещает работу РПН при повышении напряжения на шинах СН в результате действия РПН (например, при неравномерности графика нагрузки, когда сторона НН сильно загружена, а СН практически не нагружена). Таким образом реализуется функция регулирования РПН «контроль двух секций»: одна сторона — регулируемая (НН), другая — контролируемая (СН); при повышении напряжения контролируемой стороны выше уставки ЗПН работа РПН блокируется до восстановления нормального уровня на шинах СН.

ЗПН реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Защита от повышения напряжения»**, основные параметры которого приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4. Алгоритм «Защита от повышения напряжения»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	-	2	2	2	2
Блокировка включения после ЗПН	-	+	+	+	+
Блокировка по отсутствию РПВ	-	+	+	+	+

Блокировка по отсутствию сигнала РПВ применяется для исключения действия ЗПН при отключенном положении выключателя контролируемого присоединения. Блокировка включения после ЗПН применяется для запрета включения выключателя после срабатывания ЗПН на отключение на время, задаваемое уставкой **«Тзпн блок.»**.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 4.5.

Таблица 4.5. Уставки алгоритма «Защита от повышения напряжения» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от повышения напряжения (ЗПН)							
Uзпн 1	В	110	80	150	0,01	0,98	ЗПН 1 - напряжение срабатывания
Тзпн 1	с	180	0,1	600	0,01	-	ЗПН 1 – задержка срабатывания
Uзпн 2	В	110	80	150	0,01	0,98	ЗПН 2 - напряжение срабатывания
Тзпн 2	с	180	0,1	600	0,01	-	ЗПН 2 – задержка срабатывания
Тзпн блок.	с	300	0,1	600	0,01	-	ЗПН – длительность блокировки включения после ЗПН

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 4.6.

Таблица 4.6. Уставки алгоритма «Защита от повышения напряжения» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от повышения напряжения (ЗПН)							
Uзпн 1	В	110	80	150	0,01	0,95	ЗПН 1 - напряжение срабатывания
Тзпн 1	с	180	0,1	600	0,01	-	ЗПН 1 – задержка срабатывания
Uзпн 2	В	110	80	150	0,01	0,95	ЗПН 2 - напряжение срабатывания
Тзпн 2	с	180	0,1	600	0,01	-	ЗПН 2 – задержка срабатывания
Тзпн блок.	с	300	0,1	600	0,01	-	ЗПН – длительность блокировки включения после ЗПН

Расчет значений уставок по напряжению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТН.

4.2.2 Расчет уставок ЗПН для БСК

Расчет значений уставок **«Uзпн 1»** и **«Uзпн 2»** следует выполнять в первичных междуфазных величинах. Так как пуск ступеней ЗПН выполняется по максимальному из действующих значений линейных напряжений на шинах, значения уставок **«Uзпн 1»** и **«Uзпн 2»** следует задавать как междуфазные значения напряжения.

Расчет значения уставки **«Uзпн 1»**, если для БСК задано номинальное междуфазное напряжение, следует выполнять по формуле:

$$Uзпн\ 1 = k_{доп.U} \cdot U_{ном.лин.БСК}\ [В] \quad (4.20)$$

если для БСК задано номинальное фазное напряжение, расчет значения уставки следует выполнять по формуле:

$$Uзпн\ 1 = k_{доп.U} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.ф.БСК}\ [В] \quad (4.21)$$

где

$k_{доп.U}$ – коэффициент допустимого повышения напряжения БСК; принимается по технической документации производителя. При отсутствии данных производителя допускается принимать $k_{доп.U}$=1,1 согласно ПУЭ [100, п. 5.6.17]

$U_{ном.лин.БСК}$ В номинальное междуфазное напряжение БСК

$U_{ном.ф.БСК}$ В номинальное фазное напряжение БСК

Если в технической документации производителя БСК указано допустимое длительное междуфазное напряжение на выводах БСК $U_{доп.БСК}$, то значение уставки **«Uзпн 1»** допускается принимать равным $U_{доп.БСК}$ без дополнительного пересчета по формулам (4.20) и (4.21).

При выполнении ЗПН одной ступенью данную ступень следует назначать на отключение выключателя БСК. Расчет значения уставки **«Tзпн 1»** следует выполнять по условию допустимого времени работы БСК при повышенном напряжении:

$$Tзпн\ 1 \leq t_{доп.БСК}\ [с] \quad (4.22)$$

где

$t_{доп.БСК}$ с допустимое время работы БСК при повышенном напряжении, с, определяемое по технической документации производителя БСК. При отсутствии данных производителя значение выдержки времени отключения следует принимать в диапазоне 180–300 с в соответствии с ПУЭ [100, п. 5.6.17]

При необходимости выполнения двух ступеней ЗПН рекомендуется принимать:

- первая – с уставками **«Uзпн 1»**, **«Tзпн 1»** и действием на предупредительную сигнализацию;
- вторая – уставками **«Uзпн 2»**, **«Tзпн 2»** и действием на отключение выключателя БСК.

В этом случае расчет значения уставки **«Uзпн 2»** следует выполнять по тем же условиям, что и расчет значения уставки **«Uзпн 1»**. Значения уставок напряжения следует принимать равными:

$$Uзпн\ 1 = Uзпн\ 2\ [В] \quad (4.23)$$

Расчет значения уставки **«Tзпн 1»** для ступени, действующей на предупредительную сигнализацию, следует выполнять по условию устойчивой фиксации повышения напряжения и исключения излишней сигнализации при кратковременных отклонениях напряжения:

$$Tзпн\ 1 = 5 - 10\ [с] \quad (4.24)$$

Значение уставки **«Tзпн 2»** для ступени, действующей на отключение выключателя БСК, следует выбирать по формуле (4.22).

Расчет значения уставки **«Tзпн блок»** следует выполнять по условию запрета повторного включения БСК после отключения от ЗПН по формуле:

$$Tзпн\ блок = макс(t_{блок.БСК}, t_{ПУЭ.блок.БСК})\ [с] \quad (4.25)$$

где

$t_{блок.БСК}$ с длительность блокировки повторного включения БСК, в том числе на разряд до нормативно допустимого остаточного напряжения, с; определяется по технической документации производителя

$t_{ПУЭ.блок.БСК}$ с минимальная длительность блокировки повторного включения БСК по ПУЭ [100, п. 5.6.17] принимается равной 300 с

Следует учитывать, что уставка **«Tзпн блок»** обеспечивает только временную блокировку включения выключателя после срабатывания ЗПН на отключение. Выполнение требования ПУЭ [100, п. 5.6.17] о повторном включении БСК после снижения напряжения в сети до номинального значения должно обеспечиваться схемой автоматики включения БСК или оперативным контролем.

4.2.3 Расчет уставок ЗПН для сигнализации о повышенном напряжении и блокировки команды РПН на повышение напряжения

При использовании ЗПН для сигнализации о повышенном напряжении и внешней блокировки РПН первая ступень ЗПН должна действовать на предупредительную сигнализацию. Действие первой ступени ЗПН на отключение выключателя должно быть выведено. Сигнал **«ЗПН 1 на сигн.»** допускается использовать для назначения на выходное реле устройства и передачи во внешнюю схему сигнализации или в схему управления РПН.

При применении ЗПН во внешней схеме РПН сигнал срабатывания ЗПН следует использовать, как правило, для запрета команды РПН на повышение напряжения, то есть запрета команды «Прибавить».

Расчет значения уставки **«Uзпн 1»** по условию отстройки от максимального напряжения на контролируемых шинах в рабочем режиме следует выполнять по формуле:

$$Uзпн\ 1 = k_{отс.U} \cdot U_{раб.макс}\ [В] \quad (4.26)$$

где

$k_{отс.U}$ – коэффициент отстройки от максимального напряжения на контролируемых шинах в рабочем режиме; в ориентировочных расчетах допускается принимать из диапазона 1,02–1,05

$U_{раб.макс}$ В максимальное междуфазное напряжение на контролируемых шинах в рабочем режиме

При наличии в проекте, технической документации на оборудование или задании на регулирование напряжения предельно допустимого напряжения контролируемой секции значение уставки **«Uзпн 1»** должно также удовлетворять условию:

$$Uзпн\ 1 \leq U_{доп.контр}\ [В] \quad (4.27)$$

где

$U_{доп.контр}$ В предельно допустимое междуфазное напряжение контролируемой секции

Расчет значения уставки **«Tзпн 1»** для ступени, действующей только на предупредительную сигнализацию о повышенном напряжении, следует выполнять по условию отстройки от кратковременных отклонений напряжения и возможного устранения повышенного напряжения одной ступенью РПН:

$$Tзпн\ 1 > t_{рег.РПН} + t_{привод.РПН}\ [с] \quad (4.28)$$

где

$t_{рег.РПН}$ с время работы регулятора РПН, включая заданную в регуляторе технологическую задержку перед переключением, с; определяется по технической документации производителя регулятора РПН; в ориентировочных расчетах допускается принимать из диапазона 10–60

$t_{привод.РПН}$ с время работы привода РПН (время переключения одной ступени РПН), определяемая по технической документации производителя привода РПН. При этом принимается наихудший случай, т.е. с учетом возможного перехода через нулевую (нерабочую) ступень, т.к. в этом случае для изменения на одну электрическую ступень выполняются две механические операции. В ориентировочных расчетах допускается принимать из диапазона 3–10

При использовании сигнала срабатывания ЗПН для запрета команды РПН на повышение напряжения, т.е. команды «Прибавить», уставку **«Tзпн 1»** следует выбирать по условию формирования сигнала запрета до возможной выдачи регулятором РПН команды «Прибавить»:

$$Tзпн\ 1 < t_{рег.РПН} + t_{привод.РПН}\ [с] \quad (4.29)$$

4.3 ЗАЩИТА ОТ ПОТЕРИ ПИТАНИЯ (ЗПП)

4.3.1 Общие сведения

ЗПП обеспечивает выявление режима отключения питания со стороны системы, а также режима подпитки внешних КЗ в питающей системе со стороны мощной двигательной нагрузки. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** ЗПП может вводиться в работу как по признаку наличия тока, так и по признаку отсутствия тока.

ЗПП, как правило, выполняется на вводном выключателе подстанции и может использоваться для формирования сигналов:

- на отключение вводного выключателя секции;
- на гашение поля синхронных двигателей (формирование шинки гашения поля) или их отключение;
- в схемы групповой ЗПП, АВР, блокировки АЧР и технологической автоматики — при соответствующем назначении выходных сигналов устройства.

ЗПП может применяться для [74, 122]:

- отключения ввода или пуска АВР;

- предотвращения повреждения затормозившихся двигателей в результате кратковременного или длительного понижения напряжения из-за длительного протекания повышенных (пусковых) токов при остановленном роторе и последующего самозапуска при восстановлении питания (перегрев обмоток, ударные электромагнитные и механические нагрузки);
- отключения неответственных электродвигателей, что обеспечивает условия для последующей успешной ресинхронизации синхронных двигателей;
- гашения поля синхронных двигателей перед последующим восстановлением питания, например при АВР, или несинхронным включением, чтобы не допустить режима асинхронного хода и перегрузок по току или отключения синхронных двигателей;
- облегчения условий самозапуска ЭД ответственных механизмов;
- обеспечения условий техники безопасности и технологического процесса;
- перевода для многоскоростных двигателей на меньшую скорость, чтобы снизить момент и пусковой ток при самозапуске.

ЗПП выполняется как правило групповой и устанавливается на вводных выключателях. Отключение ЭД и развозбуждение (гашение поля) СД осуществляется при помощи магистральных шинок.

В случае одновременного пуска ЗПП на двух вводных выключателях подстанции ее действие блокируется. Это предотвращает одновременное отключение вводных выключателей и, как следствие, полное обесточивание двух секций шин при глубоких просадках напряжения во внешней питающей сети. Такая мера обусловлена тем, что не во всех случаях удается обеспечить питание потребителей от разных независимых источников.

Согласно ПУЭ [100, п. 1.2.17], независимыми источниками питания считаются такие, выход из строя одного из которых не вызывает одновременного нарушения питания от другого. При этом в ПУЭ [100, п. 1.2.17] уточняется, что источники не являются независимыми, если они могут быть отключены одним и тем же аппаратом или повреждением общей части сети (линии, трансформатора, кабеля и т.п.). На практике секции подстанции нередко запитываются от одного и того же центра питания либо через связанные элементы сети, что не обеспечивает полной независимости. В таких случаях при аварии или просадке напряжения возможно одновременное отключение обеих секций, и именно поэтому в логике ЗПП предусмотрена блокировка ее одновременного действия на двух вводных выключателях.

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** вторая ступень ЗПП используется для отключения или гашения поля синхронных двигателей в случае, если после действия АВР питание секции не восстановилось до условий, обеспечивающих допустимую работу или ресинхронизацию СД.

Наиболее универсальным является алгоритм ЗПП, в основе которого лежит одновременный контроль снижения частоты и изменения направления активной мощности [9].

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** пуск ЗПП при подпитке внешнего КЗ со стороны мощной двигательной нагрузки выполняется при одновременном снижении частоты ниже уставки **«fзпп»**, наличии тока через выключатель защищаемого присоединения и отсутствии прямого направления мощности хотя бы в одной из фаз. Пуск ЗПП при отключении питания со стороны системы выполняется при снижении частоты ниже уставки **«fзпп»**, отсутствии тока через выключатель защищаемого присоединения и наличии прямого направления мощности во всех фазах в предшествующем режиме. Пуск ЗПП блокируется при выводе ЗПП из работы и при неисправности цепей напряжения.

ЗПП реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Защита от потери питания»**, основные параметры которого приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Алгоритм «Защита от потери питания»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	–	1	1	2	2
ЗПП при наличии тока	–	+	+	+	+
ЗПП без тока	–	+	+	+	+

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль готовности к АВР	–	–	–	+	+
Контроль направленности	–	+	+	+	+
Блокировка при пуске ЗПП соседней секции	–	–	–	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 4.8.

Таблица 4.8. Уставки алгоритма «Защита от потери питания» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от потери питания (ЗПП)							
fзпп	Гц	49	45	50	0,01	+0,02 Гц	ЗПП – частота пуска
Тзпп1	с	1	0,1	10	0,01	-	ЗПП1 – задержка срабатывания
Тзпп2	с	2	0,1	10	0,01	-	ЗПП2 – задержка срабатывания

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 4.9.

Таблица 4.9. Уставки алгоритма «Защита от потери питания» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита от потери питания (ЗПП)							
fзпп	Гц	49	45	50	0,01	+0,02 Гц	ЗПП – частота пуска
Тзпп	с	1	0,1	10	0,01	-	ЗПП – задержка срабатывания

4.3.2 Расчет уставок

Значение уставки **«fзпп»** выбирают из условия отстройки от первой ступени АЧР-I. Рекомендованное значение [9]:

$$fзпп = 48{,}5\ [Гц] \tag{4.30}$$

Значение уставки **«Тзпп»** для устройств **«Лютик-Плюс»** и **«Алтей-01»** и значение уставки **«Тзпп 1»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию отстройки от переходных режимов, сопровождающихся кратковременным снижением частоты или изменением направления активной мощности. Рекомендованный диапазон. Рекомендованный диапазон [9]:

$$Тзпп = (0{,}3 - 0{,}4)\ [с] \tag{4.31}$$

При использовании ЗПП для пуска АВР секции с синхронными электродвигателями выбор уставок ЗПП следует выполнять совместно с выбором уставок АВР по 10.1 и принятой схемой гашения поля СД. Для объектов с непрерывным технологическим процессом и мощной синхронной двигательной нагрузкой значение уставки **«Тзпп»** допускается принимать по формуле:

$$Тзпп = (0{,}2 - 0{,}5)\ [с] \tag{4.32}$$

Указанное значение следует принимать по условию отстройки от переходных режимов, при которых реле частоты или орган направления мощности могут кратковременно формировать сигнал пуска ЗПП. Окончательное значение уставки **«Тзпп»** следует принимать с учетом принятого алгоритма самозапуска электродвигателей, гашения поля СД и пуска АВР по 10.1.

Расчет значения уставки **«Тзпп 2»** по условию от времени действия АВР [9]:

$$Тзпп\ 2 = t_{АВР} + t_{откл.в} + t_{зап}\ [с] \tag{4.33}$$

где

$t_{АВР}$	с	выдержка времени АВР без учета собственного времени отключения выключателя; если в принятом расчетном значении времени действия АВР уже учтены время отключения выключателя и время включения резервного выключателя, повторно учитывать их в формуле не следует
$t_{откл.в}$	с	полное время отключения выключателя
$t_{зап}$	с	время запаса, принимается равным 0,5–2,5

При применении ЗПП с контролем направления мощности наличие прямого направления мощности соответствует нормальному направлению мощности от питающего источника к нагрузке секции. При наличии тока прямое направление мощности блокирует пуск ЗПП; условием пуска ЗПП при подпитке внешнего КЗ со стороны двигательной нагрузки является отсутствие прямого направления мощности при одновременном снижении частоты ниже уставки **«fзпп»** и наличии тока. При работе ЗПП без тока используется признак прямого направления мощности, зафиксированный в предшествующем режиме, что подтверждает питание присоединения со стороны системы до исчезновения тока.

5 РАСЧЕТ УСТАВОК ЗАЩИТ ДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 КВ

5.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящем разделе рассматриваются особенности расчета уставок защит электродвигателей напряжением выше 1 кВ, выполняемых на базе устройств **«Алтей»** и **«Лютик»**.

Для защиты электродвигателей и электродвигательных присоединений могут применяться как общие функции защиты присоединения, рассмотренные в разделах **3** и **4**, так и специальные защиты двигателей[1], предусмотренные РЭ соответствующих устройств.

В соответствии с ПУЭ на электродвигателях напряжением выше 1 кВ должна предусматриваться защита от многофазных замыканий, а в случаях, установленных ПУЭ — защита от однофазных замыканий на землю, защита от токов перегрузки и защита минимального напряжения; на синхронных электродвигателях (СД), кроме того, должна предусматриваться защита от асинхронного режима, которая может быть совмещена с защитой от токов перегрузки [**100**, п. 5.3.43]. Для двигателей с изменяемой частотой вращения защита должна выполняться для каждой частоты вращения в виде отдельного комплекта, действующего на свой выключатель [**100**, п. 5.3.43].

С учетом требований ПУЭ и состава алгоритмов устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** для защиты ЭД и присоединений, питающих ЭД, могут применяться:

- токовая отсечка (ТО) и максимальная токовая защита (МТЗ) — для защиты от многофазных замыканий; расчет уставок выполняется по разделам **3.4**–**3.10** с учетом дополнительных условий, приведенных в настоящем разделе [**100**, пп. 5.3.46, 5.3.47];
- дифференциальная токовая защита (ДЗТ) — для защиты ЭД от многофазных замыканий в зоне между трансформаторами тока, установленными со стороны питания и со стороны нейтрали ЭД; расчет уставок приведен в подразделе **5.4** [**100**, пп. 5.3.46, 5.3.47];
- защита от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) и токовая защита нулевой последовательности (ТЗНП) — для защиты от замыканий на землю в случаях, предусмотренных ПУЭ; расчет уставок выполняется по разделу **3.15** с учетом особенностей присоединения, питающего ЭД [**100**, п. 5.3.48];
- защита от перегрузки (ЗП) — для защиты от токов перегрузки; расчет уставок общих токовых ступеней выполняется по разделу **3.10**, а расчет специальных функций защиты двигателя от перегрузки, тепловой модели, затянутого пуска и блокировки ротора — по подразделам **5.6**–**5.9** [**100**, п. 5.3.49];
- защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки (ЗОФ) — для выявления несимметричных и неполнофазных режимов работы ЭД; расчет уставок выполняется по разделу **3.14**;
- защита минимального напряжения (ЗМН) и защита от потери питания (ЗПП) — для отключения электродвигателей при недопустимом снижении напряжения, обеспечения самозапуска ответственных ЭД, отключения неответственных ЭД, а также выявления нарушения питания ЭД или узла нагрузки; расчет уставок выполняется по разделу **4** с учетом требований ПУЭ к защитам минимального напряжения электродвигателей [**100**, пп. 5.3.52, 5.3.53];
- защита от асинхронных режимов (ЗАР) — для защиты СД от асинхронного режима; расчет уставок выполняется по подразделу **5.11** с учетом требований ПУЭ к выполнению защиты, ее отстройке от пускового режима и действия форсировки возбуждения, а также к действию защиты на ресинхронизацию, ресинхронизацию с разгрузкой механизма, отключение с последующим автоматическим пуском или отключение электродвигателя [**100**, пп. 5.3.50, 5.3.51];

[1] В РЭ **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** «специальные защиты двигателей» выделены как отдельная группа алгоритмов защиты и контроля режимов ЭД. Для **«Алтей-БЗП»** в эту группу дополнительно включена дифференциальная токовая защита

- логическая защита шин (ЛЗШ) — для ускоренного отключения КЗ на шинах РУ, питающих электродвигательные присоединения; расчет уставок выполняется по разделу **3.11**;
- защита от дуговых замыканий (ЗДЗ) — для защиты ячейки КРУ, шинного отсека, кабельного отсека и иных элементов электродвигательного присоединения; расчет уставок выполняется по разделу **3.12**;
- устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ) — для резервирования отказа выключателя электродвигательного присоединения; расчет уставок выполняется по разделу **7.2**;
- функции автоматики управления выключателем, сигнализации, диагностики и гибкой логики — для формирования команд отключения, блокировок, разрешающих условий, предупредительной и аварийной сигнализации, а также приема сигналов от внешних защит и технологических устройств.

При наличии принудительной смазки, принудительной вентиляции, водяного охлаждения обмоток, активной стали статора или встроенных воздухоохладителей должны также учитываться защиты и сигнализация, предусмотренные ПУЭ [**100**, пп. 5.3.44, 5.3.45]. Указанные функции могут выполняться отдельными алгоритмами устройства либо с использованием дискретных входов, выходных реле, сигнализации и гибкой логики, если такая реализация предусмотрена РЭ соответствующего устройства и проектными решениями.

Состав специальных защиты двигателей, реализуемых в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Специальные защиты двигателей

АЛГОРИТМ	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Дифференциальная токовая защита	–	–	–	+	–
Защита от затянутого пуска и блокировки ротора	–	+	+	+	+
Тепловая модель	–	+	+	+	+
Минимальная токовая защита	–	+	+	+	+
Защита от асинхронных режимов	–	+	+	+	+
Внешние защиты и сигнализация двигателя	–	-	-	+	+
Ограничение количества пусков	–	+	+	+	+

5.2 ВЫЧИСЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ВЕЛИЧИН

5.2.1 Обозначения (для главы 5)

Обоз.	Ед. изм.	Пояснение
$E_э$	кВ	эквивалентная линейная ЭДС группы ЭД, участвующих в самозапуске
E''_q	кВ	сверхпереходная линейная ЭДС СД по поперечной оси
$E_{ад}$	кВ	эквивалентная линейная ЭДС АД или группы АД
$I_{вкл.дв}$	А	ток включения ЭД, принимаемый в качестве максимального тока ЭД при самозапуске
$I_{пуск.дв}$	А	пусковой ток ЭД
$I_{ном.дв}$	А	номинальный ток ЭД
$I_{нс}$	А	ток статора СД при несинхронном включении
$I_{кз.дв}$	А	ток подпитки КЗ от ЭД
$I_{макс.дв}$	А	максимальный первичный ток статора ЭД, используемый при расчете уставок защит двигателя и токов небаланса
$I_{нб.дв.макс}$	А	максимальный ток небаланса при токе $I_{макс.дв}$
$I_{пред.упп}$	А	предельное (устанавливаемое УПП/ПЧ) значение тока статора ЭД согласно документации на УПП/ПЧ (используется пиковое предельное значение)

$k'_{сзп}$	–	коэффициент, учитывающий возможное превышение тока самозапуска над пусковым током; при отсутствии уточненного расчета принимается из диапазона 1,2–1,5 [74]
$k'_{сзп.сд}$	–	коэффициент, учитывающий увеличение тока при самозапуске СД вследствие наличия остаточной ЭДС, неблагоприятного фазового угла включения и т.д.; значение коэффициента следует принимать по результатам расчета самозапуска, данным производителя СД
$k_{пуск}$	–	коэффициент пуска (кратность пускового тока ЭД)
$k_{пуск.сд}$	–	кратность пускового тока СД при асинхронном пуске
$k_{пуск.мин}$	–	минимальный коэффициент пуска (кратность пускового тока ЭД)
$k_{огр}$	–	коэффициент ограничения тока УПП/ПЧ, определяемый по формуле (5.13). Как правило, величина пускового тока двигателя ограничивается на уровне 1–4 номинальных токов статора двигателя [140]
$P_{ном.дв}$	кВт	номинальная мощность на валу ЭД
$S_{ном.дв}$	кВА	номинальная полная мощность ЭД
$U_{ном.дв}$	кВ	номинальное линейное напряжение ЭД
U_c^*	о.е.	линейное напряжение на линейных выводах АД
U_c	кВ	линейное напряжение сети
$U_{с.макс}$	кВ	линейное напряжение сети в максимальном режиме работы системы
$n_{ном.дв}$	об/мин	номинальная частота вращения ЭД
$x_{внеш}$	Ом	внешнее индуктивное сопротивление, определяемое по формуле (5.7)
x''_d	Ом	сверхпереходное индуктивное сопротивление рассматриваемого СД
x''^*_d	о.е.	сверхпереходное индуктивное сопротивление рассматриваемого СД в относительных единицах
$x''_{d.i}$	Ом	сверхпереходное индуктивное сопротивление i-го СД, учитываемого как источник ЭДС
$x_{д.э}$	Ом	эквивалентное индуктивное сопротивление группы ЭД, участвующих в самозапуске
$x_{ад}$	Ом	эквивалентное индуктивное сопротивление АД или группы АД, учитываемых при расчете тока несинхронного включения СД
$x^*_{к.ад}$	о.е.	индуктивное сопротивление АД при пуске (при скольжении $s = 1$)
$x^*_{к.сд}$	о.е.	индуктивное сопротивление СД при асинхронном пуске
$x_{к.ад}$	Ом	индуктивное сопротивление АД при пуске (при скольжении $s = 1$). Используется для расчета пускового тока конкретного АД
$x_{к.сд}$	Ом	индуктивное сопротивление СД при асинхронном пуске
$x_р$	Ом	индуктивное сопротивление реактора
$x_с$	Ом	эквивалентное индуктивное сопротивление питающей сети
$x_{с.мин}$	Ом	минимальное эквивалентное индуктивное сопротивление питающей сети (соответствует максимальному режиму работы системы, т.е. максимальному значению тока КЗ в узле)
η	–	номинальный коэффициент полезного действия (КПД) ЭД
$\cos\varphi$	–	номинальный коэффициент мощности ЭД
*	–	обозначение относительных единиц по базе $U_{ном.дв}$ и $I_{ном.дв}$

В настоящем разделе обозначения $x_{к.ад}$ и $x_{ад}$ имеют различный расчетный смысл. Обозначение $x_{к.ад}$ применяется для индуктивного сопротивления АД при пуске, соответствующего скольжению s=1, и используется при расчете пускового тока отдельного АД.

Обозначение $x_{ад}$ применяется для эквивалентного индуктивного сопротивления АД или группы АД, учитываемых в расчетной схеме как источник ЭДС при определении тока несинхронного включения СД.

При учете одного АД допускается принимать:

$$x_{ад} = x_{к.ад} \tag{5.1}$$

При учете группы АД эквивалентное индуктивное сопротивление следует определять по формуле:

$$x_{ад} = \left(\sum_{j=1}^{m} \frac{1}{x_{к.ад.j}} \right)^{-1} \text{ [Ом]} \quad (5.2)$$

где

$x_{к.ад.j}$	Ом	индуктивное сопротивление j-го АД при пуске
m	–	количество АД, учитываемых в расчетной схеме
j	–	порядковый индекс АД, учитываемого в расчетной схеме

5.2.2 Номинальный ток двигателя

Номинальный ток ЭД (АД или СД) определяется по паспортным либо каталожным данным. При их отсутствии определяется по формуле:

$$I_{ном.дв} = \frac{S_{ном.дв}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.дв}} = \frac{P_{ном.дв}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.дв} \cdot \eta \cdot \cos\varphi} \text{ [А]} \quad (5.3)$$

5.2.3 Максимальный ток асинхронного двигателя, не участвующего в самозапуске

Для асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором, не участвующего в групповом самозапуске и отключаемого при недопустимом снижении напряжения или потере питания действием ЗМН/ЗПП, максимальный ток при прямом пуске от сети следует определять по формуле [74, 125]:

$$I_{макс.дв} = I_{пуск.дв} = k_{пуск} \cdot I_{ном.дв} \text{ [А]} \quad (5.4)$$

где $k_{пуск}$ кратность пускового тока АД, определяемая по паспортным или каталожным данным ЭД; при отсутствии указанных данных допускается определять по формуле:

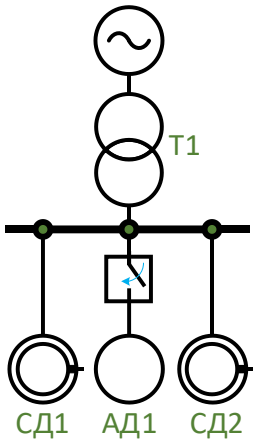
$$k_{пуск} = \frac{U_c^*}{x_{к.ад}^*} \left(\text{при } U_c^* = 1 \rightarrow k_{пуск} = \frac{1}{x_{к.ад}^*} \right) \quad (5.5)$$

При определении максимального тока прямого пуска АД предварительно включенную параллельную нагрузку секции, не содержащую источников ЭДС или мощных электродвигателей, способных оказывать существенное влияние на переходный процесс, как правило, учитывать не следует. Такая нагрузка снижает напряжение на шинах секции и, соответственно, уменьшает пусковой ток защищаемого ЭД, поэтому для выбора уставок по условию отстройки от максимального пускового тока указанный режим расчетным не является [74].

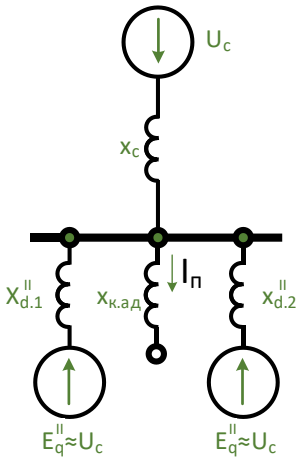
Исходя из вышеуказанного, расчетным для отстройки защит от пускового тока следует принимать пуск защищаемого АД при максимально возможном напряжении на его линейных зажимах и минимальном внешнем индуктивном сопротивлении. Указанные условия обеспечиваются:

- при отсутствии СД на секции – при отключенных соседних АД секции и прочей общепромышленной нагрузке;
- при наличии СД на секции – при включенных СД, отключенных остальных АД и прочей общепромышленной нагрузке, а также при действии форсировки возбуждения СД в момент пуска АД. В указанном режиме СД эквивалентны источникам ЭДС с малым внутренним сопротивлением, что уменьшает эквивалентное индуктивное сопротивление внешней сети и, как правило, увеличивает пусковой ток рассматриваемого АД.

Расчетная схема и схема замещения для определения пускового тока АД при наличии работающих СД на секции приведены на рисунке 5.1. СД, подключенные к секции в момент пуска АД, учитываются как источники ЭДС за сверхпереходными индуктивными сопротивлениями, включенными параллельно сопротивлению питающей сети.



а) Исходная схема



б) Схема замещения

Рисунок 5.1. Расчетная схема и схема замещения для определения пускового тока АД при наличии работающих СД на секции

СД, подключенные в момент пуска АД, в расчетной схеме замещения представляются эквивалентными источниками со сверхпереходной ЭДС $E''_{q.i}$ з за сверхпереходным индуктивным сопротивлением $x''_{d.i}$. При наличии форсировки возбуждения СД в момент пуска АД принимается $E''_q \approx U_c$. В результате x''_d подключается параллельно сопротивлению сети x_c, уменьшая эквивалентное индуктивное сопротивление внешней сети; указанное влияние учитывается в формуле (5.7) и, как правило, приводит к увеличению расчетного пускового тока, определяемого по формуле (5.6).

Для АД с короткозамкнутым ротором, не участвующего в индивидуальном или групповом самозапуске, при наличии на секции СД с форсировкой возбуждения в момент пуска АД и при отключенной прочей общепромышленной нагрузке максимальный ток при прямом пуске от сети следует определять по формуле [74, 125]:

$$I_{макс.дв} = \frac{U_{с.макс} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (x_{внеш} + x_{к.ад})} \text{ [А]} \quad (5.6)$$

где

$$x_{внеш} = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{x''_{d,i}} + \frac{1}{x_{с.мин}} \right)^{-1} \text{ [Ом]} \quad (5.7)$$

$$x_{к.ад} = \frac{1}{k_{пуск}} \cdot \frac{U_{ном.дв} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot I_{ном.дв}} \text{ [Ом]} \quad (5.8)$$

i – порядковый индекс СД, учитываемого как источник ЭДС

n – количество СД, учитываемых как источники ЭДС

Для АД с короткозамкнутым ротором, не участвующего в групповом самозапуске, максимальный ток при реакторном пуске следует определять по формуле:

$$I_{макс.дв} = \frac{U_{с.макс} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (x_{внеш} + x_р + x_{к.ад})} \text{ [А]} \quad (5.9)$$

где

$x_{внеш}$ Ом определяется по формуле (5.7). При отсутствии СД на секции: $\sum_{i=1}^{n} {}^1/_{x''_{d,i}} = 0$, вследствие чего $x_{внеш} = x_{с.мин}$

5.2.4 Максимальный ток асинхронного двигателя, участвующего в самозапуске

Самозапуску ЭД или группы ЭД предшествует исчезновение или глубокое снижение напряжения на их зажимах на время перерыва питания либо провала напряжения; за это время частота вращения ЭД снижается. Самозапуск агрегата «ЭД–механизм» начинается при восстановлении напряжения на зажимах ЭД до уровня, при котором электромагнитный момент двигателя превышает момент сопротивления механизма и обеспечивает разгон агрегата до рабочей частоты вращения при данной нагрузке, и продолжается до восстановления указанной частоты вращения [120, 178, 179].

Максимальные токи и возможность самозапуска зависят от совокупности параметров: наличия СД на секции и режима их работы, загрузки механизма до выбега, вида механической характеристики механизма, времени перерыва питания, уровня

напряжения на шинах при восстановлении питания, алгоритмов работы защит и автоматики АВР, АПВ, ЗМН, ЗПП, а также характера выбега — индивидуального или группового. При групповом выбеге изменение частоты вращения каждого ЭД не совпадает с изменением частоты вращения при индивидуальном выбеге [74, 120].

В связи с этим для определения максимального тока ЭД рекомендуется выполнять расчет режимов выбега и самозапуска с учетом указанных факторов. Расчет может выполняться следующими методами:

- компьютерным моделированием процесса выбега и самозапуска узла нагрузки;
- аналитическим расчетом по методикам, приведенным в [74, 120, 162, 178, 179]. При этом определяются эквивалентная ЭДС выбега группы $E_э$ и эквивалентное индуктивное сопротивление участвующих ЭД $x_{д.э}$; СД при наличии форсировки возбуждения в момент восстановления напряжения учитываются как источники со сверхпереходной ЭДС $E''_q \approx U_{с.макс}$ за сверхпереходным индуктивным сопротивлением x''_d, подключаемым параллельно сопротивлению системы $x_{с.мин}$.

При аналитическом расчете ток включения (максимальный ток ЭД) определяется как:

$$I_{вкл.дв} = I_{макс.дв} = \frac{E_э \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (x_{внеш} + x_{д.э})} \text{ [А]} \quad (5.10)$$

где

$E_э$	кВ	эквивалентная линейная ЭДС выбега группы ЭД
$x_{внеш}$	Ом	внешнее индуктивное сопротивление, определяемое по формуле (5.7)
$x_{д.э}$	Ом	эквивалентное индуктивное сопротивление группы ЭД, участвующих в самозапуске

В случае, если исходных данных недостаточно, допускается применять упрощенное определение максимального тока ЭД при самозапуске.

Для АД с короткозамкнутым ротором, участвующего в индивидуальном или групповом самозапуске, максимальный ток следует определять по формуле:

$$I_{макс.дв} = k'_{сзп} \cdot k_{пуск} \cdot I_{ном.дв} \text{ [А]} \quad (5.11)$$

где

Коэффициент $k'_{сзп}$ учитывает возможное превышение тока самозапуска над пусковым током АД вследствие наличия остаточной ЭДС двигателя, не успевшей затухнуть за время перерыва питания и в общем случае несинхронной с напряжением сети [74, 155].

5.2.5 Максимальный ток асинхронного двигателя при применении устройства плавного пуска или преобразователя частоты

При пуске АД через устройство плавного пуска (УПП) или преобразователь частоты (ПЧ) максимальный ток статора ограничивается системой управления и защиты УПП/ПЧ. Значение максимального тока для расчета уставок следует принимать по документации производителя УПП/ПЧ и проектным решениям с учетом места установки ТТ и режима работы силовой схемы.

В этом случае расчет максимального тока АД следует выполнять по формуле:

$$I_{макс.дв} = k_{огр} \cdot I_{ном.дв} \text{ [А]} \quad (5.12)$$

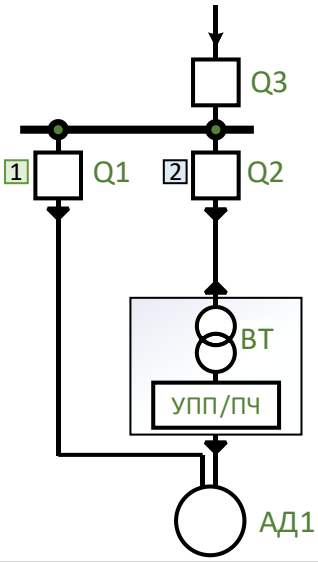
где

$$k_{огр} = \frac{I_{пред}}{I_{ном.дв}} \quad (5.13)$$

$I_{пред}$	А	предельное действующее значение тока, ограничиваемое УПП/ПЧ и используемое для рассматриваемого места установки защиты. При установке ТТ на стороне двигателя или на выходе УПП/ПЧ следует принимать предельное значение выходного тока УПП/ПЧ. При установке ТТ на стороне сети или на входе УПП/ПЧ следует принимать предельное значение входного тока УПП/ПЧ либо значение, указанное производителем для соответствующей схемы подключения. Если производитель задает предельный ток в относительных единицах от номинального тока АД, значение $k_{огр}$ следует принимать равным указанной относительной величине; при задании предельного тока в процентах значение $k_{огр}$ следует принимать равным указанному значению, деленному на 100

При питании АД от ПЧ необходимо учитывать, что включение ПЧ между сетью и АД изменяет зоны действия и назначение защит, установленных со стороны сети. В частности, ток через ТТ, установленные до ПЧ, в общем случае не равен току в обмотке статора АД; поэтому значение $I_{пред}$ следует выбирать применительно к фактическому месту установки ТТ и контролируемому участку силовой схемы.

Для пояснения расчетных режимов при применении УПП/ПЧ с цепью байпаса на рисунке 5.2 приведена упрощенная схема питания АД. При питании АД через УПП/ПЧ максимальный ток определяется с учетом ограничения тока устройством, а при питании через цепь байпаса — как для питания АД непосредственно от сети.



Q1 — коммутационный аппарат цепи байпаса; Q2 — коммутационный аппарат цепи УПП/ПЧ; Q3 — коммутационный аппарат питающего присоединения;
1 — цепь байпаса;
2 — цепь УПП/ПЧ;
УПП/ПЧ — устройство плавного пуска или преобразователь частоты;
ВТ — входной или согласующий трансформатор при наличии

Рисунок 5.2. Расчетные режимы питания АД через УПП/ПЧ и через цепь байпаса

Если схема силовых цепей ЭД содержит цепь байпаса, обеспечивающую питание ЭД в обход УПП/ПЧ, максимальный ток следует определять отдельно для каждого расчетного режима. При питании ЭД через УПП/ПЧ, т.е. при включенном Q2 и отключенном Q1, максимальный ток следует определять по формулам (5.12), (5.13) с учетом ограничения тока устройством. При питании ЭД через цепь байпаса, т.е. при включенном Q1 и отключенном Q2, ограничение тока средствами УПП/ПЧ не учитывается; максимальный ток следует определять как для прямого или реакторного пуска и/или самозапуска по подразделам **5.2.2** и **5.2.4**.

Если в состав УПП/ПЧ входит последовательный реактор, входной или согласующий трансформатор либо иной элемент, ограничивающий ток, его влияние, как правило, учитывается в предельном токе, заявленном производителем УПП/ПЧ, и отдельный учет в формуле (5.12) не требуется. Если указанный элемент является внешним по отношению к УПП/ПЧ и его влияние не учтено в данных производителя, его сопротивление следует учитывать отдельно при расчете максимального тока по расчетной схеме силовых цепей.

5.2.6 Максимальный ток синхронного двигателя при пуске

Для синхронных двигателей (СД) могут применяться следующие способы пуска:

- асинхронный пуск от сети;
- пуск от УПП при промышленной частоте 50 Гц;
- пуск от ПЧ при пониженной или регулируемой частоте.

Определение максимального тока СД при пуске и самозапуске предпочтительно выполнять методами компьютерного моделирования с учетом параметров СД, питающей сети, способа пуска, режима возбуждения, момента подачи возбуждения, наличия пускового реактора, УПП, ПЧ, цепи байпаса, а также места установки ТТ, по которым выполняется измерение тока соответствующей защиты.

5.2.6.1 Асинхронный пуск

При асинхронном пуске СД напряжение подается на невозбужденный двигатель. Процесс асинхронного пуска СД может быть разделен на следующие этапы [**74**, **92**]:

- подача напряжения сети на статор при неподвижном роторе;
- разгон СД в асинхронном режиме до подсинхронной частоты вращения;
- подача возбуждения в обмотку ротора и втягивание СД в синхронизм.

Для СД, не участвующего в индивидуальном или групповом самозапуске, максимальный ток при асинхронном пуске следует определять по формулам подраздела **5.2.2** с заменой $x_{к.ад}$ на $x_{к.сд}$ и $x^*_{к.ад}$ на $x^*_{к.сд}$.

При необходимости учета иных работающих СД, подключенных к секции и влияющих на эквивалентное индуктивное сопротивление внешней сети, расчет следует выполнять по формулам (5.6)–(5.9) с заменой $x_{к.ад}$ на $x_{к.сд}$.

Наибольшее действующее значение пускового тока СД с учетом влияния переходных составляющих, обусловленных взаимодействием полей, наведенных в демпферной обмотке и обмотке возбуждения, с полем статора, для двигателей серий СТМ и СТД допускается определять по формуле [**74**]:

$$I_{макс.дв} = 1{,}6 \cdot k_{пуск.сд} \cdot I_{ном.дв}\ [А] \quad (5.14)$$

$k_{пуск.сд}$ – кратность пускового тока СД при асинхронном пуске

При наличии результатов компьютерного моделирования, заводских данных или осциллограмм пуска СД допускается применять уточненное значение максимального тока.

5.2.6.2 Пуск от УПП при промышленной частоте 50 Гц

При пуске СД от УПП на статор подается управляемо возрастающее напряжение промышленной частоты. В цепь ротора СД на время разгона, как правило, вводится пусковое сопротивление для ограничения ЭДС и увеличения пускового момента. После достижения заданной частоты вращения выполняется перевод СД на питание от сети путем шунтирования УПП или подключения штатным выключателем, а также подача возбуждения для втягивания двигателя в синхронизм.

В системах группового плавного пуска СД алгоритм работы УПП, как правило, включает выбор запускаемого двигателя, асинхронный разгон с ограничением тока, коммутацию двигателя на сеть и втягивание в синхронизм. После завершения пуска одного СД пусковое устройство может использоваться для пуска следующего СД. Значение максимального тока при пуске от УПП следует принимать по документации производителя УПП; для ряда устройств УПП пусковой ток СД ограничивается на уровне порядка $1{,}5 \cdot I_{ном.дв}$ [**140**, **141**].

5.2.6.3 Пуск от ПЧ

При пуске СД от ПЧ частота и напряжение на статоре изменяются по заданному закону, что позволяет выполнять разгон двигателя при ограниченных токах и сниженных ударных моментах. Возбуждение СД подается в соответствии с алгоритмом пуска, как правило, при достижении частоты вращения, близкой к синхронной. После разгона СД возможна дальнейшая работа от ПЧ либо синхронное переключение двигателя на сеть.

При индивидуальном пуске и работе СД от ПЧ питание двигателя осуществляется через ПЧ. При групповом пуске допускается поочередный пуск нескольких СД одним ПЧ с последующим переводом каждого СД на секцию шин. При наличии цепи байпаса или при групповом пуске после втягивания СД в синхронизм дальнейшая работа двигателя может осуществляться непосредственно от сети.

Для СД, не участвующего в индивидуальном или групповом самозапуске, максимальный ток при пуске от УПП или ПЧ ограничивается соответствующим устройством. В этом случае максимальный ток следует определять в соответствии с **5.2.5** с учетом документации производителя УПП/ПЧ, проектных решений, места установки ТТ и расчетного режима силовой схемы.

5.2.6.4 Самозапуск СД

Если при самозапуске СД предусмотрено гашение поля возбуждения на время провала напряжения или перерыва питания, а повторная подача возбуждения выполняется после восстановления напряжения и разгона двигателя до подсинхронной частоты вращения, максимальный ток допускается определять как для асинхронного пуска СД по формулам настоящего подраздела.

При отсутствии уточненного расчета влияние остаточной ЭДС, неблагоприятного фазового угла между ЭДС СД и напряжением сети, а также иных факторов, увеличивающих ток самозапуска, допускается ориентировочно учитывать по формуле:

$$I_{макс.дв} = k'_{сзп.сд} \cdot k_{пуск.сд} \cdot I_{ном.дв}\ [А] \quad (5.15)$$

$k'_{сзп.сд}$ – коэффициент, учитывающий возможное превышение тока самозапуска СД над током асинхронного пуска; значение коэффициента следует принимать по результатам расчета самозапуска или данным производителя СД

Если при самозапуске СД не обеспечивается гашение поля возбуждения, сохраняется значимая остаточная ЭДС СД, учитываемая в расчетной схеме как сверхпереходная ЭДС E''_q либо допускается ранняя подача возбуждения, максимальный ток следует определять как ток несинхронного включения по подразделу **5.2.7**. В этом случае применение формулы (5.15) допускается только для предварительной оценки при отсутствии исходных данных для более точного расчета.

5.2.7 Максимальный ток синхронного двигателя при несинхронном включении

При кратковременном исчезновении или глубоком снижении напряжения с последующим восстановлением питания на зажимах СД у двигателя может сохраняться остаточная ЭДС, учитываемая в расчетной схеме как сверхпереходная ЭДС E''_q за сверхпереходным индуктивным сопротивлением x''_d. Если гашение поля возбуждения за время перерыва питания не произошло либо допускается ранняя подача возбуждения, повторное включение СД может сопровождаться броском тока несинхронного включения, обусловленным неблагоприятным фазовым соотношением между ЭДС СД и напряжением сети [**74**, **155**].

Расчет тока несинхронного включения СД следует выполнять в случаях, когда не гарантируется гашение поля СД на время провала напряжения или перерыва питания, сохраняется значимая остаточная ЭДС СД либо допускается ранняя подача возбуждения.

В случае обеспечения гашения поля СД на время провала напряжения или перерыва питания, когда $E''_q \approx 0$, расчетным для определения максимального тока СД, участвующего в самозапуске, следует принимать режим асинхронного пуска по подразделу **5.2.6**.

Максимальное значение тока статора СД при несинхронном включении с учетом влияния АД, подключенных к той же секции, следует определять по формуле [**74**]:

$$I_{макс.дв} = I_{нс} = \frac{\left[U_c \cdot \left(x''_d + x_{ад}\right) + E_{ад} \cdot x''_d + E''_q \cdot x_{ад}\right] \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left(x_c \cdot x''_d + x_c \cdot x_{ад} + x''_d \cdot x_{ад}\right)} \text{ [А]} \quad (5.16)$$

Для определения максимального тока несинхронного включения в формуле (5.16) следует принимать максимальное значение напряжения сети U_c, минимальное значение сопротивления сети x_c, а также расчетное фазовое соотношение между напряжением сети, ЭДС СД и эквивалентной ЭДС АД, соответствующее наибольшему значению тока несинхронного включения. В упрощенном случае без учета АД указанное условие соответствует противофазе напряжения сети и ЭДС СД, что учитывается в формуле (5.17) суммой $U_c + E''_q$.

При отсутствии на секции АД либо при возможности пренебречь их влиянием максимальное значение тока статора СД при несинхронном включении следует определять по формуле [**74**]:

$$I_{макс.дв} = I_{нс} = \frac{\left(U_c + E''_q\right) \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \left(x_c + x''_d\right)} \text{ [А]} \quad (5.17)$$

5.2.8 Максимальный ток синхронного двигателя при подпитке внешнего КЗ

При глубоких снижениях напряжения и КЗ во внешней сети СД может подпитывать место повреждения [**122**, **153**]. Для определения максимального тока подпитки следует рассматривать режим, при котором не выполняется гашение поля СД и действует форсировка возбуждения, применяемая для сохранения устойчивости СД.

При отсутствии дополнительного реактора в цепи тока КЗ и задании сверхпереходного индуктивного сопротивления СД в относительных единицах ток подпитки внешнего КЗ от СД следует определять по формуле [**9**, **112**, **153**]:

$$I_{макс.дв} = I_{кз.дв} = \frac{1{,}05 \cdot I_{ном.дв}}{x''^*_d} \text{ [А]} \quad (5.18)$$

Если сверхпереходное индуктивное сопротивление СД задано в омах, ток подпитки внешнего КЗ следует определять по формуле:

$$I_{макс.дв} = I_{кз.дв} = \frac{1{,}05 \cdot U_{ном.дв} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot x''_d} \text{ [А]} \quad (5.19)$$

При наличии реактора или иного элемента в цепи тока КЗ его сопротивление следует учитывать дополнительно в расчетной схеме.

5.3 ТОКОВАЯ ОТСЕЧКА

5.3.1 Общие сведения

В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.3.46] для защиты ЭД от многофазных КЗ в обмотке статора в случаях, когда не применяются предохранители, должна предусматриваться ТО без выдержки времени, отстроенная от пусковых токов при выведенных пусковых устройствах.

Работу алгоритма **«Токовая отсечка»** в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в разделе **3.4**.

Для электродвигателей основными расчетными условиями отстройки ТО, как правило, являются пуск и/или самозапуск, в том числе после действия АВР, ВНР и другой автоматики. Указанные режимы следует рассматривать как естественные рабочие режимы ЭД, от которых ТО должна быть надежно отстроена. Дополнительно при выборе уставки ТО необходимо учитывать режим подпитки внешнего КЗ от ЭД.

При пуске АД мгновенный ток статора содержит периодическую составляющую промышленной частоты и апериодическую составляющую переходного процесса. Апериодическая составляющая пускового тока затухает быстро, обычно в пределах 0,04 с [155]. После ее затухания через обмотку статора продолжает протекать повышенный периодический ток, величина которого изменяется по мере разгона двигателя и снижается до рабочего значения после завершения пуска.

Поэтому уставка ступени ТО, действующей без выдержки времени, должна выбираться с учетом начального броска пускового тока, включая апериодическую составляющую. При выборе уставки ступени ТО с небольшой выдержкой времени следует учитывать, что влияние кратковременной апериодической составляющей к моменту действия ступени, как правило, уменьшается; при этом уставка должна быть надежно отстроена от периодического пускового тока, сохраняющегося в течение времени пуска, а также от тока самозапуска ЭД.

Применение второй ступени ТО для ЭД в ПУЭ [100] отдельно не предусматривается. Вместе с тем при реализации алгоритма **«Токовая отсечка»** в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** ввод второй ступени ТО с небольшой выдержкой времени может быть целесообразен для повышения чувствительности к многофазным КЗ в обмотке статора ЭД и расширения защищаемой зоны. Снижение токовой уставки ступени с выдержкой времени по сравнению со ступенью, действующей без выдержки времени, позволяет [74]:

- повысить чувствительность к многофазным КЗ в обмотке статора электродвигателя;
- расширить защищаемую зону обмотки статора;
- уменьшить вероятность длительного существования повреждения, сопровождающегося снижением напряжения на сборных шинах;
- снизить риск несогласования по чувствительности с МТЗ питающих элементов, в том числе линий, трансформаторов, вводных и секционных выключателей, и связанного с этим неселективного отключения неповрежденных электроприемников.

При выборе выдержки времени второй ступени ТО следует учитывать допустимую длительность снижения напряжения на сборных шинах, условия самозапуска и устойчивости электродвигателей, подключенных к тем же шинам, а также действие ЗМН, ЗПП, АВР, ВНР и другой автоматики. Близкие многофазные КЗ, сопровождающиеся наибольшими токами и наиболее глубоким снижением напряжения, должны отключаться первой ступенью ТО без выдержки времени.

При выборе уставок ТО необходимо учитывать исполнение электропривода. Для электродвигателей с прямым пуском расчет выполняется с учетом пускового тока ЭД и условий самозапуска. Для электродвигателей с УПП или ПЧ при выборе уставок следует учитывать предельное значение тока, установленное или ограничиваемое УПП/ПЧ, а также возможность обхода или вывода пускового устройства, если такой режим предусмотрен схемой электропривода. В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.3.43] расчет уставок ТО для ЭД с изменяемой частотой вращения, в том числе многоскоростных электродвигателей, следует выполнять отдельно для каждой частоты вращения аналогично расчету уставок для односкоростных ЭД.

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

5.3.2 Расчет уставок

При определении расчетного тока для выбора уставок ТО следует учитывать место установки ТТ и режим работы ЭД. Для ЭД с УПП, ПЧ, байпасом или обходом пускового устройства в расчет принимается только ток, измеряемый ТТ данной защиты. При работе ЭД через байпас или обход пускового устройства расчет следует выполнять для соответствующего режима прямого подключения ЭД к сети.

Значение уставки первой ступени ТО по току следует выбирать по условию отстройки от максимального первичного тока статора ЭД $I_{макс.дв}$, определенного в соответствии с разделом 5.2. При определении $I_{макс.дв}$ учитываются режимы пуска, самозапуска, а также ток подпитки внешнего КЗ от ЭД.

Значение уставки **«Iто 1»** по указанному условию следует определять по формуле [74, 155]:

$$Iто\ 1 = k_{отс.то1} \cdot k_а \cdot I_{макс.дв}\ [А] \quad (5.20)$$

где

$k_{отс.то1}$ – коэффициент отстройки первой ступени ТО, принимается равным 1,2;

$k_а$ – коэффициент учета влияния апериодической составляющей тока, учитывающий ее остаточное влияние на измеряемое значение тока после подавления в измерительных алгоритмах; для устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** следует принимать равным 1,1;

$I_{макс.дв}$ А максимальный первичный ток статора ЭД, определяемый в соответствии с разделом 5.2.

Значение уставки **«Iто 2»** по условию отстройки ступени с выдержкой времени от максимального первичного тока статора ЭД следует определять по формуле:

$$Iто\ 2 = k_{отс.то2} \cdot I_{макс.дв}\ [А] \quad (5.21)$$

где

$k_{отс.то2}$ – коэффициент отстройки второй ступени ТО с выдержкой времени, принимается равным 1,1; при уточненном определении $I_{макс.дв}$ и выборе уставки **«Тто 2»**, обеспечивающей отстройку от кратковременной апериодической составляющей пускового тока, допускается принимать равным 1,05.

Ввод второй ступени ТО целесообразен при необходимости повышения чувствительности и расширения защищаемой зоны по сравнению с первой ступенью ТО, действующей без выдержки времени. При этом ввод второй ступени ТО с выдержкой времени не должен рассматриваться как замена первой ступени ТО без выдержки времени, предусмотренной ПУЭ [100, п. 5.3.46].

Коэффициент чувствительности первой ступени ТО следует определять при металлическом двухфазном КЗ на выводах ЭД в минимальном режиме работы системы [125, 155].

Проверку коэффициента чувствительности первой и второй ступеней ТО следует выполнять при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД [100, п. 5.3.47].

Коэффициент чувствительности первой ступени ТО следует определять по формуле:

$$k_{ч.то i} = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}}{Iто\ i} \quad (5.22)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}$ А минимальный первичный ток, протекающий через ТТ присоединения ЭД при металлическом двухфазном КЗ на выводах ЭД;

$Iто\ i$ А первичное значение уставки соответствующей ступени ТО;

i – номер ступени ТО, принимаемый равным 1 или 2.

Коэффициент чувствительности первой ступени ТО должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 8]:

- около 2 – для быстродействующих защит при металлическом КЗ в конце защищаемого участка.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 19]:

- 2,0 — для токовых защит без выдержки времени.

Коэффициент чувствительности второй ступени ТО с выдержкой времени должен соответствовать требованиям Приказа Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 1,5 — для токовых измерительных органов защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента;
- 1,3 — для токовых измерительных органов защит при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

При применении второй ступени ТО в качестве более чувствительной ступени защиты от многофазных КЗ в обмотке статора ЭД окончательное требование к коэффициенту чувствительности рекомендуется принимать по более жесткому условию:

$$k_{ч.ТОi} \geq 2 \quad (5.23)$$

Значение уставки **«Тто 1»** следует принимать равным [100, п. 5.3.46]:

$$Тто\ 1 = 0\ [с] \quad (5.24)$$

Согласно [155] затухание апериодической составляющей пускового тока происходит быстро, обычно в пределах 0,04 с. С учетом отстройки второй ступени ТО от кратковременного начального броска пускового тока и рекомендаций [74] по применению небольшого замедления значение уставки **«Тто 2»** следует принимать равным:

$$Тто\ 2 = 0{,}1\ [с] \quad (5.25)$$

5.4 ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЗАЩИТА

5.4.1 Общие сведения

Дифференциальная защита ЭД предназначена для быстрого и селективного отключения многофазных КЗ в зоне, ограниченной ТТ, установленными со стороны питания и со стороны нейтрали ЭД.

В соответствии с ПУЭ продольная дифференциальная токовая защита должна предусматриваться для ЭД мощностью 5 МВт и более, а также для ЭД мощностью менее 5 МВт, если установка ТО не обеспечивает выполнения требований чувствительности [100, п. 5.3.46]. Для электродвигателей мощностью 5 МВт и более, выполненных без шести выводов обмотки статора, должна предусматриваться ТО [100, п. 5.3.46].

В устройстве **«Алтей-БЗП»** дифференциальная защита ЭД реализована алгоритмом **«Дифференциальная токовая защита (ДТО и ДЗТ)»**. В состав алгоритма входят:

- дифференциальная токовая отсечка (ДТО);
- дифференциальная защита с торможением (ДЗТ).

ДТО предназначена для быстрого отключения КЗ в защищаемой зоне, сопровождающихся большими дифференциальными токами, и выполняется без торможения и блокировок. ДЗТ предназначена для действия при КЗ в защищаемой зоне с отстройкой от токов небаланса за счет торможения, при котором ток срабатывания автоматически изменяется в зависимости от тока торможения, что позволяет повысить чувствительность по сравнению с ДТО.

ДЗТ в алгоритме **«Дифференциальная токовая защита (ДТО и ДЗТ)»** может работать по действующим или мгновенным значениям дифференциального тока и тока торможения. Режим работы ДЗТ следует выбирать с учетом проверки ТТ и оценки тока небаланса при пуске, самозапуске ЭД и внешних КЗ; применение режима работы по мгновенным значениям следует рассматривать при возможности насыщения ТТ, способного привести к повышенному дифференциальному току небаланса и неправильному действию защиты. Особенности работы ДЗТ по мгновенным значениям при насыщении ТТ подробно разобраны в [82].

Основные параметры алгоритма **«Дифференциальная токовая защита (ДТО и ДЗТ)»** в устройстве **«Алтей-БЗП»** приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2. Алгоритм «Дифференциальная токовая защита»

ФУНКЦИЯ	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
ДТО	-	-	-	+	-
ДЗТ	-	-	-	+	-
Блокировка по 2-й гармонике	-	-	-	+	-
Загрубление при неисправностях в токовых цепях	-	-	-	+	-
Работа по мгновенным значениям	-	-	-	+	-

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-БЗП»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.3.

Таблица 5.3. Уставки алгоритма «Дифференциальная токовая защита»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Дифференциальная токовая защита (ДТО и ДЗТ)							
Iном	А	100	10	4000	1	-	Первичный номинальный ток двигателя
Idто	о.е.	5	3	20	0,01	0,9	Ток срабатывания ДТО
Tдто	с	0	0	1	0,01	-	Задержка срабатывания ДТО
Idзт	о.е.	0,3	0,2	1,5	0,01	0,9	Начальный ток срабатывания ДЗТ
kторм	-	0,5	0,2	1	0,01	-	Коэффициент торможения первого участка ДЗТ
Tдзт	с	0	0	0,1	0,01	-	Задержка на срабатывание ДЗТ
ИПБ 2г	о.е.	0,15	0,1	0,4	0,01	1	Уставка отношения 2 гармоники дифференциального тока к 1 для блокирования ДЗТ
Idзт г	о.е.	1,1	0,2	1,5	0,01	0,9	Начальный ток срабатывания ДЗТ грубого органа
Iнасыщ	о.е.	2	1	4	0,01	-	Кратность насыщения ТТ
Кбезусл	-	1,80	1,40	1,90	0,01	1	Коэффициент торможения зоны безусловного срабатывания

Расчет токовых уставок ДТО и ДЗТ целесообразно выполнять в первичных величинах с последующим приведением к единицам задания соответствующих уставок в устройстве. Уставка **«Iном»** задается в амперах как первичный ток двигателя, а уставки **«Idто»**, **«Idзт»**, **«Idзт г»** и **«Iнасыщ»** задаются в относительных единицах по отношению к уставке **«Iном»**.

5.4.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iном»** следует принимать равным:

$$I_{ном} = I_{ном.дв} \tag{5.26}$$

где

$I_{ном.дв}$ А — номинальный первичный ток двигателя, определяемый в соответствии с подразделом 5.2.2

Расчетное значение уставки **«Idто»** следует определять по формуле:

$$I_{дто.расч} = k_{отс.дто} \cdot \varepsilon_{нб.дто} \cdot \frac{I_{макс.дв}}{I_{ном}} \ [о.е.] \tag{5.27}$$

$I_{ДТО.расч}$ о.е. — расчетное значение уставки **«Idто»**

$k_{отс.ДТО}$ — — коэффициент отстройки ДТО от расчетного тока небаланса, принимаемый из диапазона 1,2–1,5. Меньшие значения коэффициента допускается принимать при наличии уточненных данных по ТТ, вторичным цепям и расчетному току небаланса; при отсутствии уточненных данных значение коэффициента рекомендуется принимать по верхней границе указанного диапазона

$\varepsilon_{нб.ДТО}$ о.е. — относительная величина тока небаланса ДТО в переходном режиме при возможном насыщении ТТ одного плеча дифференциальной защиты; при отсутствии уточненных данных принимается из диапазона 0,7–0,9

$I_{макс.дв}$ А — максимальный первичный ток двигателя в расчетном сквозном режиме, принимаемый равным наибольшему из значений, определенных в соответствии с подразделами 5.2.2–5.2.8

$I_{ном}$ А — значение уставки **«Iном»**, определяется по формуле (5.26)

Окончательное значение уставки **«Iдто»** следует принимать не менее минимального значения диапазона задания уставки в устройстве **«Алтей-БЗП»**:

$$Iдто = макс\left(I_{ДТО.расч}\,;\, I_{ДТО.мин}\right)\ [о.е.] \quad (5.28)$$

$I_{ДТО.расч}$ о.е. расчетное значение уставки **«Iдто»**, определяемое по формуле (5.27)

$I_{ДТО.мин}$ о.е. минимальное значение уставки **«Iдто»**, задаваемое в устройстве **«Алтей-БЗП»**; принимается по таблице 5.3.

Проверку чувствительности ДТО следует выполнять при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД [**100**, п. 5.3.47].

Коэффициент чувствительности ДТО следует определять по формуле:

$$k_{ч.ДТО} = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}}{Iдто \cdot Iном} \quad (5.29)$$

где

$I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}$ А минимальный первичный ток, протекающий через ТТ присоединения ЭД при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД

Iдто о.е. окончательное значение уставки **«Iдто»**, определяемое по формуле (5.28)

Коэффициент чувствительности ДТО должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.21, пп. 4]:

- около 2 – для продольных дифференциальных защит.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 14]:

- 2,0 – для продольных дифференциальных защит линий и оборудования.

Значение уставки **«Тдто»** следует принимать равным:

$$Тдто = 0\ [с] \quad (5.30)$$

Расчетное значение уставки **«Iдзт»** следует определять по условию отстройки от тока небаланса в дифференциальной цепи при номинальном рабочем токе ЭД:

$$I_{ДЗТ.расч} = k_{отс.ДЗТ} \cdot \varepsilon_{раб} \cdot \frac{I_{ном.дв}}{Iном} = k_{отс.ДЗТ} \cdot \varepsilon_{раб}\ [о.е.] \quad (5.31)$$

$I_{ДЗТ.расч}$ о.е. расчетное значение уставки **«Iдзт»**

$k_{отс.ДЗТ}$ – коэффициент отстройки ДЗТ от тока небаланса, принимаемый из диапазона 1,2–1,5

$\varepsilon_{раб}$ о.е. относительная полная погрешность ТТ при номинальном рабочем токе ЭД, принимаемая равной 0,1

Для ЭД, работающих с длительной технологической перегрузкой, значение уставки **«Iдзт»** следует выбирать с учетом максимального длительно допустимого рабочего тока ЭД.

Окончательное значение уставки **«Iдзт»** следует принимать не менее минимального значения диапазона задания уставки в устройстве **«Алтей-БЗП»**:

$$Iдзт = макс\left(I_{ДЗТ.расч}\,;\, I_{ДЗТ.мин}\right)\ [о.е.] \quad (5.32)$$

$I_{ДЗТ.расч}$ о.е. расчетное значение уставки **«Iдзт»**, определяется по формуле (5.31)

$I_{ДЗТ.мин}$ о.е. минимальное значение уставки **«Iдзт»**, задаваемое в устройстве **«Алтей-БЗП»**; принимается по таблице 5.3.

Значение уставки **«Iдзт»** менее 0,3 о.е. допускается принимать при наличии расчетного обоснования и проверке правильности действия алгоритма **«Контроль цепей тока»**.

Для ЭД, не подверженных технологическим перегрузкам, принятое значение уставки **«Iдзт»**, как правило, следует выбирать из диапазона:

$$Iдзт = 0{,}3–1{,}2\ [о.е.] \quad (5.33)$$

Для особо ответственных ЭД, неправильное отключение которых при неисправностях токовых цепей недопустимо по условиям технологического процесса или безопасности, при отсутствии действия алгоритма **«Контроль цепей тока»** на загрубление или вывод ДЗТ значение уставки **«Iдзт»** рекомендуется выбирать по условию отстройки от обрыва токовых цепей. Значение уставки **«Iдзт»** для таких ЭД рекомендуется принимать из диапазона [**122**]:

$$Iдзт = 1{,}3–1{,}5\ [о.е.] \tag{5.34}$$

При выборе уставки **«Iдзт»** более 1 о.е. следует предусматривать контроль небаланса измерительных цепей в алгоритме **«Контроль цепей тока»** в соответствии с подразделом **12.3**.

Значение уставки **«kторм»** следует выбирать по условию отстройки тормозной характеристики ДЗТ от максимального тока небаланса при расчетном сквозном токе пуска, самозапуска ЭД или внешнего КЗ по формуле:

$$k_{торм.расч} = k_{отс.торм} \cdot \left(k_{одн} \cdot k_{ап.ДЗТ} \cdot \varepsilon_{макс} + 2 \cdot \gamma + \delta\right) \tag{5.35}$$

где

$k_{торм.расч}$ – расчетное значение уставки **«kторм»**

$k_{отс.торм}$ – коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,1–1,25

$k_{ап.ДЗТ}$ – коэффициент, учитывающий увеличение относительной погрешности ТТ при наличии апериодической составляющей в расчетном сквозном токе. Принимается равным:

- 1,1–1,3 – при расчетном подтверждении отсутствия глубокого насыщения ТТ
- 2,5 – при отсутствии уточненной проверки ТТ в переходных режимах
- 3,0–3,5 – при неблагоприятных условиях работы ТТ (существенно отличающиеся сопротивления и нагрузки вторичных цепей плеч ДЗТ, недостаточная предельная кратность ТТ, различие характеристик намагничивания или признаки насыщения ТТ при расчетном сквозном токе)

$k_{одн}$ – коэффициент однотипности ТТ; допускается принимать равным 0,5 для однотипных, специально подобранных ТТ. Во всех остальных случаях принимается равным 1,0

$\varepsilon_{макс}$ о.е. полная относительная погрешность ТТ при максимальном сквозном токе в расчетном режиме, принимается равной 0,1

γ о.е. относительная погрешность одного токового измерительного канала устройства, принимается равной 0,02

δ о.е. технологический запас, принимается равным 0,025

Окончательное значение уставки **«kторм»** следует принимать не менее минимального значения диапазона задания уставки в устройстве **«Алтей-БЗП»**:

$$kторм = макс\left(k_{торм.расч}; k_{торм.мин}\right) \tag{5.36}$$

$k_{торм.расч}$ – расчетное значение уставки **«kторм»**, определяется по формуле (5.35)

$k_{торм.мин}$ – минимальное значение уставки **«kторм»**, задаваемое в устройстве **«Алтей-БЗП»**; принимается по таблице 5.3.

Проверку чувствительности ДЗТ следует выполнять при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД в минимальном режиме работы системы [**100**, п. 5.3.47].

Для проверки чувствительности ДЗТ необходимо определить относительные значения дифференциального и тормозного токов в расчетной точке КЗ:

$$I^{*}_{диф.кз} = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}}{Iном}\ [о.е.] \tag{5.37}$$

$$I^{*}_{торм.кз} = \frac{I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}}{2 \cdot Iном}\ [о.е.] \tag{5.38}$$

где

$I^{*}_{диф.кз}$ о.е. относительное значение дифференциального тока ДЗТ при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД

$I^{*}_{торм.кз}$ о.е. относительное значение тормозного тока ДЗТ при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД

$I^{(2)}_{кз.мин.ЭД}$ А минимальный первичный ток, протекающий через ТТ присоединения ЭД при металлическом двухфазном КЗ на линейных выводах ЭД

Расчетное относительное значение тока срабатывания ДЗТ в точке проверки чувствительности следует определять по формуле:

$$I^{*}_{расч.ДЗТ.кз} = макс\left(Iдзт; kторм \cdot I^{*}_{торм.кз}\right)\ [о.е.] \tag{5.39}$$

где

$I^{*}_{расч.ДЗТ.кз}$ о.е. относительное значение тока срабатывания ДЗТ с учетом торможения в расчетной точке

$I_{дзт}$	о.е.	окончательное значение уставки **«Iдзт»**, определяемое по формуле (5.32) с учетом рекомендуемых диапазонов по формулам (5.33) или (5.34)
$k_{торм}$	–	окончательное значение уставки **«kторм»**, определяется по формуле (5.36)

Коэффициент чувствительности ДЗТ следует определять по формуле:

$$k_{ч.ДЗТ}=\frac{I^{*}_{диф.кз}}{I^{*}_{расч.ДЗТ.кз}} \quad (5.40)$$

Коэффициент чувствительности ДЗТ должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 4]:

- около 2 – для продольных дифференциальных защит.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14]:

- 2,0 – для продольных дифференциальных защит линий и оборудования.

Значение уставки **«Тдзт»** следует принимать равным:

$$Т_{дзт}=0\ [с] \quad (5.41)$$

При применении ДЗТ для защиты обмотки статора ЭД блокировку по второй гармонике **«ИПБ 2г»**, как правило, не следует вводить без специального обоснования. Устойчивость ДЗТ при пуске, самозапуске, внешних КЗ и возможном насыщении ТТ должна обеспечиваться выбором уставок **«Iдзт»**, **«kторм»**, **«Iнасыщ»** и **«Кбезусл»**. В [1] для цифровой дифференциальной защиты ЭД указывается на целесообразность вывода снятия блокировки по второй гармонике по особой форме тока включения, поскольку наложение броска тока намагничивания и повреждения ЭД практически невозможно.

При наличии обоснования для ввода блокировки значение уставки **«ИПБ 2г»** следует принимать из диапазона [1]:

$$ИПБ\ 2г=0{,}1-0{,}2\ [о.е.] \quad (5.42)$$

Значение уставки **«Iдзт г»** при действии загрубления ДЗТ по сигналу алгоритма **«Контроль цепей тока»** следует выбирать больше номинального тока ЭД при условии обеспечения требуемого значения коэффициента чувствительности ДЗТ. Рекомендуемое значение уставки **«Iдзт г»** следует принимать из диапазона:

$$I_{дзт\ г}=1{,}1–1{,}5\ [о.е.] \quad (5.43)$$

Меньшие значения указанного диапазона допускается принимать для ЭД, не подверженных длительным технологическим перегрузкам. Для особо ответственных ЭД, неправильное отключение которых при неисправностях токовых цепей недопустимо по условиям технологического процесса или безопасности, значение уставки **«Iдзт г»** рекомендуется принимать ближе к верхней границе указанного диапазона, поскольку применение уставок ДЗТ с током срабатывания меньше номинального может привести к отключению ЭД при обрыве токовых цепей [122].

При наличии длительно допустимой технологической перегрузки принятое значение уставки **«Iдзт г»** должно быть отстроено от максимального длительно допустимого рабочего тока ЭД. Если требуемая отстройка не обеспечивается в пределах диапазона задания уставки **«Iдзт г»**, следует рассмотреть действие алгоритма **«Контроль цепей тока»** на вывод ДЗТ из работы; уставки алгоритма **«Контроль цепей тока»** следует выбирать в соответствии с подразделом 12.3.

Проверку чувствительности ДЗТ при действии загрубления по уставке **«Iдзт г»** следует выполнять по формулам (5.37)–(5.40), принимая в формуле для $I^{*}_{расч.ДЗТ.кз}$ вместо уставки **«Iдзт»** значение уставки **«Iдзт г»**. Принятое значение уставки **«Iдзт г»** допускается применять при выполнении требований к коэффициенту чувствительности ДЗТ, приведенных после формулы (5.40).

При невыполнении требований к коэффициенту чувствительности следует уменьшить значение уставки **«Iдзт г»** в пределах диапазона задания либо рассмотреть вывод ДЗТ из работы по сигналу алгоритма **«Контроль цепей тока»**.

Уставки **«Iнасыщ»** и **«Кбезусл»** применяются при переводе ДЗТ на работу по мгновенным значениям. При превышении тормозным током уставки **«Iнасыщ»** и отсутствии попадания мгновенных значений $I_{диф}/I_{торм}$ в характеристику срабатывания взводится орган дополнительного торможения, блокирующий срабатывание ДЗТ по основной характеристике; в течение действия дополнительного торможения отключение разрешается только при превышении отношением действующих значений $I_{диф}/I_{торм}$ уставки **«Кбезусл»**. Такая логика предусмотрена для предотвращения ложного действия ДЗТ при насыщении ТТ в сквозных режимах и сохранения возможности отключения при переходе внешнего КЗ во внутреннее.

При отсутствии уточненных данных значения уставок **«Iнасыщ»** и **«Кбезусл»** следует принимать равными начальным значениям, рекомендованным для устройства **«Алтей-БЗП»**:

$$Iнасыщ=2{,}0\ [о.е.] \quad (5.44)$$

$$Кбезусл=1{,}8 \quad (5.45)$$

При наличии осциллограмм пуска, самозапуска или сквозных КЗ значение уставки **«Iнасыщ»** допускается уточнять так, чтобы детектор насыщения действовал в сквозных режимах с возможным насыщением ТТ и не действовал в нормальных нагрузочных режимах и режимах допустимой перегрузки ЭД. Принятое значение уставки **«Кбезусл»** должно быть меньше 2,0, что обеспечивает прохождение отключающего сигнала при внутренних КЗ в условиях действия дополнительного торможения; при этом уставка должна находиться в диапазоне задания устройства по таблице 5.3.

5.4.3 Характеристика срабатывания ДЗТ и ДТО

Характеристика срабатывания ДЗТ и ДТО, построенная в координатах $I_{торм}/I_{ном}$ и $I_{диф}/I_{ном}$, приведена на рисунке 5.3.

Граница срабатывания ДЗТ в нормальном режиме определяется начальным током срабатывания **«Iдзт»** и коэффициентом торможения **«kторм»**. При действии загрубления ДЗТ по сигналу алгоритма **«Контроль цепей тока»** вместо уставки **«Iдзт»** применяется уставка **«Iдзт г»**. ДТО действует независимо от тормозного тока при превышении дифференциальным током уставки **«Iдто»**.

Параметры времени **«Тдзт»**, **«Тдто»** и блокировка по второй гармонике **«ИПБ 2г»** на рисунке 5.3 не отображаются.

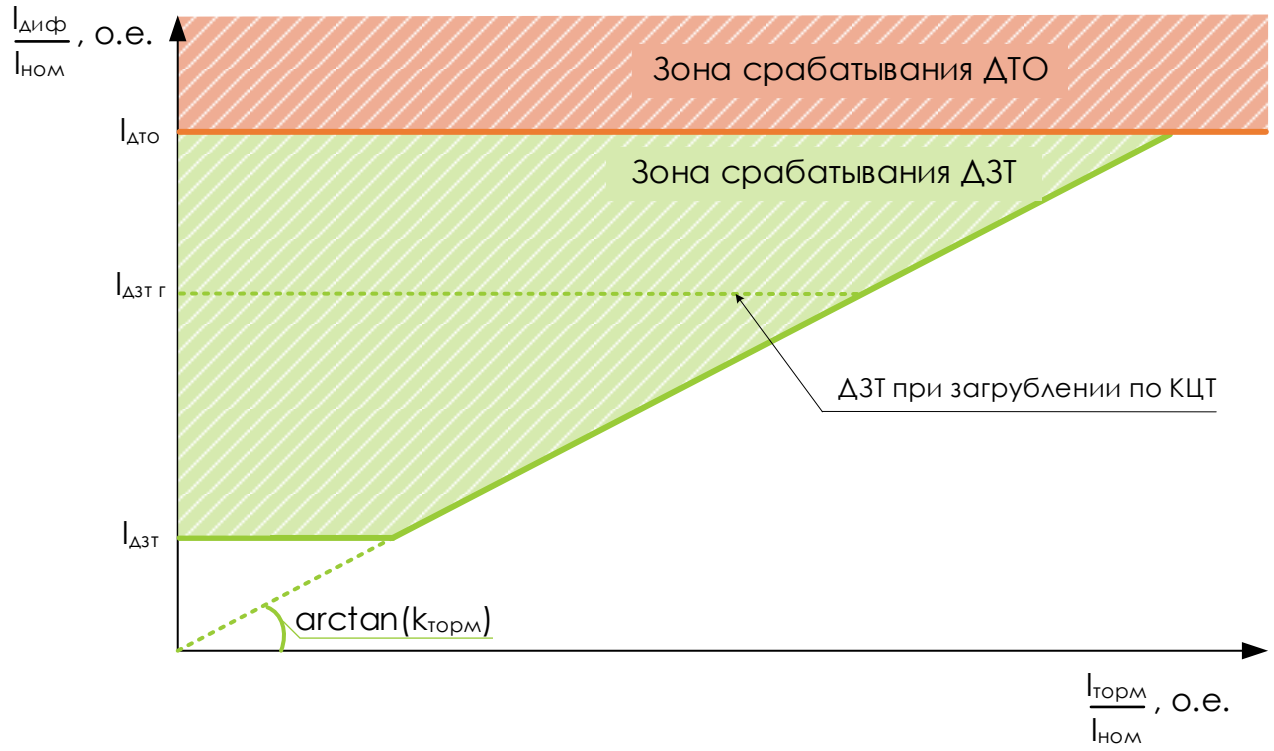


Рисунок 5.3. Характеристика срабатывания ДЗТ и ДТО

Работа ДЗТ по мгновенным значениям при возможном насыщении ТТ поясняется рисунком 5.4. При превышении тормозным током уставки **«Iнасыщ»** и отсутствии попадания мгновенных значений $I_{диф}/I_{торм}$ в характеристику срабатывания ДЗТ взводится орган дополнительного торможения. В течение действия дополнительного торможения отключение разрешается только при превышении отношением действующих значений $I_{диф}/I_{торм}$ уставки **«Кбезусл»**.

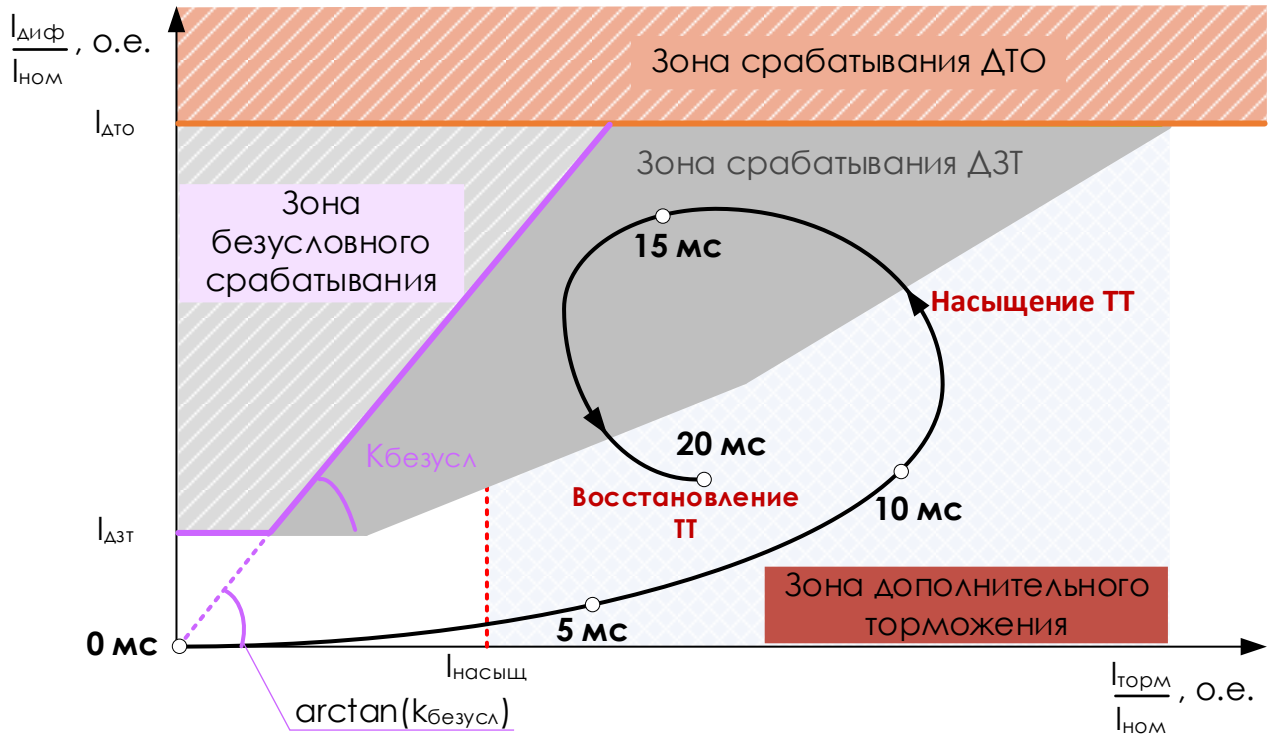


Рисунок 5.4. Дополнительное торможение ДЗТ при насыщении ТТ

5.5 ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА

5.5.1 Общие сведения

Защита ЭД от однофазных замыканий на землю должна выполняться в соответствии с требованиями [100, п. 5.3.48].

Для ЭД мощностью до 2 МВт при отсутствии компенсации защита от ОЗЗ предусматривается при величине емкостного тока сети 10 А и более, а при наличии компенсации — если остаточный ток сети в нормальных условиях превышает указанное значение. Для ЭД мощностью более 2 МВт защита должна предусматриваться при токе замыкания на землю 5 А и более.

Ток срабатывания защиты от ОЗЗ должен приниматься не более:

- 10 А — для электродвигателей мощностью до 2 МВт;
- 5 А — для электродвигателей мощностью более 2 МВт.

Меньшие значения тока срабатывания допускается принимать, если это не приводит к усложнению выполнения защиты и обеспечивает ее устойчивость при внешних ОЗЗ и переходных процессах. Защита от ОЗЗ должна выполняться без выдержки времени, за исключением случаев, когда требуется замедление по условию отстройки от переходных процессов [100, п. 5.3.48].

Защита от ОЗЗ должна действовать:

- на отключение выключателя — для АД;
- на отключение выключателя и устройство автоматического гашения поля, если оно предусмотрено — для СД.

В работе [122] отмечается, что при однофазном замыкании на землю в обмотке статора ЭД длительное протекание тока замыкания может приводить к локальному повреждению изоляции, повреждению активной стали статора, развитию межвитковых повреждений и переходу повреждения в многофазное КЗ. С учетом этого при расчете уставок защиты от ОЗЗ обмотки статора ЭД следует обеспечивать максимально возможную чувствительность защиты при сохранении устойчивости функционирования защиты в режимах внешних ОЗЗ, переходных процессов, пуска и самозапуска ЭД.

Защита от ОЗЗ и двойных замыканий на землю реализуется:

- в устройствах **«Лютик»**, **«Лютик-Плюс»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** — алгоритмом **«Защита от однофазных замыканий на землю»**;
- в устройстве **«Алтей-01»** — алгоритмом **«Защита от однофазных замыканий на землю и токовая защита нулевой последовательности»**.

Основные параметры указанных алгоритмов приведены в таблице 3.34. Рассчитываемые параметры алгоритмов для каждого устройства приведены в п. **3.15.1**.

Помимо однофазных повреждений, опасность представляют двойные замыкания на землю. Двойное замыкание на землю может возникать при наличии одного места пробоя на фазе защищаемого ЭД, не охваченной ТТ, и второго места пробоя на другой фазе любого присоединения, гальванически связанного с данным ЭД. При таком виде повреждения возможны токи, сопоставимые с токами двухфазного КЗ. Для предотвращения значительных повреждений защита от двойных замыканий на землю должна обеспечивать отключение ЭД без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени [**122**].

Для защиты от двойных замыканий на землю следует использовать отдельную токовую ступень ОЗЗ/ТЗНП, действующую на отключение без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени [**100**, п. 5.3.48; **122**].

В устройствах **«Лютик»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** защита от ОЗЗ выполняется первой ступенью алгоритма, защита от двойных замыканий на землю — второй ступенью алгоритма.

В устройстве **«Лютик-Плюс»** первая ступень алгоритма применяется для защиты от ОЗЗ, вторая ступень может применяться для отключения замыканий на землю, в том числе двойных замыканий на землю, с учетом выбранных условий пуска. Третья ступень применяется по принятой схеме действия ступеней ОЗЗ/ТЗНП.

В устройстве **«Алтей-01»** первая ступень алгоритма **«Защита от однофазных замыканий на землю и токовая защита нулевой последовательности»** применяется для выявления ОЗЗ с действием на сигнализацию и, при необходимости, на отключение; вторая ступень может применяться для отключения замыканий на землю, в том числе двойных замыканий на землю. Третья ступень применяется по принятой схеме действия ступеней ОЗЗ/ТЗНП.

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТНП.

5.5.2 Расчет уставок защиты от однофазных замыканий на землю обмотки статора ЭД

Расчет уставок защиты от ОЗЗ следует выполнять по п. **3.15**. В настоящем подразделе приведены дополнительные расчетные условия, учитывающие особенности защиты от замыканий на землю обмотки статора ЭД:

- определение собственного емкостного тока защищаемого присоединения ЭД;
- ограничение тока срабатывания по требованиям ПУЭ для ЭД;
- выбор выдержки времени по условию отстройки от переходных процессов при пуске и самозапуске ЭД;
- расчет уставок ступени защиты от двойных замыканий на землю.

Собственный емкостный ток защищаемого присоединения ЭД следует определять по формуле:

$$I_{прис.ЭД}=I_{Сдв}+I_{Сл}\ [А] \quad (5.46)$$

где

$I_{Сдв}$	А	емкостный ток обмотки статора ЭД
$I_{Сл}$	А	емкостный ток кабельной линии от ячейки РУ до ЭД, определяется по справочным данным удельного емкостного тока либо по формулам (3.221), (3.222)

Емкостный ток обмотки статора ЭД $I_{Сдв}$ следует определять по формуле (3.223), принимая в качестве емкости фазы относительно земли емкость фазы обмотки статора ЭД $C_{0дв}$. Значение $C_{0дв}$. следует принимать по данным завода-изготовителя ЭД. При отсутствии данных завода-изготовителя для СД серии СТД допускается использовать справочные значения емкости статорной обмотки на три фазы, приведенные в таблице 5.4 [**122**].

Таблица 5.4. Справочные значения электрической емкости статорной обмотки на землю для СД серии СТД

ТИП ДВИГАТЕЛЯ	МОЩНОСТЬ ДВИГАТЕЛЯ, КВТ	ЕМКОСТЬ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ НА ТРИ ФАЗЫ, МКФ, ДЛЯ ЭД 6 КВ	ЕМКОСТЬ СТАТОРНОЙ ОБМОТКИ НА ТРИ ФАЗЫ, МКФ, ДЛЯ ЭД 10 КВ
СТД-5000-2	5000	0,11	0,085
СТД-6300-2	6300	0,11	0,11
СТД-8000-2	8000	0,17	0,11
СТД-10000-2	10000	0,17	0,15
СТД-12500-2	12500	0,22	0,15

При использовании справочного значения емкости статорной обмотки на три фазы емкость одной фазы следует определять по формуле:

$$C_{0дв} = \frac{C_{0дв.3ф}}{3}\ [Ф] \tag{5.47}$$

где

$C_{0дв}$ Ф емкость фазы обмотки статора ЭД относительно земли

$C_{0дв.3ф}$ Ф суммарная емкость трех фаз обмотки статора ЭД относительно земли, принимаемая по данным завода-изготовителя ЭД или по 5.4

Если $C_{0дв.3ф}$ принимается по таблице 5.4 в мкФ, значение $C_{0дв}$ для подстановки в формулу (3.223) следует определять с учетом пересчета мкФ в Ф:

$$C_{0дв} = \frac{C_{0дв.3ф.табл} \cdot 10^{-6}}{3}\ [Ф] \tag{5.48}$$

где

$C_{0дв.3ф.табл}$ мкФ табличное значение суммарной емкости трех фаз обмотки статора ЭД относительно земли

При отсутствии паспортных и справочных данных значение $C_{0дв}$, для неявнополюсных СД и АД с короткозамкнутым ротором допускается определять по формулам [122,176]:

$$C_{0дв} \approx \frac{0{,}0187 \cdot S_{ном.дв} \cdot 10^{-6}}{1{,}2 \cdot \sqrt{U_{ном.дв} \cdot (1 + 0{,}08 \cdot U_{ном.дв})}}\ [Ф] \tag{5.49}$$

или

$$C_{0дв} \approx \frac{0{,}0187 \cdot P_{ном.дв} \cdot 10^{-6}}{1{,}2 \cdot \cos\varphi \cdot \eta \cdot \sqrt{U_{ном.дв} \cdot (1 + 0{,}08 \cdot U_{ном.дв})}}\ [Ф] \tag{5.50}$$

где

$C_{0дв}$ Ф емкость фазы обмотки статора ЭД относительно земли

$S_{ном.дв}$ МВА номинальная полная мощность ЭД

$P_{ном.дв}$ МВт номинальная мощность на валу ЭД

$U_{ном.дв}$ кВ номинальное линейное напряжение ЭД

$\cos\varphi$ – номинальный коэффициент мощности ЭД

η о.е. номинальный КПД ЭД

При отсутствии паспортных и справочных данных значение $C_{0дв}$, для явнополюсных ЭД допускается определять по формуле [122,176]:

$$C_{0дв} \approx \frac{40 \cdot \sqrt[4]{S_{ном.дв}^3} \cdot 10^{-6}}{3 \cdot (U_{ном.дв} + 3600) \cdot \sqrt[3]{n_{ном.дв}}}\ [Ф] \tag{5.51}$$

где

$C_{0дв}$ Ф емкость фазы обмотки статора ЭД относительно земли

$S_{ном.дв}$ кВА номинальная полная мощность ЭД

$U_{ном.дв}$ В номинальное линейное напряжение ЭД

$n_{ном.дв}$ мин$^{-1}$ номинальная частота вращения ротора ЭД

Значение уставки **«Iоз3 1»** следует определять по п. 3.15 по формулам расчета токовой уставки первой ступени ОЗЗ, принимая $I_{прис}$ по формуле:

$$I_{Сприс}=I_{прис.ЭД}\ [А] \quad (5.52)$$

Окончательное значение уставки **«Iоз3 1»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям:

- отстройки от собственного емкостного тока защищаемого присоединения ЭД при внешнем ОЗЗ;
- отстройки от максимального тока небаланса ФТНП в режимах без ОЗЗ, при пуске, самозапуске ЭД и внешних междуфазных КЗ;
- минимального первичного тока срабатывания, определяемого нижней границей диапазона срабатывания уставки **«Iоз3 1»** и коэффициентом трансформации ТТНП.

Выбранное значение уставки **«Iоз3 1»** должно удовлетворять следующим условиям:

$$Iоз3\ 1 \leq 10\ [А] \quad (5.53)$$

для ЭД мощностью до 2 МВт;

$$Iоз3\ 1 \leq 5\ [А] \quad (5.54)$$

для ЭД мощностью более 2 МВт.

Если уставка **«Iоз3 1»**, выбранная по условиям отстройки, превышает предельный ток срабатывания по ПУЭ [100, п. 5.3.48], ее не следует принимать в качестве окончательной. Для обеспечения требований по току срабатывания следует рассмотреть применение направленного органа ОЗЗ, органа высших гармоник $3I_0$, применение централизованной защиты от замыканий на землю **«Геум-И»** или **«Геум-К»**, уточнение исходных данных для расчета собственного емкостного тока защищаемого присоединения ЭД и тока небаланса ТТНП, а также применение выдержки времени по условию отстройки от переходных процессов.

Проверку коэффициента чувствительности уставки **«Iоз3 1»** следует выполнять по п. 3.15.

Для защиты от ОЗЗ обмотки статора ЭД с действием на отключение значение коэффициента чувствительности рекомендуется принимать:

$$k_{ч.ОЗЗ} \geq 2{,}0 \quad (5.55)$$

Если указанное значение не обеспечивается, следует рассмотреть применение направленного органа ОЗЗ, органа высших гармонических составляющих тока $3I_0$, уточнение исходных данных для расчета емкостных токов и тока небаланса ТТНП, а также выбранное значение уставки **«Iоз3 1»**.

При невозможности обеспечения $k_{ч.ОЗЗ} \geq 2{,}0$ минимально допустимое значение коэффициента чувствительности следует принимать по п. 3.15 в зависимости от режима заземления нейтрали и принципа действия защиты.

При применении первой ступени ОЗЗ по высшим гармоническим составляющим тока $3I_0$ значение уставки **«Iоз3 1 вг»** следует определять по п. 3.15 по формуле (3.260), принимая $I_{прис}$ по формуле (5.52).

Значение уставки **«Uоз3 1»** при использовании пуска по напряжению нулевой последовательности следует выбирать по п. 3.15. Условие по напряжению $3U_0$ следует рассматривать как пусковое или разрешающее условие. Оно не заменяет проверку селективности по току $3I_0$, высшим гармоническим составляющим $3I_0$ или направлению мощности нулевой последовательности.

Расчет уставок направленной защиты от ОЗЗ следует выполнять по п. 3.15.

В соответствии с ПУЭ [100, п. 5.3.48] защита от ОЗЗ ЭД должна выполняться без выдержки времени. Ввод выдержки времени допускается как исключение — для ЭД, для которых требуется замедление защиты по условию отстройки от переходных процессов [100, п. 5.3.48].

Значение выдержки времени защиты от ОЗЗ следует выбирать по условию отстройки от переходных процессов, возникающих при ОЗЗ, пуске, самозапуске ЭД и коммутационных операциях [1, 122]. Для мощных ЭД значение выдержки времени защиты от ОЗЗ рекомендуется принимать не менее 0,2 с по условию отстройки от тока небаланса в цепи ТТНП при пуске ЭД [1].

При действии первой ступени ОЗЗ на отключение выдержку времени до формирования команды на отключение следует определять по формуле:

$$t_{ОЗЗ\ 1.откл} = Тозз\ 1 + 60 \cdot Тозз\ 1\ откл\ [с] \quad (5.56)$$

где

$t_{ОЗЗ\ 1.откл}$ с выдержка времени первой ступени ОЗЗ до формирования команды на отключение

Тозз 1 с значение уставки **«Тозз 1»**

Тозз 1 откл мин значение уставки **«Тозз 1 откл»**

Значения уставок **«Тозз 1»** и **«Тозз 1 откл»** следует выбирать с учетом условия:

$$t_{ОЗЗ\ 1.откл} \leq t_{ОЗЗ\ 1.откл.треб} \quad (5.57)$$

где

$t_{ОЗЗ\ 1.откл.треб}$ с требуемое предельное значение выдержки времени первой ступени ОЗЗ до формирования команды на отключение

Значение $t_{ОЗЗ\ 1.откл.треб}$ следует принимать по проектным решениям, требованиям НТД, требованиям эксплуатирующей организации и условиям технологического процесса. При отсутствии специальных требований значение $t_{ОЗЗ\ 1.откл.треб}$ допускается принимать с учетом следующих ориентиров:

- около 0,2 с — для мощных ЭД при необходимости отстройки от тока небаланса в цепи ТТНП при пуске ЭД [1];
- около 1,0 с — при необходимости отстройки от переходных процессов, если ток ОЗЗ не превышает 10–20 А [122];
- 1,0–2,0 с — при необходимости обеспечения несрабатывания защиты при внешних замыканиях на землю [74];
- 0,5 с — при наличии соответствующих требований проектных решений или требований эксплуатирующей организации.

Окончательное значение $t_{ОЗЗ\ 1.откл.треб}$ следует принимать минимально возможным по условию отстройки от переходных процессов, с учетом требования ПУЭ о выполнении защиты от ОЗЗ ЭД без выдержки времени как основного варианта [100, п. 5.3.48].

Так как уставка **«Тозз 1 откл»** задается в минутах, при необходимости действия первой ступени ОЗЗ на отключение с малой выдержкой времени значение уставки **«Тозз 1 откл»** следует принимать равным 0 мин. В этом случае отстройку от переходных процессов следует обеспечивать выбором уставки **«Тозз 1»**.

5.5.3 Расчет уставок защиты от двойных замыканий на землю

Для отключения двойных замыканий на землю следует использовать отдельную токовую ступень ОЗЗ/ТЗНП, действующую на отключение без выдержки времени или с минимально возможной выдержкой времени [100, п. 5.3.48; 122].

В устройствах **«Лютик»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** для отключения двойных замыканий на землю следует использовать вторую ступень алгоритма.

В устройствах **«Лютик-Плюс»** и **«Алтей-01»** для отключения двойных замыканий на землю следует использовать вторую ступень алгоритма с учетом принятой схемы действия ступеней, используемого источника тока $3I_0$ и условий пуска по $3U_0$ и РНМ НП.

При наличии трехфазной ТО или трехфазной продольной ДЗТ вторая ступень ОЗЗ не является единственным средством отключения данного вида повреждения. Вместе с тем расчет уставки **«Iозз 2»** целесообразно выполнять, поскольку при двойном замыкании на землю через переходное сопротивление чувствительность защиты от междуфазных КЗ может оказаться недостаточной. При двухфазном исполнении продольной ДЗТ вторая ступень ОЗЗ должна предусматриваться для обеспечения быстрого отключения двойных замыканий на землю [122].

Значение уставки **«Iозз 2»** следует выбирать по условию отстройки от переходных токов небаланса в цепи ТТНП при пуске, самозапуске ЭД и внешних КЗ:

$$I_{ОЗЗ\ 2.расч} = k_{отс.ДЗЗ} \cdot I_{3I0нб.макс}\ [А] \quad (5.58)$$

где

$I_{ОЗЗ\ 2.расч}$	А	расчетное первичное значение уставки **«Iозз 2»**
$k_{отс.ДЗЗ}$	–	коэффициент отстройки; допускается принимать по п. 3.15 для условия отстройки от максимального тока небаланса ФТНП
$I_{3I0нб.макс}$	А	максимальный первичный ток небаланса в цепи ТТНП в режимах без ОЗЗ, при пуске, самозапуске ЭД и внешних КЗ

При отсутствии расчетных данных по $I_{3I0нб.макс}$ ориентировочное первичное значение уставки **«Iозз 2»** допускается принимать из диапазона 50–100 А [122].

Окончательное значение уставки **«Iозз 2»** следует принимать в пределах диапазона задания применяемого устройства с обязательной проверкой чувствительности.

Коэффициент чувствительности второй ступени ОЗЗ, применяемой для отключения двойных замыканий на землю, следует определять по формуле:

$$k_{ч.ДЗЗ} = \frac{I_{ДЗЗ.мин}}{Iозз\ 2} \quad (5.59)$$

где

$I_{ДЗЗ.мин}$	А	минимальный первичный ток, протекающий через ТТНП или ФТНП защищаемого присоединения при расчетном двойном замыкании на землю
$Iозз\ 2$	А	принятое первичное значение уставки **«Iозз 2»**

Коэффициент чувствительности второй ступени ОЗЗ должен соответствовать следующим требованиям.

Согласно ПУЭ [100, п. 3.2.21, пп. 8]:

- около 2 – для быстродействующих защит при металлическом КЗ в конце защищаемого участка.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 19]:

- 2,0 – для токовых защит без выдержки времени.

Если требуемый коэффициент чувствительности не обеспечивается, следует уточнить расчетный ток двойного замыкания на землю, принятое значение уставки **«Iозз 2»**, схему включения ТТНП или ФТНП, а также возможность отключения данного вида повреждения трехфазной ТО или трехфазной продольной ДЗТ.

Значение уставки **«Тозз 2»** следует принимать равным [100, п. 5.3.48, 122]:

$$Тозз\ 2 = 0\ [с] \quad (5.60)$$

Если по условиям селективности невозможно принять уставку **«Тозз 2»** равной 0 с, следует принимать минимально возможное значение уставки **«Тозз 2»**, обеспечивающее устойчивость функционирования защиты и селективность ее действия.

5.6 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАЩИТАХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

Согласно ПУЭ [100, п. 5.3.49], защита от перегрузок должна предусматриваться для:

- ЭД, подверженных перегрузке по технологическим причинам;
- ЭД с особыми тяжелыми условиями пуска и самозапуска, длительность прямого пуска которых непосредственно от сети составляет 20 с и более, если перегрузка возможна при чрезмерном увеличении длительности пуска вследствие понижения напряжения в сети.

Защита от перегрузок, вызванных технологическими причинами, действует на сигнал, передаваемый на пост управления ЭД, если дежурный персонал имеет возможность разгрузить ЭД, не останавливая его.

Допускаемое ПУЭ [100, п. 5.3.49] действие защиты от перегрузок на отключение выполняется на СД, если защита от перегрузок совмещена с защитой от асинхронного режима, а также на АД в случаях, когда:

- отключение ЭД не приводит к нарушению технологического процесса;
- разгрузку невозможно осуществить без останова ЭД;

- отсутствует постоянный дежурный персонал;
- имеют место тяжелые условия пуска и самозапуска.

При наличии возможности автоматической разгрузки механизма защиту от перегрузки целесообразно выполнять с действием на сигнализацию и разгрузку. Действие на отключение следует предусматривать с большей выдержкой времени, если после выполнения разгрузки перегрузка не устраняется. Такой подход соответствует ПУЭ [100, п. 5.3.49] и учитывает возможность формирования в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** отдельных очередей разгрузки.

Защита от перегрузки выполняется с зависимой или независимой от тока выдержкой времени. Выдержка времени должна быть отстроена от длительности пуска ЭД в нормальных условиях и самозапуска после действия АВР, АПВ и другой автоматики восстановления питания.

При выборе выдержек времени следует учитывать, что при понижении напряжения время разгона ЭД увеличивается по сравнению с нормальными условиями. Такой режим может иметь место при самозапуске ЭД после действия АВР, АПВ, ВНР, ЗМН и другой автоматики. Если пуск или самозапуск при пониженном напряжении совпадает с неблагоприятными условиями технологического процесса, длительность пуска может увеличиться до недопустимого значения, а в предельном случае ЭД может не выйти на номинальную частоту вращения.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** защита электродвигателей от перегрузочных и связанных с ними тепловых режимов может выполняться несколькими алгоритмами, различающимися контролируемыми величинами, условиями пуска, выдержками времени и действием:

- алгоритмом **«Защита от затянутого пуска и блокировки ротора»** — для выявления недопустимого увеличения длительности пуска, самозапуска и режима заторможенного ротора;
- алгоритмом **«Тепловая модель»** — для оценки теплового состояния электродвигателя с учетом его нагрева и охлаждения;
- алгоритмом **«Ограничение количества пусков»** — для предотвращения недопустимого теплового воздействия повторных пусков;
- алгоритмом **«Защита от перегрузки»** — для выявления токовых перегрузок, сопровождающихся увеличением тока статора.

При применении указанных алгоритмов следует учитывать, что токовая защита от перегрузки не является полной заменой тепловой модели и специализированных защит от затянутого пуска и блокировки ротора. Режимы затянутого пуска, самозапуска и заторможенного ротора сопровождаются быстрым нагревом обмоток и должны контролироваться соответствующими алгоритмами защиты. Расчет уставок указанных алгоритмов следует выполнять в соответствующих подразделах настоящей Методики.

5.7 ЗАЩИТА ОТ ЗАТЯНУТОГО ПУСКА И БЛОКИРОВКИ РОТОРА

5.7.1 Общие сведения

Защита от затянутого пуска (ЗЗП) и защита от блокировки ротора (ЗБР) предназначены для предотвращения повреждения ЭД в режимах, сопровождающихся длительным протеканием пускового тока и интенсивным нагревом обмоток.

В ряде случаев длительность пуска или самозапуска электродвигателя может существенно увеличиваться. При снижении питающего напряжения время разгона возрастает по сравнению с нормальными условиями. Если при этом пуск или самозапуск совпадает с неблагоприятным технологическим отклонением, процесс ускорения затягивается, а в предельном случае электродвигатель может не выйти на рабочую частоту вращения [74, 89].

Следует различать два режима:

- защита от затянутого пуска;
- защита от блокировки ротора.

Защита от затянутого пуска предназначена для выявления недопустимого увеличения длительности пуска или самозапуска ЭД. В режиме затянутого пуска ЭД продолжает разгоняться, однако время разгона превышает допустимое значение вследствие пониженного напряжения, пуска под нагрузкой, неблагоприятного состояния механизма или иных технологических причин. При выборе выдержки времени ЗЗП следует обеспечить отстройку от нормального пуска и допустимого самозапуска ЭД, а также действие защиты до превышения допустимого времени пуска, установленного заводом-изготовителем, расчетом или результатами пусконаладочных измерений.

Защита от блокировки ротора предназначена для выявления режима, при котором ротор ЭД не вращается или практически не разгоняется вследствие заклинивания ротора либо рабочих органов механизма. В этом режиме скольжение остается близким к единице, а по обмоткам ЭД длительно протекает ток, близкий к пусковому. По данным [89], при заторможенном роторе нагрев обмоток может происходить со скоростью до 7–8 °С в секунду, а через 10–12 с температура обмоток достигает допустимого значения. Особенно опасна блокировка ротора, возникающая после выхода ЭД на рабочий режим, так как к моменту возникновения повреждения обмотки уже могут быть нагреты рабочим током. Поэтому режим блокировки ротора следует считать более тяжелым по сравнению с затянутым пуском, а выдержку времени ЗБР следует выбирать меньше выдержки времени ЗЗП.

Следует отметить, что термины «блокировка ротора», «заклинивание ротора» и «заторможенный ротор» являются синонимичными и обозначают одно и то же явление.

В устройстве **«Люти-Плюс»**, **«Алтей»** данная защита реализуется в алгоритме **«Защита от затянутого пуска и блокировки ротора»**, основные параметры которого приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5. Алгоритм «Защита от затянутого пуска и блокировки ротора»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
ЗЗП	-	+	+	+	+
ЗБР	-	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.6.

Таблица 5.6. Уставки алгоритма «Защита от затянутого пуска и блокировки ротора (ЗЗП, ЗБР)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Защита от затянутого пуска и блокировки ротора (ЗЗП, ЗБР)							
Iззп	А	5	1	100	0,01	0,95	ЗЗП - ток срабатывания
Тззп	с	5	0,1	60	0,01	-	ЗЗП - задержка срабатывания
Тзбр	с	0,1	0,1	10	0,01	-	ЗБР - задержка срабатывания

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.7.

Таблица 5.7. Уставки алгоритма «Защита от затянутого пуска и блокировки ротора (ЗЗП, ЗБР)» для «Алтей-01»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Защита от затянутого пуска и блокировки ротора (ЗЗП, ЗБР)							
Iззп	А	5	1	100	0,01	0,95	ЗЗП - ток срабатывания
Тззп	с	5	0,1	60	0,01	-	ЗЗП - задержка срабатывания
Тзбр	с	0,1	0,1	10	0,01	-	ЗБР - задержка срабатывания

Работу алгоритма в устройствах **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.8.

Таблица 5.8. Уставки алгоритма «Защита от затянутого пуска и блокировки ротора (ЗЗП, ЗБР)» для «Лютик-Плюс»

УСТАВКА	ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Защита от затянутого пуска и блокировки ротора (ЗЗП, ЗБР)						

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Iззп	А	5	1	100	0,01	0,95	ЗЗП - ток срабатывания
Тззп	с	5	0	10	0,01	-	ЗЗП - задержка срабатывания
Тзбр	с	0,1	0,1	10	0,01	-	ЗБР - задержка срабатывания

Алгоритм **«Защита от затянутого пуска и блокировки ротора»** использует максимальное из действующих значений фазных токов I_A, I_B, I_C и общую токовую уставку **«Iззп»**.

ЗЗП фиксирует превышение максимальным фазным током уставки **«Iззп»** в начальный период после появления тока через выключатель защищаемого присоединения и срабатывает с выдержкой времени **«Тззп»**.

ЗБР фиксирует превышение максимальным фазным током уставки **«Iззп»** после истечения времени **«Тззп»** от момента появления тока через выключатель при отсутствии ранее произошедшего пуска ЗЗП и срабатывает с выдержкой времени **«Тзбр»**.

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

5.7.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iззп»** следует выбирать по условию надежного срабатывания при пуске, самозапуске и блокировке ротора. Условие срабатывания защиты при затянувшихся пусках и самозапусках принято по [2], условие выбора тока срабатывания при блокировке ротора — по [74]:

$$Iззп \leq \frac{k_{пуск.мин} \cdot I_{ном.дв}}{k_{отс}} \ [А] \qquad (5.61)$$

где

$k_{отс}$ — коэффициент отстройки, принимается равным 1,5

$k_{пуск.мин}$ — минимальный коэффициент кратности пускового тока ЭД

Рассчитанное значение уставки **«Iззп»** следует проверить по условию несрабатывания ЭД в нормальном режиме работы:

$$Iззп \geq \frac{k_{отс.раб}}{k_{в}} \cdot I_{ном.дв} \ [А] \qquad (5.62)$$

где

$k_{отс.раб}$ — коэффициент отстройки от нормального рабочего режима, принимаемый из диапазона 1,3–1,5

$k_{в}$ — коэффициент возврата, принимаемый по таблицам 5.6–5.8 для соответствующего устройства

Окончательное значение уставки **«Iззп»** следует принимать из диапазона, удовлетворяющего обоим условиям. Если указанные условия одновременно не выполняются, возможность применения ЗЗП и ЗБР с заданными параметрами должна быть проверена по пусковым характеристикам ЭД, условиям самозапуска и данным завода-изготовителя.

Значение уставки **«Тззп»** следует выбирать по условию отстройки от наибольшего расчетного времени пуска или самозапуска ЭД:

$$Тззп = k_{отс.Т} \cdot t_{пуск.расч} \ [с] \qquad (5.63)$$

где

$k_{отс.Т}$ — коэффициент отстройки по времени, принимаемый из диапазона 1,2–1,3

$t_{пуск.расч}$ с наибольшее расчетное время пуска или самозапуска ЭД

При выборе уставки **«Тззп»** следует учитывать, что при пуске электродвигателя под нагрузкой время разгона увеличивается [89]. Если пуск или самозапуск электродвигателя происходит при пониженном напряжении, расчетное время пуска следует определять по формуле:

$$t_{пуск.расч} = \left(\frac{U_{ном.дв}}{U_{пуск}}\right)^2 \cdot t_{пуск.пасп} \ [с] \qquad (5.64)$$

где

$U_{пуск}$	В	напряжение на выводах ЭД при пуске или самозапуске
$U_{ном.дв}$	В	номинальное линейное напряжение ЭД
$t_{пуск.пасп}$	с	паспортное время пуска ЭД при номинальном напряжении

При $U_{пуск}$=0,85·$U_{ном.дв}$ расчетное время пуска составляет приблизительно:

$$t_{пуск.расч} \approx 1{,}4 \cdot t_{пуск.пасп} \ [с] \quad (5.65)$$

Если пуск ЭД при пониженном напряжении выполняется под нагрузкой, выбранное значение уставки **«Тззп»** следует дополнительно проверять по данным завода-изготовителя, результатам пусконаладочных измерений или эксплуатационным данным, так как фактическое время разгона может превышать значение, определенное по формуле (5.64) [89].

При наличии результатов замеров фактического времени пуска или самозапуска ЭД при пониженном напряжении значение уставки **«Тззп»** следует выбирать по условию отстройки от указанного времени:

$$Тззп = k_{отс.Т} \cdot t_{пуск.факт} \ [с] \quad (5.66)$$

где

$k_{отс.Т}$	–	коэффициент отстройки по времени, принимаемый из диапазона 1,2–1,3
$t_{пуск.факт}$	с	фактическое время пуска или самозапуска ЭД при пониженном напряжении, полученное по результатам замеров

При наличии нескольких результатов замеров в качестве $t_{пуск.факт}$ следует принимать наибольшее фактическое время пуска или самозапуска ЭД при пониженном напряжении.

Окончательное значение уставки **«Тззп»** следует принимать по результатам расчета по формулам (5.63)–(5.66), с учетом данных завода-изготовителя ЭД, результатов пусконаладочных измерений, условий самозапуска после действия АВР, АПВ, ВНР, ЗМН и другой автоматики, а также требований технологического процесса.

Значение уставки **«Тзбр»** следует выбирать по условию действия ЗБР до достижения допустимого времени блокировки ротора:

$$Тзбр = k_{зап.t} \cdot t_{доп.блок.рот} \ [с] \quad (5.67)$$

где

$k_{зап.t}$	–	коэффициент запаса по времени, принимается равным из диапазона 0,7–0,8
$t_{доп.блок.рот}$	с	допустимое время блокировки ротора, принимаемое по данным завода-изготовителя ЭД или каталожным данным

При отсутствии данных о допустимом времени блокировки ротора значение уставки **«Тзбр»** для СД допускается принимать на ступень селективности больше времени отключения КЗ в сети, сопровождающихся протеканием через защиту тока $I_{кз} \geq I_{ззп}$ [74, 122]:

$$Тзбр = t_{смеж.защ} + \Delta t \ [с] \quad (5.68)$$

где

$t_{смеж.защ}$	с	выдержка времени смежной защиты при КЗ в зоне ее действия, при котором через защиту ЭД протекает ток $I_{кз} \geq I_{ззп}$
Δt	с	ступень селективности, принимаемая по таблице 3.3

Для АД при отсутствии данных завода-изготовителя значение уставки **«Тзбр»** по условию отстройки от переходного процесса при внешних КЗ допускается принимать равным [74]:

$$Тзбр = 0{,}5 \ [с] \quad (5.69)$$

Поскольку при блокировке ротора по обмоткам ЭД протекает ток, близкий к пусковому, а нагрев обмоток происходит более интенсивно, чем при затянутом пуске, значение уставки **«Тзбр»** следует выбирать меньше, чем значение уставки **«Тззп»** [74]. При этом должно выполняться условие:

$$Тзбр < Тззп \quad (5.70)$$

5.8 ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ

5.8.1 Общие сведения

В соответствии с ГОСТ IEC 60034-11-2014 [32] тепловая защита предназначена для защиты обмоток электрической машины от чрезмерной температуры, возникающей при перегрузке или потере охлаждения [32, п.3.1]. При выборе уставок ТМ следует учитывать, что тепловая перегрузка может иметь как медленный характер, связанный с перегрузкой, ухудшением охлаждения, повышением температуры охлаждающей среды, отклонением напряжения, несимметрией напряжения или отклонением частоты, так и быстрый характер, возникающий при блокировке ротора, обрыве фазы, пуске при ненормальных условиях, резком увеличении нагрузки или многократных пусках за короткий период времени [32, п.5, примечание 2; п.6, примечание 1].

Для защиты ЭД от недопустимого нагрева при длительных перегрузках, тяжелых пусках, самозапусках, несимметричных режимах, а также при повторных пусках двигателя, не успевшего достаточно охладиться, в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** применяется алгоритм **«Тепловая модель»** (далее — ТМ). Алгоритм ТМ рассчитывает относительный перегрев двигателя с учетом предшествующих процессов нагрева и охлаждения и формирует действие при достижении расчетным значением относительного перегрева заданных уставок.

Для сопоставления текущего расчетного теплового состояния ЭД с допустимым уровнем нагрева в алгоритме ТМ используется относительный перегрев Е, выражаемый в процентах. При Е=0% расчетный перегрев ЭД относительно охлаждающей среды отсутствует; при Е=50% расчетный перегрев составляет половину принятого допустимого расчетного перегрева; при Е=100% расчетный перегрев достигает принятого допустимого расчетного уровня. При этом уставки **«Етм сигн»** и **«Етм откл»** являются порогами действия ступеней ТМ и должны выбираться по допустимой тепловой характеристике ЭД, данным завода-изготовителя, условиям охлаждения, требованиям технологического процесса и безопасности.

ТМ не предназначена для отключения междуфазных КЗ, однофазных замыканий на землю, асинхронных режимов, глубоких провалов напряжения и блокировки ротора. Указанные повреждения и аварийные режимы должны контролироваться соответствующими алгоритмами: ТО, ДЗТ, ОЗЗ/ТЗНП, ЗЗП/ЗБР, ЗОФ, ЗМН, ЗПП, ЗАР и другими защитами и автоматикой. При выборе уставок ТМ необходимо обеспечить согласование с уставками ЗЗП и ЗБР, защиты от обрыва фазы и несимметрии нагрузки, защиты минимального напряжения, защиты от потери питания, АВР, ВНР, ограничением количества пусков и технологическими блокировками.

Основные параметры алгоритма **«Тепловая модель»** приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9. Алгоритм «Тепловая модель»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Учет тока обратной последовательности	–	+	+	+	+
Учет нагрева при работе двигателя	–	+	+	+	+
Учет охлаждения двигателя	–	+	+	+	+
Контроль тяжелого пуска	–	+	+	+	+
Запрет пуска перегретого двигателя	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.10.

Таблица 5.10. Уставки алгоритма «Тепловая модель (ТМ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Тепловая модель (ТМ)							
Етм пуск	%	40	5	95	1	0,95	Нормальный нагрев при пуске
Iтм пуск	А	6	0,5	10	0,01	-	Уставка тока пускового режима
Етм сигн	%	80	50	200	1	0,95	ТМ 1 – уставка срабатывания
Етм откл	%	120	50	200	1	0,95	ТМ 2 – уставка срабатывания

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Iтм	А	5	0,5	10	0,01	-	Уставка тока тепловой модели
k2 тм	-	4	0,05	10	0,01		Коэффициент учета тока обратной последовательности
Тн	мин	10	5	120	1	-	Постоянная времени нагрева
То	мин	40	5	480	1	-	Постоянная времени охлаждения

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.11.

Таблица 5.11. Уставки алгоритма «Тепловая модель (ТМ)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Тепловая модель (ТМ)							
Етм пуск	%	40	5	95	1	0,95	Нормальный нагрев при пуске
Iтм пуск	А	6	0,5	10	0,01	0,95	Уставка тока пускового режима
Етм сигн	%	80	50	200	1	0,95	ТМ 1 – уставка срабатывания
Етм откл	%	120	50	200	1	0,95	ТМ 2 – уставка срабатывания
Iтм	А	5	0,5	10	0,01	-	Уставка тока тепловой модели
k2 тм	-	4	0,05	10	0,01	-	Коэффициент учета тока обратной последовательности
Тн	мин	10	5	120	1	-	Постоянная времени нагрева
То	мин	40	5	480	1	-	Постоянная времени охлаждения

Уставки **«Тн»** и **«То»** не являются выдержками времени до действия ступеней ТМ. Уставка **«Тн»** задает постоянную времени нагрева, а уставка **«То»** – постоянную времени охлаждения ЭД. Действие ступеней ТМ формируется не по фиксированной выдержке времени, а при достижении расчетным значением относительного перегрева Е уставок **«Етм сигн»** и **«Етм откл»**.

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

5.8.2 Расчет уставок

Эквивалентный ток ТМ, учитывающий нагрев ЭД от фазных токов и тока обратной последовательности, следует определять по формуле:

$$I_э = \sqrt{I^2_{скз.макс} + k2\ тм \cdot I_2^2}\ [А] \quad (5.71)$$

где

$I_э$ А эквивалентный ток ТМ

$I_{скз.макс}$ А максимальное из действующих значений фазных токов

$k2\ тм$ – коэффициент учета тока обратной последовательности, определяемый уставкой **«k2 тм»**

I_2 А действующее значение тока обратной последовательности

Уставку **«Етм пуск»**, указанную в таблицах 5.10 и 5.11 как «нормальный нагрев при пуске», при расчете уставок ТМ следует трактовать как расчетный прирост относительного перегрева ЭД за один допустимый пуск. Данная уставка не является уровнем текущего относительного перегрева, до которого должен охладиться ЭД перед повторным пуском. Допустимый относительный перегрев перед повторным пуском определяется условием сохранения теплового запаса на очередной пуск:

$$Е_{пуск\ доп} = 100 - Етм\ пуск\ [\%] \quad (5.72)$$

Значение уставки **«Етм пуск»** следует выбирать по условию отстройки от расчетного прироста относительного перегрева ЭД за нормальный пуск, а также за допустимый самозапуск после действия АВР, АПВ или другой автоматики, если такой режим допускается условиями работы ЭД [100, п.5.3.49].

Значение уставки **«Етм пуск»** следует определять по формуле:

$$\text{Етм пуск} = k_{\text{отс.ТМ.пуск}} \cdot \text{макс}\left[100 \cdot \left(\frac{I_{\text{э.пуск.j}}}{\text{Iтм}}\right)^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{пуск.j}}}{\text{Тн}}}\right)\right] \text{ [\%]} \quad (5.73)$$

где

$k_{\text{отс.ТМ.пуск}}$ – коэффициент отстройки от расчетного нагрева при нормальном пуске, принимаемый равным 1,1–1,2

j – расчетный пусковой режим: нормальный пуск, допустимый самозапуск после действия АВР, АПВ или другой автоматики

$I_{\text{э.пуск.j}}$ А эквивалентный ток ТМ в j-м пусковом режиме

Iтм А значение уставки тока тепловой модели **«Iтм»**

$t_{\text{пуск.j}}$ мин длительность j-го пускового режима

Тн мин постоянная времени нагрева ЭД

Эквивалентный ток $I_{\text{э.пуск.j}}$ следует определять для токов соответствующего j-го пускового режима:

$$I_{\text{э.пуск.j}} = \sqrt{I^2_{\text{скз.макс.пуск.j}} + k2\ \text{тм} \cdot I^2_{\text{2.пуск.j}}} \text{ [А]} \quad (5.74)$$

где

$I_{\text{скз.макс.пуск.j}}$ А максимальное из действующих значений фазных токов в j-м пусковом режиме

$I_{\text{2.пуск.j}}$ А действующее значение тока обратной последовательности в j-м пусковом режиме

Для симметричного пускового режима допускается принимать:

$$I_{\text{2.пуск.j}} = 0,\ I_{\text{э.пуск.j}} = I_{\text{скз.макс.пуск.j}} = I_{\text{пуск.j}} \quad (5.75)$$

Значение уставки **«Iтм пуск»** следует выбирать по условию надежной фиксации пускового режима электродвигателя и отстройки от рабочего режима двигателя по формуле:

$$\text{Iтм пуск} = (1,1 - 1,2) \cdot \text{Iтм [А]} \quad (5.76)$$

где

Iтм А значение уставки тока тепловой модели **«Iтм»**

При выборе уставки **«Iтм пуск»** должно выполняться условие:

$$\text{Iмин} < \text{Iтм пуск} < I_{\text{пуск.мин}} \quad (5.77)$$

где

Iмин А уставка контроля наличия тока **«Iмин»**, определяемое по формуле (2.28) для двигательных присоединений

$I_{\text{пуск.мин}}$ А минимальное значение фазного тока в расчетных режимах пуска или допустимого самозапуска, которые должны фиксироваться алгоритмом ТМ

Окончательное значение уставки **«Iтм пуск»** следует принимать равным ближайшему большему значению, задаваемому в устройстве, при условии выполнения (5.77).

Если значение уставки **«Iтм пуск»** по (5.76) не обеспечивает фиксацию пуска при пуске с УПП, ПЧ, реакторном пуске или самозапуске при пониженном напряжении, значение уставки **«Iтм пуск»** следует уменьшить до значения, обеспечивающего надежную фиксацию пускового режима, но не ниже уставки **«Iмин»**.

Значение уставки **«Етм сигн»** следует выбирать по условию формирования предупредительной сигнализации до достижения электродвигателем предельно допустимого расчетного теплового состояния.

Уставку **«Етм сигн»** рекомендуется принимать меньше уставки **«Етм откл»** с запасом, достаточным для принятия оперативным или технологическим персоналом мер по снижению нагрузки, устранению нарушения охлаждения или подготовке к останову ЭД.

При отсутствии специальных требований значение уставки **«Етм сигн»** допускается принимать из диапазона:

$$\text{Етм сигн} = (0,7 - 0,9) \cdot \text{Етм откл} \quad (5.78)$$

где

Етм откл % значение уставки **«Етм откл»**

Значение уставки **«Етм откл»** следует выбирать по условию недопущения превышения допустимого расчетного перегрева электродвигателя. Уставка **«Етм откл»** должна приниматься по данным завода-изготовителя электродвигателя, допустимой тепловой характеристике ЭД, классу нагревостойкости изоляции, условиям охлаждения, месту установки, требованиям технологического процесса и безопасности.

При отсутствии данных завода-изготовителя электродвигателя значение уставки **«Етм откл»** рекомендуется принимать равным:

$$\text{Етм откл} = 100\ [\%] \tag{5.79}$$

Задание уставки **«Етм откл»** более 100 % допускается только при наличии данных завода-изготовителя электродвигателя или расчетного обоснования, подтверждающего допустимость соответствующего теплового состояния электродвигателя для рассматриваемых условий эксплуатации.

Действие ступени ТМ 1 при достижении уставки **«Етм сигн»** следует предусматривать на предупредительную сигнализацию. Действие ступени ТМ 2 при достижении уставки **«Етм откл»** следует предусматривать на отключение выключателя и аварийную сигнализацию. При необходимости, обусловленной требованиями технологического процесса или безопасности, действие ступени ТМ 2 может быть принято на сигнализацию без отключения, если такое решение допускается проектными решениями и эксплуатационными требованиями.

Значение уставки **«Iтм»** следует выбирать по условию соответствия расчетного относительного перегрева Е допустимому тепловому состоянию ЭД. Уставка **«Iтм»** является токовой базой тепловой модели: при постоянном эквивалентном токе, равном **«Iтм»**, расчетное значение относительного перегрева стремится к 100 %.

При наличии данных о номинальном и допустимом перегреве электродвигателя расчетное значение уставки **«Iтм»** следует определять по формуле:

$$\text{Iтм} = \text{I}_{\text{ном.дв}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta\theta_{\text{предел.мест.уст}}}{\Delta\theta_{\text{ном}}}}\ [\text{A}] \tag{5.80}$$

где

$\text{I}_{\text{ном.дв}}$	A	номинальный ток ЭД
$\Delta\theta_{\text{предел.мест.уст}}$	°C	допустимый перегрев электродвигателя относительно охлаждающей среды, принятый с учетом класса нагревостойкости изоляции, условий охлаждения и места установки
$\Delta\theta_{\text{ном}}$	°C	перегрев электродвигателя относительно охлаждающей среды при длительной работе с номинальной нагрузкой; определяется методами измерения, указанными в ГОСТ IEC 60034-1 [31]

Значение $\Delta\theta_{\text{предел.мест.уст}}$ следует принимать по данным завода-изготовителя электродвигателя, результатам тепловых испытаний или допустимым температурным пределам, установленным для соответствующего класса нагревостойкости изоляции и условий эксплуатации. При этом следует учитывать, что тепловая защита предназначена для защиты обмоток машины от чрезмерной температуры, возникающей при перегрузке или потере охлаждения [32, п.3.1].

При отсутствии данных о значениях $\Delta\theta_{\text{предел.мест.уст}}$ и $\Delta\theta_{\text{ном}}$ значение уставки **«Iтм»** допускается предварительно принимать равным номинальному току ЭД:

$$\text{Iтм} = \text{I}_{\text{ном.дв}}\ [\text{A}] \tag{5.81}$$

В этом случае выбранное значение уставки **«Iтм»** должно быть уточнено при наличии данных завода-изготовителя электродвигателя, результатов тепловых испытаний, данных ПНР или эксплуатационных данных.

Для исключения необоснованного действия ступеней ТМ при длительной работе ЭД с номинальной нагрузкой следует проверить расчетное значение относительного перегрева при номинальном режиме:

$$\text{E}_{\text{ном}} = 100 \cdot \left(\frac{\text{I}_{\text{э.ном}}}{\text{Iтм}}\right)^2\ [\%] \tag{5.82}$$

где

$\text{E}_{\text{ном}}$	%	расчетное значение относительного перегрева при длительной работе ЭД в номинальном режиме работы
$\text{I}_{\text{э.ном}}$	A	эквивалентный ток ТМ при длительной работе ЭД с номинальной нагрузкой; определяется по формуле (5.71)
Iтм	A	принятое значение уставки **«Iтм»**

При введенной ступени ТМ 1 должно выполняться условие:

$$\text{E}_{\text{ном}} < \text{Етм сигн} \tag{5.83}$$

При введенной ступени ТМ 2 должно выполняться условие:

$$E_{ном} < Етм\ откл \quad (5.84)$$

где

$Етм\ сигн$ % принятое значение уставки **«Етм сигн»**

$Етм\ откл$ % принятое значение уставки **«Етм откл»**

Для симметричного номинального режима при отсутствии тока обратной последовательности допускается принимать:

$$I_{э.ном} = I_{ном.дв} \quad (5.85)$$

Коэффициент учета тока обратной последовательности **«k2 тм»** учитывает дополнительный нагрев ЭД при несимметрии токов. Появление тока обратной последовательности вызывает в роторе токи повышенной частоты относительно вращающегося ротора, что приводит к увеличению потерь и дополнительному нагреву ротора. В алгоритме ТМ указанный эффект учитывается при расчете эквивалентного тока $I_э$ по формуле (5.71).

Значение уставки **«k2 тм»** следует принимать по данным завода-изготовителя ЭД или по результатам расчетного обоснования, учитывающего параметры ЭД и допустимые режимы его работы при несимметрии токов.

При отсутствии данных завода-изготовителя для ЭД отечественного производства значение уставки **«k2 тм»** допускается предварительно принимать равным [77]:

$$k2\ тм = 4 \quad (5.86)$$

Для ЭД зарубежного производства при отсутствии данных завода-изготовителя значение уставки **«k2 тм»** допускается предварительно определять по кратности тока заторможенного ротора [195]:

$$k2\ тм = \frac{230}{k_{з.р}^2} \quad (5.87)$$

где

$k_{з.р}$ о.е. кратность тока заторможенного ротора ЭД относительно номинального тока

Формула (5.87) соответствует консервативной оценке коэффициента дополнительного нагрева от тока обратной последовательности. При необходимости менее консервативной оценки допускается использовать выражение [195]:

$$k2\ тм = \frac{175}{k_{з.р}^2} \quad (5.88)$$

При отсутствии данных о кратности тока заторможенного ротора для ЭД зарубежного производства значение уставки **«k2 тм»** допускается предварительно принимать равным [77]:

$$k2\ тм = 6 \quad (5.89)$$

При выборе уставки **«k2 тм»** следует учитывать, что ее увеличение повышает чувствительность ТМ к несимметричным режимам, но может привести к более быстрому накоплению расчетного перегрева при допустимых несимметриях нагрузки. Принятое значение уставки **«k2 тм»** должно быть согласовано с уставками защиты от обрыва фазы и несимметрии нагрузки, токовой защиты обратной последовательности, защиты от затянутого пуска и блокировки ротора, а также с допустимыми режимами работы ЭД.

Значения уставок **«Тн»** и **«То»** следует выбирать по данным завода-изготовителя электродвигателя, результатам тепловых испытаний или данным ПНР. Уставка **«Тн»** определяет постоянную времени нагрева ЭД при наличии тока, а уставка **«То»** – постоянную времени охлаждения ЭД при его останове.

В алгоритме ТМ устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** при работе ЭД расчет относительного перегрева выполняется с использованием уставки **«Тн»** и текущего значения эквивалентного тока $I_э$, а при остановленном ЭД – с использованием уставки **«То»** и нулевого значения эквивалентного тока $I_э$.

Наиболее корректным является определение постоянной времени нагрева двигателя по результатам измерения температуры обмоток с учетом требований ГОСТ IEC 60034-1 к нормативной охлаждающей среде, методам определения температуры и определению эквивалентной тепловой постоянной времени [31, пп. 8.2, 8.5, 8.6, 8.8]. В частности, данным стандартом предусмотрено определение эквивалентной тепловой постоянной времени по кривой охлаждения. Если такие испытания отсутствуют, допускается использовать приближенные методы, приведенные ниже.

1. По данным завода-изготовителя или тепловым испытаниям ЭД

При наличии данных завода-изготовителя ЭД, результатов тепловых испытаний или эксплуатационных данных значение уставки **«Тн»** следует принимать равным постоянной времени нагрева ЭД, определенной для рассматриваемых условий эксплуатации:

$$Тн = T_{ном.дв}\ [мин] \tag{5.90}$$

где

$T_{ном.дв}$ мин — постоянная времени нагрева электродвигателя по данным завода-изготовителя, испытаний или ПНР

Данный способ является предпочтительным.

2. По допустимой тепловой характеристике ЭД

Если заводом-изготовителем задана допустимая тепловая характеристика ЭД в виде допустимого времени работы $t_{доп}$ при известном эквивалентном токе $I_{э.доп}$, расчетное значение постоянной времени нагрева допускается определять из уравнения тепловой модели:

$$Тн = \frac{t_{доп}}{\ln\left(\frac{100 \cdot \left(\frac{I_{э.доп}}{Iтм}\right)^2 - E_0}{100 \cdot \left(\frac{I_{э.доп}}{Iтм}\right)^2 - E_{доп}}\right)}\ [мин] \tag{5.91}$$

где

$t_{доп}$ мин — допустимое время работы ЭД при токе $I_{э.доп}$

E_0 % — начальное значение относительного перегрева перед началом рассматриваемого режима. Для холодного состояния допускается принимать E_0=0; для горячего состояния при длительной работе с номинальной нагрузкой E_0=$E_{ном}$

$E_{доп}$ % — допустимое значение относительного перегрева для рассматриваемого режима

$I_{э.доп}$ А — эквивалентный ток ТМ в рассматриваемом режиме

Iтм А — принятое значение уставки **«Iтм»**

При использовании данного способа должно выполняться условие:

$$100 \cdot \left(\frac{I_{э.доп}}{Iтм}\right)^2 > E_{доп} > E_0$$

Если указанное условие не выполняется, расчет по формуле неприменим для выбранной точки тепловой характеристики.

3. По фактическому времени пуска ЭД

При отсутствии данных завода-изготовителя значение уставки **«Тн»** допускается предварительно определять по фактическому времени пуска ЭД при максимально возможной загрузке механизма. В этом случае расчетное значение уставки **«Тн»** следует определять по выражению:

$$Тн \approx t_{пуск.макс.сек}\ [мин] \tag{5.92}$$

где

$t_{пуск.макс.сек}$ с — максимальная длительность пуска ЭД при максимально возможной загрузке механизма, выраженная в секундах

Если опыт пуска выполнен при неполной загрузке механизма, расчетное значение уставки **«Тн»** допускается предварительно определять по формуле [77]:

$$Тн \approx \frac{t_{пуск.опыт.сек}}{k_з}\ [мин] \tag{5.93}$$

где

$t_{пуск.опыт.сек}$ с — длительность пуска ЭД при опытном пуске, выраженная в секундах

$k_з$ о.е. — коэффициент загрузки электродвигателя на момент проведения опытного пуска

Данный способ является приближенным и должен использоваться только при отсутствии данных завода-изготовителя или тепловых испытаний. Выбранное значение уставки **«Тн»** должно быть уточнено по результатам ПНР и дальнейшей эксплуатации.

4. По коэффициенту пуска и времени пуска ЭД

При отсутствии данных завода-изготовителя ЭД, тепловых испытаний или допустимой тепловой характеристики значение уставки **«Тн»** допускается предварительно определять по коэффициенту пуска и времени пуска ЭД. Данный способ является ориентировочным и должен использоваться с последующим уточнением по результатам ПНР и дальнейшей эксплуатации.

Значение уставки **«Тн»** в данном случае следует определять по формуле:

$$Тн = \frac{k_{отс} \cdot n_{пуск} \cdot t_{пуск.дв}}{60} \cdot \left(\frac{k_{пуск}^2}{k^2} - 1 \right) \text{ [мин]} \quad (5.94)$$

где

$k_{отс}$	–	коэффициент отстройки, принимаемый из диапазона 1,3–1,5 [1]
$t_{пуск.дв}$	с	длительность пуска ЭД
$k_{пуск}$	о.е.	кратность пускового тока ЭД относительно номинального тока
k	–	коэффициент тока пуска защиты, принимается равным 1,1 из условия, что максимальный длительный ток нагрузки не превышает номинального
$n_{пуск}$	–	коэффициент, учитывающий допустимое число последовательных пусков ЭД: 1 – если допускается один пуск; 2 – если допускается два пуска подряд.

5. по допустимой кратности перегрузки и допустимому времени

При отсутствии данных завода-изготовителя ЭД, тепловых испытаний или допустимой тепловой характеристики значение уставки **«Тн»** для ЭД старого исполнения допускается предварительно определять по допустимой кратности токовой перегрузки и допустимому времени ее протекания.

Данный способ допускается применять только при наличии данных о допустимой кратковременной токовой перегрузке ЭД. Для серийных двигателей общего назначения отечественного производства, изготовленных в период действия ГОСТ Р 52776-2007 или ГОСТ 183-74, в качестве такой перегрузки допускается принимать ток, равный $1{,}5I_{ном.дв}$, в течение 120 с, если это не противоречит паспортным данным ЭД и условиям его эксплуатации [29, 45]. В действующем ГОСТ IEC 60034-1 для многофазных машин мощностью выше 315 кВт кратковременные перегрузки по току не нормируются, поэтому для таких ЭД указанный способ допускается применять только при наличии дополнительных данных завода-изготовителя или результатов эксплуатации [31, п.9.3.3].

Вспомогательный параметр, характеризующий допустимую токовую перегрузку ЭД, следует определять по формуле [74]:

$$A = t_{доп} \cdot \left(k_{пер.доп}^2 - 1 \right) \text{ [с]} \quad (5.95)$$

где

A	с	вспомогательный параметр, определяемый по допустимой кратковременной токовой перегрузке ЭД
$t_{доп}$	с	допустимое время работы при кратности тока $k_{пер.доп}$
$k_{пер.доп}$	о.е.	допустимая кратность тока перегрузки ЭД относительно номинального тока

Значение уставки **«Тн»** следует определять по формуле [139]:

$$Тн = \frac{A}{60 \cdot \ln\left(\frac{k_{пер.доп}^2 - 1}{k_{пер.доп}^2 - k_{\theta доп}} \right)} \text{ [мин]} \quad (5.96)$$

где

$k_{\theta доп}$	о.е.	предельная кратность перегрева относительно перегрева ЭД при номинальном токе

Значение $k_{\theta\ доп}$ допускается определять по классу нагревостойкости изоляции и предельно допустимому перегреву ЭД. При отсутствии уточненных данных допускается использовать значения, приведенные в таблице 5.12 [39, 74].

Таблица 5.12. Рекомендуемые значения предельной кратности перегрева электродвигателя

КЛАСС ИЗОЛЯЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЙ ПЕРЕГРЕВ, °С	$К_{\theta доп}$
E, используемая по классу A	80	1,231
B, используемая по классу E	90	1,125
F, используемая по классу B	115	1,278
H, используемая по классу F	140	1,217

Формула (5.96) применима при выполнении условия:

$$1<k_{\theta доп}<k^2_{пер.доп} \quad (5.97)$$

При наличии результатов измерения температуры обмотки и температуры охлаждающей среды в процессе охлаждения ЭД расчетное значение уставки **«To»** следует определять по экспоненциальному закону охлаждения тепловой модели [175] с учетом требований ГОСТ IEC 60034-1 к условиям проведения тепловых испытаний, методам определения температуры и порядку определения эквивалентной тепловой постоянной времени [31, пп. 8.2, 8.5, 8.6, 8.8].

Значение уставки **«To»** следует выбирать по данным завода-изготовителя ЭД, результатам тепловых испытаний, данным ПНР или результатам эксплуатации. В соответствии с тепловой моделью инерционного элемента процесс охлаждения ЭД после отключения описывается экспоненциальным законом изменения перегрева относительно охлаждающей среды [175]. Уставка **«To»** определяет постоянную времени охлаждения остановленного ЭД и используется алгоритмом **«ТМ»** при отсутствии тока в ЭД. В этом режиме расчет относительного перегрева выполняется при нулевом значении эквивалентного тока $I_э$ [147–151].

При наличии результатов измерения температуры обмотки и температуры охлаждающей среды в процессе охлаждения ЭД расчетное значение уставки **«To»** следует определять по формуле:

$$To=\frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}\right)}\ [мин] \quad (5.98)$$

где

Δt	мин	интервал времени между двумя измерениями температуры после отключения ЭД
$\Delta\theta_1$	°C	перегрев ЭД относительно охлаждающей среды в начале рассматриваемого интервала охлаждения
$\Delta\theta_2$	°C	перегрев ЭД относительно охлаждающей среды в конце рассматриваемого интервала охлаждения

Перегрев ЭД относительно охлаждающей среды следует определять по формуле:

$$\Delta\theta_i=\theta_{обм.i}-\theta_{сред.i}\ [°C] \quad (5.99)$$

где

$\theta_{обм.i}$	°C	температура обмотки ЭД в i-й момент времени
$\theta_{сред.i}$	°C	температура охлаждающей среды в i-й момент времени

При определении $\Delta\theta_i$ следует учитывать нормативную охлаждающую среду, методы измерения температуры и, при наличии соответствующих данных, порядок определения эквивалентной тепловой постоянной времени по ГОСТ IEC 60034-1 [31, пп. 8.2, 8.5, 8.6, 8.8]. Условия испытаний и расположение датчиков температуры должны соответствовать принятому способу контроля температуры ЭД.

Если в качестве исходных данных используются значения относительного перегрева E, зафиксированные устройством или определенные расчетом, значение уставки **«To»** допускается определять по формуле:

$$To=\frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{E_1}{E_2}\right)}\ [мин] \quad (5.100)$$

где

E_1	%	относительный перегрев ЭД в начале рассматриваемого интервала охлаждения
E_2	%	относительный перегрев ЭД в конце рассматриваемого интервала охлаждения

Формулы (5.98) и (5.100) применимы при выполнении условий:

$$\Delta\theta_1>\Delta\theta_2>0 \quad (5.101)$$

$$E_1>E_2>0 \quad (5.102)$$

При наличии заданного заводом-изготовителем или технологическими требованиями минимального времени охлаждения перед повторным пуском расчетное значение уставки **«To»** допускается определять по условию обеспечения запрета пуска перегретого ЭД:

$$To=\frac{t_{охл.треб}}{\ln\left(\frac{E_0}{E_{пуск.доп}}\right)}\ [мин] \quad (5.103)$$

где

$t_{охл.треб}$	мин	требуемое время охлаждения ЭД до разрешения повторного пуска

E_0 % относительный перегрев ЭД в начале охлаждения

$E_{пуск.доп}$ % допустимый относительный перегрев, при котором разрешается повторный пуск ЭД

Формула (5.103) применима при выполнении условия:

$$E_0 > E_{пуск.доп} > 0 \quad (5.104)$$

Если $E_0 \le E_{пуск.доп}$, запрет повторного пуска в алгоритме **«ТМ»** не формируется, и расчет времени охлаждения по (5.103) не требуется.

Для алгоритма **«ТМ»** устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** допустимый относительный перегрев, при котором разрешается повторный пуск ЭД, следует определять по (5.72).

Если специальные данные по охлаждению электродвигателя отсутствуют, значение уставки **«То»** допускается предварительно принимать по выражению [77]:

$$To = k_{охл} \cdot Tн \ [мин] \quad (5.105)$$

где

$k_{охл}$ – коэффициент, учитывающий условия охлаждения остановленного ЭД, принимаемый из диапазона 2–4

Меньшие значения $k_{охл}$ следует принимать для ЭД с более благоприятными условиями охлаждения после отключения. Большие значения $k_{охл}$ следует принимать для ЭД с ухудшенными условиями охлаждения, закрытого или взрывозащищенного исполнения, установленных в помещениях с повышенной температурой охлаждающей среды, а также при отсутствии эффективной вентиляции после отключения ЭД.

5.8.3 Характеристика тепловой модели

Принцип формирования сигналов тяжелого пуска, действия ступеней **«ТМ»** и разрешения повторного пуска ЭД по расчетному относительному перегреву E приведен на рисунке 5.5.

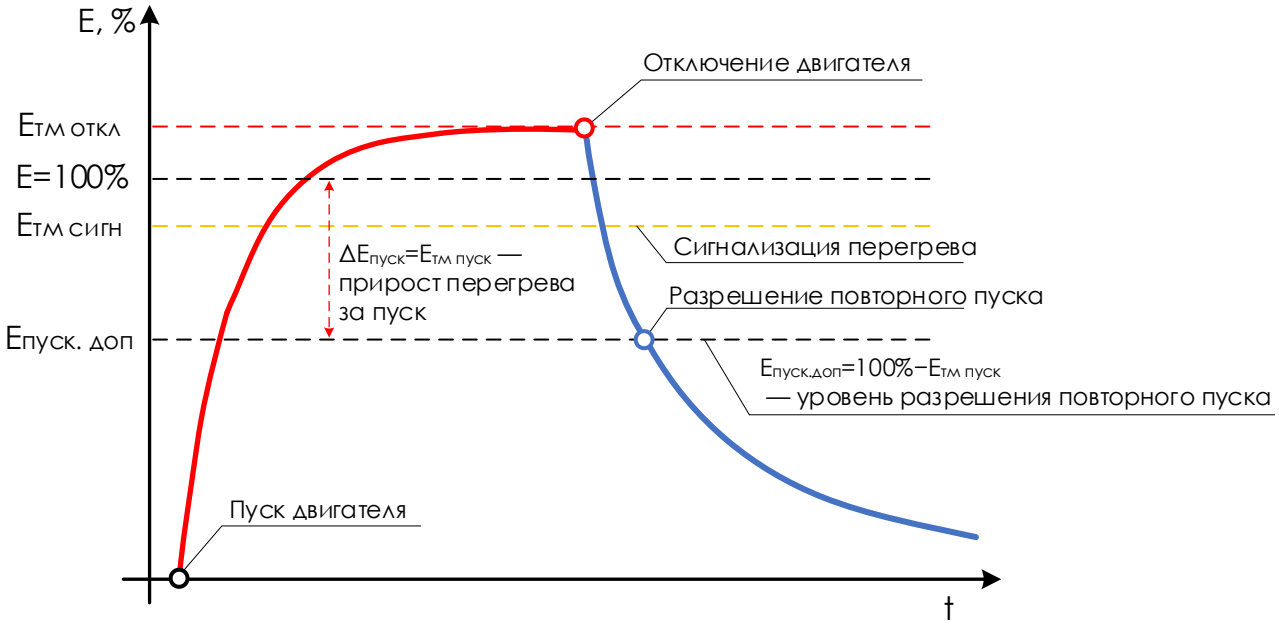


Рисунок 5.5. Принцип действия тепловой модели по расчетному относительному перегреву

5.9 ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ОТ СИММЕТРИЧНЫХ ПЕРЕГРУЗОК

5.9.1 Общие сведения

Токовая защита от симметричных перегрузок предназначена для выявления режимов длительного протекания повышенного фазного тока ЭД, вызванного технологической перегрузкой механизма[1], тяжелыми условиями пуска или самозапуска, а также увеличением длительности пускового периода при понижении напряжения в сети[2].

В соответствии с ПУЭ защита от перегрузки должна предусматриваться на ЭД, подверженных перегрузке по технологическим причинам, и на ЭД с особо тяжелыми условиями пуска и самозапуска, для которых длительность прямого пуска непосредственно от сети составляет 20 с и более, а также перегрузка которых возможна при чрезмерном увеличении длительности пускового периода вследствие понижения напряжения в сети [100, п. 5.3.49]. Защиту от перегрузки следует предусматривать с зависимой или независимой от тока выдержкой времени, отстроенной от длительности пуска ЭД в нормальных условиях и самозапуска после действия АВР и АПВ [100, п. 5.3.49].

Токовая защита от симметричных перегрузок не заменяет алгоритм **«Тепловая модель (ТМ)»**, приведенный в 5.8. Защита от симметричных перегрузок имеет более простой расчет и применяется по факту превышения токовой уставки, но не учитывает предшествующий нагрев и охлаждение ЭД, температуру окружающей среды и тепловые параметры конкретной электрической машины.

Токовая защита от симметричных перегрузок должна рассматриваться совместно с другими защитами электродвигателя. Затянутый пуск и блокировка ротора рассматриваются в 5.7, тепловая модель — в 5.8, защита от обрыва фазы и несимметрии нагрузки — в 3.14, защита от замыканий на землю обмотки статора — в 5.5, защита минимального напряжения — в 4.1. При этом ЗП не должна использоваться как единственная защита от несимметричных режимов, обрыва фазы, однофазных замыканий на землю и внешних КЗ.

Наборы уставок алгоритма **«Защита от перегрузки (ЗП)»** приведены в 3.8:

- для **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** — в таблице 3.13;
- для **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** — в таблице 3.14;
- для **«Лютик»** — в таблице 3.15.

На ЭД, подверженных перегрузке по технологическим причинам, действие ЗП, как правило, следует предусматривать на сигнализацию и, при наличии технической возможности, на автоматическую разгрузку механизма. Действие на отключение следует применять для ЭД с тяжелыми условиями пуска или самозапуска, а также в случаях, когда отсутствует возможность своевременной разгрузки без останова ЭД либо отсутствует постоянный дежурный персонал [74, 122].

5.9.2 Расчет уставок

5.9.2.1 Общий порядок расчета уставок ЗП

Расчет уставок токовой защиты от симметричных перегрузок следует выполнять с учетом состава алгоритма **«ЗП»**, реализованного в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**.

Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик»** расчет выполняется для первой (единственной) ступени ЗП, расчетной токовой уставкой которой является уставка **«Iзп»**.

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** расчет выполняется для первой ступени ЗП с уставкой **«Iзп 1»**. Вторая ступень ЗП с уставками **«Iзп 2»**, **«Tзп 2»** и **«Tзп 2 откл»** применяется только при наличии соответствующего обоснования. При отсутствии такого обоснования уставки второй ступени не рассчитываются. При вводе второй ступени ее уставки следует выбирать по положениям, приведенным в 5.9.2.2–5.9.2.4 для первой ступени ЗП.

---

[1] Технологическая перегрузка механизма может иметь резкопеременный характер; к таким механизмам относятся, в частности, измельчители кормов, дробилки и пневмотранспортеры для загрузки силосной массы [89]

[2] При снижении напряжения вращающий момент АД уменьшается, что может привести к увеличению длительности пуска или остановке двигателя. Поэтому при выборе выдержки времени ЗП следует учитывать фактические условия питания ЭД и возможные провалы напряжения [27]

Выдержки времени ЗП следует выбирать с учетом отстройки от нормального пуска электродвигателя, допустимого самозапуска после действия АВР, АПВ, ВНР, ЗМН и другой автоматики, а также от кратковременных повышений тока при внешних КЗ и провалах напряжения.

При выборе уставок времени необходимо учитывать логику работы алгоритма **«ЗП»**. Уставки **«Тзп откл»**, **«Тзп 1 откл»** и **«Тзп 2 откл»** являются дополнительными выдержками действия соответствующей ступени ЗП на отключение после срабатывания ступени на сигнализацию. Указанные уставки не являются полной выдержкой времени от момента превышения токовой уставки до отключения выключателя.

Полное расчетное время действия ЗП на отключение следует определять по формуле:

$$t_{зп.откл} = Тзп + Тзп\ откл\ [с] \quad (5.106)$$

для первой ступени устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** – по формуле:

$$t_{зп1.откл} = Тзп\ 1 + Тзп\ 1\ откл\ [с] \quad (5.107)$$

для второй ступени устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** – по формуле:

$$t_{зп2.откл} = Тзп\ 2 + Тзп\ 2\ откл\ [с] \quad (5.108)$$

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

5.9.2.2 Расчет токовой уставки первой/единственной ступени ЗП

Значение токовой уставки первой (единственной) ступени ЗП следует выбирать по условию отстройки от максимально возможного длительного рабочего тока ЭД.

Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик»** указанное условие применяется к уставке **«Iзп»**. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** указанное условие применяется к уставке **«Iзп 1»**.

Значение уставки **«Iзп»** (**«Iзп 1»**) следует определять по формуле [2, 122, 125]:

$$Iзп(1) \geq \frac{k_{отс.ЗП}}{k_{в.ЗП}} \cdot I_{расч.ЗП}\ [А] \quad (5.109)$$

где

$k_{отс.ЗП}$	–	коэффициент отстройки
$I_{расч.ЗП}$	А	расчетный ток, от которого выполняется отстройка ЗП
$k_{в.ЗП}$	–	коэффициент возврата токового органа ЗП, принимаемый по таблицам 3.13–3.15 для соответствующего устройства

В качестве $I_{расч.ЗП}$ следует принимать:

$$I_{расч.ЗП} = I_{длит.дв}\ [А] \quad (5.110)$$

если по данным завода-изготовителя задан длительно допустимый ток ЭД $I_{длит.дв}$.

При отсутствии данных завода-изготовителя ЭД о длительно допустимом токе или допустимой длительной перегрузке значение $I_{расч.ЗП}$ следует принимать равным номинальному току ЭД:

$$I_{расч.ЗП} = I_{ном.дв}\ [А] \quad (5.111)$$

Применение в общем случае расчетного допущения $I_{расч.ЗП}=1{,}1I_{ном}$ не рекомендуется, так как в ГОСТ IEC 60034-1-2014 не установлена пропорциональная зависимость тока ЭД от повышения напряжения до $1{,}1U_{ном}$. В соответствии с ГОСТ IEC 60034-1-2014 при отклонениях напряжения и частоты рабочие характеристики ЭД могут отличаться от характеристик при номинальных значениях, а превышения температуры могут быть выше номинальных значений; при этом основной функцией двигателя переменного тока является обеспечение номинального момента, а не поддержание пропорционального напряжению значения тока [31, п. 7.3, табл. 3].

Значение коэффициента $k_{отс.ЗП}$ рекомендуется принимать равным 1,05–1,2. Меньшие значения из указанного диапазона следует принимать при действии ЗП на сигнализацию или автоматическую разгрузку механизма[1], большие значения — при действии ЗП на отключение ЭД.

Для устройства **«Лютик»**, в котором специализированные алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** не реализованы, уставку **«Iзп»** допускается дополнительно проверять по условию обеспечения пуска ЗП при затянутом пуске или самозапуске ЭД. Указанную проверку также допускается выполнять для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в случаях, когда алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** не могут быть корректно применены, в частности, из-за отсутствия необходимых исходных данных о пусковом режиме, допустимом времени пуска или режиме блокировки ротора.

Проверку пуска ЗП при затянутом пуске или самозапуске следует выполнять по формуле [2]:

$$Iзп(1) \le k_{пуск.ЗП} \cdot I_{пуск.мин} \ [А] \qquad (5.112)$$

где

$k_{пуск.ЗП}$ – коэффициент, учитывающий минимально необходимое превышение тока пуска или самозапуска над токовой уставкой ЗП; при отсутствии уточненных данных допускается принимать равным 0,75

$I_{пуск.мин}$ А минимальный ток ЭД в режиме пуска или самозапуска

Выполнение указанного условия не означает, что ЗП должна действовать на отключение при нормальном пуске или допустимом самозапуске. Несрабатывание ЗП на отключение при нормальном пуске и допустимом самозапуске должно обеспечиваться выбором выдержек времени **«Тзп»** и **«Тзп откл»** с учетом 5.9.2.3 и 5.9.2.4.

Для устройств, в которых введены алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»**, указанную проверку допускается не выполнять. В этом случае выявление затянутого пуска и блокировки ротора следует выполнять алгоритмами по 5.7, а ЗП следует применять для выявления токовых перегрузок ЭД в рабочем режиме. Полное время действия ЗП на отключение при этом следует принимать больше времени действия специализированных алгоритмов **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** на отключение.

Выбранное значение уставки **«Iзп»** (**«Iзп 1»**) не должно приводить к пуску ЗП в нормальном установившемся режиме работы ЭД. Для устройств, в которых введены алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»**, выявление затянутого пуска и блокировки ротора следует выполнять указанными алгоритмами по 5.7. Для устройства **«Лютик»**, а также для случаев, когда алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** не вводятся в работу, допускается использовать ЗП для выявления затянутого пуска или самозапуска с учетом проверок, приведенных выше.

5.9.2.3 Выбор выдержки времени первой/единственной ступени на сигнализацию

Значение выдержки времени первой (единственной) ступени ЗП на сигнализацию следует выбирать по условию отстройки от нормального пуска ЭД и допустимого самозапуска ЭД после действия АВР и АПВ [100, п. 5.3.49], а также после действия ВНР, ЗМН и другой автоматики восстановления питания, если указанные режимы предусмотрены проектными решениями. Дополнительно следует учитывать отстройку от кратковременных технологически допустимых повышений нагрузки.

Для СД дополнительно следует учитывать кратковременные повышения тока статора при форсировке возбуждения. Во избежание излишнего действия ЗП при допустимой форсировке возбуждения выдержку времени ЗП для СД следует выбирать с учетом длительности указанного режима; при этом выдержка времени должна быть по возможности близкой к максимально допустимой по тепловой характеристике ЭД [125].

Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик»** указанное условие применяется к уставке **«Тзп»**. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** указанное условие применяется к уставке **«Тзп 1»**.

Значение уставки **«Тзп»** (**«Тзп 1»**) следует определять по формуле [74, 122]:

$$Tзп(1) \ge макс\left(k_{отс.t} \cdot t_{пуск.макс}; k_{отс.t} \cdot t_{сзп.макс}; t_{пер.кр.макс} + t_{зап.ЗП}\right) [с] \qquad (5.113)$$

где

$k_{отс.t}$ – коэффициент отстройки по времени, принимаемый равным из диапазона 1,2–1,3 [125]

$t_{пуск.макс}$ с максимальная длительность нормального пуска ЭД

[1] Небольшое превышение тока сверх номинального значения в большинстве случаев не представляет непосредственной опасности для ЭД, однако такой режим следует считать допустимым, но нежелательным. Надежность работы ЭД в этом случае обеспечивается за счет теплового запаса двигателя [89]

$t_{сзп.макс}$	с	максимальная длительность допустимого самозапуска ЭД после действия АВР, АПВ [100, п. 5.3.49], а также после действия ВНР, ЗМН и другой автоматики восстановления питания, если указанные режимы предусмотрены проектными решениями
$t_{пер.кр.макс}$	с	максимальная длительность кратковременной технологически допустимой перегрузки или переходного режима, при которой действие ЗП на сигнализацию не требуется, с. Для СД следует учитывать допустимую длительность форсировки возбуждения, если указанная форсировка сопровождается повышением тока статора
$t_{зап.ЗП}$	с	расчетный запас по времени, учитывающий погрешность определения длительности переходного режима, разброс параметров пуска и самозапуска, возможное увеличение времени восстановления напряжения и требования технологического процесса

При отстройке от пуска и самозапуска расчетный запас по времени учитывается коэффициентом отстройки $k_{отс.t}$, принимаемым из диапазона 1,2–1,3. При отстройке от иных кратковременных технологических перегрузок или переходных режимов значение $t_{зап.ЗП}$ следует принимать по данным технологического процесса, результатам наладки или данным эксплуатации.

Для СД значение выдержки времени ЗП не следует увеличивать сверх необходимого запаса отстройки от допустимых переходных режимов, так как чрезмерное увеличение выдержки может ухудшить защиту ЭД при недопустимой длительной перегрузке. При наличии тепловой характеристики ЭД окончательное значение уставки **«Тзп»** (**«Тзп 1»**) следует дополнительно проверять по условию допустимого времени перегрузки ЭД.

Если ЭД не участвует в самозапуске, составляющая $k_{отс.t}{\cdot}t_{сзп.max}$ в формуле не учитывается. Если кратковременные технологически допустимые перегрузки отсутствуют или их длительность не задана, составляющая $t_{пер.кр.max}+t_{зап.ЗП}$ в формуле не учитывается.

Для устройства **«Лютик»**, в котором специализированные алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** не реализованы, а также для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в случаях, когда алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** по условиям проекта не вводятся в работу, уставку **«Тзп»** (**«Тзп 1»**) допускается использовать для формирования сигнализации при затянутом пуске или самозапуске ЭД. В этом случае значение уставки должно быть отстроено от нормального пуска и допустимого самозапуска, но не должно исключать выявление недопустимого увеличения их длительности.

При использовании алгоритмов **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** по 5.7 выявление затянутого пуска и блокировки ротора следует выполнять указанными специализированными алгоритмами. В этом случае выдержка времени **«Тзп»** (**«Тзп 1»**) должна выбираться по условиям действия ЗП при длительной симметричной перегрузке в рабочем режиме ЭД и не должна приводить к излишней сигнализации при нормальном пуске и допустимом самозапуске.

Если для первой (единственной) ступени ЗП применяется зависимая времятоковая характеристика, проверку отстройки от пуска и самозапуска следует выполнять по времени действия выбранной ВТХ при соответствующем токе пуска или самозапуска ЭД.

При отсутствии уточненных расчетных данных для предварительного выбора независимой выдержки времени ЗП допускается принимать:

$$Тзп(1)=10–15\ [с] \qquad (5.114)$$

Указанное значение следует применять как ориентировочное. Окончательное значение уставки **«Тзп»** (**«Тзп 1»**) должно быть проверено по условиям отстройки от максимальной длительности нормального пуска, допустимого самозапуска и кратковременных технологически допустимых перегрузок. Для СД ориентировочное значение выдержки времени 10–15 с допускается применять только после проверки отсутствия излишнего действия ЗП при допустимой форсировке возбуждения и после проверки соответствия выбранной выдержки времени допустимой тепловой характеристике ЭД.

5.9.2.4 Выбор уставки действия первой/единственной ступени на отключение

Значение уставки действия первой (единственной) ступени ЗП на отключение следует выбирать с учетом принятого действия защиты, допустимости автоматической разгрузки механизма, допустимого времени перегрузки ЭД, кабельной линии и приводимого механизма, а также требований технологического процесса и безопасности.

Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик»** указанное условие применяется к уставке **«Тзп откл»**. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** указанное условие применяется к уставке **«Тзп 1 откл»**.

Если действие первой (единственной) ступени ЗП принимается только на сигнализацию или автоматическую разгрузку механизма без последующего отключения ЭД, действие ЗП на отключение следует не вводить.

При наличии автоматической разгрузки механизма значение уставки **«Тзп откл»** (**«Тзп 1 откл»**) следует выбирать с учетом времени выполнения очередей разгрузки по 5.9.2.6.

Если действие первой (единственной) ступени ЗП принимается на отключение ЭД, полное расчетное время действия ЗП на отключение следует определять по формулам (5.106) и (5.107). При этом уставка **«Тзп откл»** (**«Тзп 1 откл»**) должна выбираться как дополнительная выдержка времени после срабатывания ЗП на сигнализацию.

Полное расчетное время действия ЗП на отключение не должно превышать допустимое время перегрузки защищаемого ЭД. Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик»** указанное условие следует проверять по формуле:

$$Тзп+Тзп\ откл \leq t_{пер.доп}\ [с] \quad (5.115)$$

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** – по формуле:

$$Тзп\ 1+Тзп\ 1\ откл \leq t_{пер.доп}\ [с] \quad (5.116)$$

где

$t_{пер.доп}$ – с – минимально допустимое время перегрузки ЭД

Значение $t_{пер.доп}$ следует принимать по требованиям завода-изготовителя ЭД, технологического процесса, условиям безопасной эксплуатации или результатам наладки.

Для СД при выборе уставки **«Тзп откл»** (**«Тзп 1 откл»**) дополнительно следует учитывать допустимую длительность форсировки возбуждения, если указанная форсировка сопровождается повышением тока статора. При этом полное время действия ЗП на отключение не должно приводить к излишнему отключению СД при допустимой форсировке возбуждения и не должно превышать допустимое время перегрузки по тепловой характеристике ЭД [125].

Для устройства **«Лютик»**, в котором специализированные алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** не реализованы, при использовании ЗП для выявления затянутого пуска или самозапуска полное время действия ЗП на отключение следует дополнительно проверять по условию:

$$Тзп+Тзп\ откл \leq t_{пуск.доп}\ [с] \quad (5.117)$$

где

$t_{пуск.доп}$ – с – допустимая длительность пуска или самозапуска ЭД

Для устройств, в которых введены алгоритмы **«ЗЗП»** и **«ЗБР»**, выявление затянутого пуска и блокировки ротора следует выполнять специализированными алгоритмами по 5.7. В этом случае полное время действия ЗП на отключение при пусковых режимах следует принимать больше времени действия соответствующих алгоритмов **«ЗЗП»** и **«ЗБР»** на отключение либо исключать действие ЗП на отключение в указанных режимах средствами логики устройства.

Если по условиям технологического процесса отключение ЭД при перегрузке не допускается, значение уставки **«Тзп откл»** (**«Тзп 1 откл»**) не выбирается, а действие первой (единственной) ступени ЗП следует принимать на сигнализацию или автоматическую разгрузку механизма.

Если условия обеспечения автоматической разгрузки и ограничения допустимого времени перегрузки не выполняются одновременно, необходимо уточнить действие ЗП, состав автоматической разгрузки, допустимое время перегрузки ЭД и механизма, а также необходимость применения алгоритма **«Тепловая модель»** по 5.8.

5.9.2.5 Выбор уставок зависимой времятоковой характеристики ЗП

Зависимую времятоковую характеристику ЗП допускается применять для приближения характеристики действия ЗП к допустимой перегрузочной характеристике ЭД, а также для обеспечения отстройки от нормального пуска, допустимого самозапуска и кратковременных технологически допустимых перегрузок. Возможность выполнения защиты от перегрузки с зависимой или независимой от тока выдержкой времени предусмотрена ПУЭ [100, п. 5.3.49].

Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** указанные условия применяются к уставкам **«ВТХ зп»**, **«kвтх зп»**, **«Твтх зп»**. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** указанные условия применяются к уставкам **«ВТХ зп 1»**, **«kвтх зп 1»**, **«Твтх зп 1»** первой ступени ЗП. Для устройства **«Лютик»** зависимая ВТХ в алгоритме ЗП не предусмотрена, поэтому настоящий подраздел к устройству **«Лютик»** не применяется.

Тип зависимой ВТХ следует выбирать с учетом назначения ЗП и характера перегрузки. При отсутствии специальных требований к согласованию с заданной перегрузочной характеристикой ЭД допускается принимать **«Чрезвычайно инверсную»** ВТХ, обеспечивающую уменьшение времени действия защиты при увеличении кратности тока перегрузки.

При выборе типа ВТХ следует учитывать, что зависимая характеристика должна обеспечивать отстройку от пусковых режимов и одновременно не должна располагаться выше допустимой перегрузочной характеристики ЭД в области недопустимых перегрузок. Для СД дополнительно следует учитывать допустимую форсировку возбуждения; во избежание излишнего действия ЗП выдержка времени должна быть по возможности близкой к максимально допустимой по тепловой характеристике ЭД [125].

При выборе зависимой ВТХ должно выполняться условие отстройки от пуска и самозапуска ЭД. Проверку следует выполнять по времени действия выбранной ВТХ при соответствующем токе пуска или самозапуска:

$$t_{втх.зп}(I_{пуск.макс}) \geq k_{отс.t} \cdot t_{пуск.макс}\ [с] \quad (5.118)$$

$$t_{втх.зп}(I_{сзп.макс}) \geq k_{отс.t} \cdot t_{сзп.макс}\ [с] \quad (5.119)$$

где

$t_{втх.зп}(I_{пуск.макс})$	с	время действия выбранной ВТХ ЗП при максимальном токе пуска ЭД
$t_{втх.зп}(I_{сзп.макс})$	с	время действия выбранной ВТХ ЗП при максимальном токе допустимого самозапуска ЭД
$I_{пуск.макс}$	А	максимальный ток нормального пуска ЭД
$I_{сзп.макс}$	А	максимальный ток допустимого самозапуска ЭД
$t_{пуск.макс}$	с	максимальная длительность нормального пуска ЭД
$t_{сзп.макс}$	с	максимальная длительность допустимого самозапуска ЭД
$k_{отс.t}$	–	коэффициент отстройки по времени, принимаемый равным из диапазона 1,2–1,3

При отсутствии данных о самозапуске ЭД проверка по $t_{сзп.max}$ не выполняется.

При наличии заводской тепловой характеристики ЭД выбранную ВТХ следует дополнительно проверять по условию, что время действия ЗП при расчетных токах перегрузки не превышает допустимого времени перегрузки ЭД:

$$t_{втх.зп}(I_{пер}) \leq t_{пер.доп}(I_{пер})\ [с] \quad (5.120)$$

где

$I_{пер}$	А	расчетный ток перегрузки ЭД
$t_{пер.доп}(I_{пер})$	с	допустимое время перегрузки при токе $I_{пер}$, определяемое по заводской тепловой характеристике ЭД

При выборе **«Чрезвычайно инверсной»** ВТХ значение уставки **«kвтх зп»** (**«kвтх зп 1»**) допускается предварительно определять по формуле:

$$kвтх\ зп(1) = \frac{T_{т.дв}}{80} \quad (5.121)$$

где

$T_{т.дв}$	с	тепловая постоянная времени ЭД, принимаемая по данным завода-изготовителя, результатам испытаний или расчету тепловой модели по 5.8

Если данные о тепловой постоянной времени ЭД отсутствуют, значение **«kвтх зп»** (**«kвтх зп 1»**) следует выбирать по результатам проверки отстройки ВТХ от нормального пуска, допустимого самозапуска и допустимой перегрузочной характеристики ЭД. При отсутствии достаточных исходных данных применение зависимой ВТХ для ЗП не рекомендуется; в этом случае следует применять независимую выдержку времени по 5.9.2.3.

Значение уставки **«Твтх зп»** (**«Твтх зп 1»**) следует принимать равным:

$$Твтх\ зп = 0\ [с] \quad (5.122)$$

если дополнительная задержка срабатывания ВТХ не требуется по условиям отстройки от кратковременных переходных режимов или технологического процесса.

Если по результатам проверки отстройки от пуска, самозапуска, допустимой форсировки возбуждения СД или кратковременной технологически допустимой перегрузки требуется дополнительная задержка, значение уставки **«Твтх зп»** (**«Твтх зп 1»**) допускается принимать больше нуля. При этом полное время действия ВТХ ЗП с учетом дополнительной задержки не должно превышать допустимое время перегрузки ЭД, кабельной линии и приводимого механизма.

Для СД выбранная ВТХ должна быть дополнительно проверена по условию отсутствия излишнего действия ЗП при допустимой форсировке возбуждения и по условию соответствия допустимой тепловой характеристике ЭД [125].

5.9.2.6 Выбор уставок автоматической разгрузки механизма

Автоматическую разгрузку механизма допускается применять в случаях, когда при перегрузке ЭД возможно снижение нагрузки приводимого механизма без отключения ЭД. Такой подход соответствует общему требованию ПУЭ о действии защиты от технологических перегрузок на сигнал при наличии возможности разгрузки ЭД без остановки [100, п. 5.3.49] и рекомендациям по выполнению защиты от перегрузки с действием на сигнал и автоматическую разгрузку механизма. Для СД автоматическая разгрузка механизма может применяться также в случаях, когда снижение нагрузки необходимо для сохранения устойчивой работы или обеспечения втягивания в синхронизм [125].

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** алгоритм **«ЗП»** содержит две очереди разгрузки, действующие после срабатывания ЗП на предупредительную сигнализацию. В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** указанные условия применяются к уставкам **«Тразгр 1»** и **«Тразгр 2»** алгоритма **«ЗП»**. В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** указанные условия применяются к уставкам **«Тразгр 1»** и **«Тразгр 2»** первой ступени **«ЗП»**. Для устройства **«Лютик»** настоящий подраздел не применяется, так как в алгоритме **«ЗП»** устройства не предусмотрены отдельные выходные сигналы разгрузки.

Значения уставок **«Тразгр 1»** и **«Тразгр 2»** следует выбирать исходя из требований технологического процесса, состава разгружаемых механизмов и допустимого времени работы ЭД с перегрузкой.

Полное время от момента превышения токовой уставки ЗП до подачи команды первой и второй очередей разгрузки следует определять по формулам:

$$t_{\text{разгр 1.полн}} = \text{Тзп}(1) + \text{Тразгр 1 [с]} \quad (5.123)$$

$$t_{\text{разгр 2.полн}} = \text{Тзп}(1) + \text{Тразгр 2 [с]} \quad (5.124)$$

где

$t_{\text{разгр 1.полн}}$ – с – полное расчетное время от момента превышения токовой уставки ЗП до подачи команды первой очереди разгрузки

$t_{\text{разгр 2.полн}}$ – с – полное расчетное время от момента превышения токовой уставки ЗП до подачи команды второй очереди разгрузки

$\text{Тзп}(1)$ – с – принятое значение уставки **«Тзп»** (**«Тзп 1»**) действия ЗП на предупредительную сигнализацию

Тразгр 1, Тразгр 2 – с – значения уставок **«Тразгр 1»** и **«Тразгр 2»**

При введенном действии ЗП на отключение проверку выполнения разгрузки до отключения следует выполнять совместно с проверкой полного времени действия ЗП на отключение по 5.9.2.4.

Если применяются две очереди разгрузки, значение уставки **«Тразгр 2»** следует принимать больше значения уставки **«Тразгр 1»** на технологический запас по времени:

$$\text{Тразгр 2} \geq \text{Тразгр 1} + t_{\text{зап.разгр}} \text{ [с]} \quad (5.125)$$

где

$t_{\text{зап.разгр}}$ – с – технологический запас по времени между очередями разгрузки

Значение $t_{\text{зап.разгр}}$ должно учитывать время передачи команды разгрузки, время срабатывания промежуточных реле, контроллеров и исполнительных механизмов, инерционность приводимого механизма, время фактического снижения нагрузки, время стабилизации тока ЭД после разгрузки и требования технологического процесса.

При наличии достоверных данных о времени выполнения команды разгрузки указанное время допускается учитывать отдельно. При отсутствии таких данных время выполнения команды разгрузки следует включать в $t_{\text{зап.разгр}}$.

Если действие ЗП на отключение введено, команды разгрузки должны выполняться до действия ЗП на отключение. При применении двух очередей разгрузки указанное условие следует проверять по формуле:

$$\text{Тразгр 2} + t_{\text{зап.разгр}} \leq \text{Тзп}(1)\ \text{откл} \quad (5.126)$$

где

$\text{Тзп}(1)\ \text{откл}$ – с – принятое значение уставки **«Тзп откл»** (**«Тзп 1 откл»**) действия ЗП на отключение после срабатывания ЗП на предупредительную сигнализацию

Если применяется только одна очередь разгрузки, условие завершения разгрузки до действия ЗП на отключение следует проверять по формуле:

$$\text{Тразгр 1} + t_{\text{зап.разгр}} \leq \text{Тзп}(1)\ \text{откл} \quad (5.127)$$

5.10 МИНИМАЛЬНАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА

5.10.1 Общие сведения

Минимальная токовая защита (МинТЗ) предназначена для выявления режима недопустимого снижения тока ЭД, обусловленного потерей нагрузки, переходом приводимого механизма в режим холостого хода, расцеплением ЭД с механизмом, прекращением подачи транспортируемого или перерабатываемого продукта либо потерей перекачиваемой среды.

МинТЗ следует рассматривать преимущественно как технологическую защиту от потери нагрузки и недопустимого холостого хода механизма, применение которой определяется характеристиками приводимого механизма и требованиями технологического процесса [89].

Применение МинТЗ целесообразно для механизмов, у которых снижение тока двигателя ниже минимально допустимого технологического значения является признаком потери нагрузки, прекращения подачи транспортируемого или перерабатываемого продукта, расцепления двигателя с механизмом, потери перекачиваемой среды или перехода в недопустимый режим холостого хода. К таким механизмам могут относиться насосные агрегаты, конвейеры, транспортеры, пневмотранспортеры, дробилки, измельчители, мельницы и другие механизмы с технологически контролируемой нагрузкой [89, 183, 191].

Для насосных агрегатов снижение тока ЭД может быть связано с потерей или существенным уменьшением гидравлической нагрузки при недостаточном притоке перекачиваемой среды[1], потере подачи, завоздушивании или сухом ходе[2]. Такие режимы приводят к уменьшению момента сопротивления на валу и, как следствие, к снижению тока ЭД, а также могут сопровождаться ухудшением гидравлических характеристик насоса, повышенной вибрацией, шумом, перегревом и повреждением рабочих поверхностей. В связи с этим МинТЗ может использоваться как технологическая защита от недопустимого режима работы насосного агрегата с малой нагрузкой или без нагрузки [183, 191].

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** данная защита реализуется в алгоритме **«Минимальная токовая защита»**, основные параметры которого приведены в таблице 5.13.

Таблица 5.13. Алгоритм «Минимальная токовая защита»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль РПВ	–	+	+	+	+
Блокировка пуска МинТЗ при пуске ЗМН и ЗПП	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.14

Таблица 5.14. Уставки алгоритма «Минимальная токовая защита (МинТЗ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Минимальная токовая защита (МинТЗ)							
Iмин тз	A	1	0,25	5	0,01	1,05	МинТЗ - ток срабатывания
Tмин тз	с	5	0,1	60	0,01	-	МинТЗ - задержка срабатывания

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.15.

Таблица 5.15. Уставки алгоритма «Минимальная токовая защита (МинТЗ)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Минимальная токовая защита (МинТЗ)							
Iмин тз	A	1	0,25	5	0,01	1,05	МинТЗ - ток срабатывания

[1] В англоязычной технической литературе для режима недостаточного или нестабильного поступления жидкости на вход насоса применяется термин *pump starvation*, дословно — «насосное голодание». Такой режим может сопровождаться потерей подачи, повышенной вибрацией, перегревом и повреждением насоса [191]

[2] Сухой ход насоса, в англоязычной технической литературе — *dry running* — опасный режим работы, при котором насос функционирует без достаточного количества перекачиваемой среды. Такой режим может приводить к нарушению охлаждения и смазки внутренних элементов, перегреву, повышенному износу и повреждению насоса [188]

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Тмин тз	с	5	0,1	60	0,01	-	МинТЗ - задержка срабатывания

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

5.10.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Iмин тз»** должно обеспечивать выявление режима потери нагрузки и не должно приводить к действию защиты при минимально допустимой нагрузке механизма.

Значение уставки **«Iмин тз»** следует выбирать по условию срабатывания при потере нагрузки:

$$Iмин\ тз \geq k_{зап.пот.нагр} \cdot I_{пот.нагр.макс}\ [А] \quad (5.128)$$

где

$k_{зап.пот.нагр}$ – коэффициент запаса, принимается из диапазона 1,1–1,2

$I_{пот.нагр.макс}$ А наибольшее значение тока ЭД в режиме потери нагрузки, холостого хода механизма, прекращения подачи транспортируемого или перерабатываемого продукта либо потери перекачиваемой среды

При отсутствии данных о токе ЭД в режиме потери нагрузки предварительно принимать:

$$I_{пот.нагр.макс} = I_{хх.дв}\ [А] \quad (5.129)$$

где

$I_{хх.дв}$ А ток холостого хода ЭД, определяемый по каталожным данным, данным завода-изготовителя или результатам испытаний

Значение уставки **«Iмин тз»** следует проверять по условию несрабатывания при минимально допустимой технологической нагрузке механизма:

$$Iмин\ тз \leq \frac{I_{мин.тех}}{k_{отс.мин} \cdot k_{в}}\ [А] \quad (5.130)$$

где

$I_{мин.тех}$ А минимальное значение тока ЭД при допустимой технологической нагрузке механизма

$k_{отс.мин}$ – коэффициент отстройки, принимается из диапазона 1,05–1,1

$k_{в}$ – коэффициент возврата уставки **«Iмин тз»**, принимается по таблицам 5.14 и 5.15 для соответствующего устройства

Окончательное значение уставки **«Iмин тз»** следует выбирать не менее значения, определенного по условию срабатывания при потере нагрузки по формуле (5.128), и не более значения, определенного по условию несрабатывания при минимально допустимой технологической нагрузке по формуле (5.130). При невозможности одновременного выполнения указанных условий применение МинТЗ должно быть дополнительно обосновано с учетом требований технологического процесса и результатов пусконаладочных работ.

На стадии проектирования при отсутствии достоверных данных о минимальной технологической нагрузке допускается предварительно выбирать значение уставки **«Iмин тз»** из диапазона:

$$Iмин\ тз = (0{,}2 - 0{,}6) \cdot I_{ном.дв}\ [А] \quad (5.131)$$

где

$I_{ном.дв}$ А номинальный ток ЭД

Принятое значение уставки **«Iмин тз»** должно уточняться по результатам пусконаладочных работ с учетом фактических токов ЭД при минимально допустимой нагрузке и в режиме потери нагрузки.

Значение уставки **«Тмин тз»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных допустимых снижений нагрузки:

$$Тмин\ тз \geq t_{сниж.макс} + t_{зап}[с] \quad (5.132)$$

где

$t_{сниж.макс}$ с максимальная длительность кратковременного допустимого снижения нагрузки ЭД, обусловленного технологическим процессом, кратковременным изменением подачи или переключением режимов работы агрегата

$t_{зап}$ с запас по времени, принимаемый с учетом требований технологического процесса

При действии МинТЗ на отключение значение уставки **«Тмин тз»** следует дополнительно проверять по условию отключения ЭД до истечения допустимого времени работы механизма в режиме потери нагрузки:

$$Тмин\ тз \leq t_{доп.пот.нагр}[с] \quad (5.133)$$

где

$t_{доп.пот.нагр}$ с допустимое время работы механизма в режиме потери нагрузки, холостого хода, сухого хода или прекращения подачи транспортируемого либо перерабатываемого продукта

Окончательное значение уставки **«Тмин тз»** следует выбирать не менее значения, определенного по условию отстройки от кратковременных допустимых снижений нагрузки по формуле (5.132), и не более допустимого времени работы механизма в режиме потери нагрузки, определенного по формуле (5.133).

При отсутствии достоверных данных о длительности кратковременных допустимых снижений нагрузки и допустимом времени работы механизма в режиме потери нагрузки значение уставки **«Тмин тз»** следует принимать с учетом требований технологического процесса с последующим уточнением при пусконаладочных работах.

5.11 ЗАЩИТА ОТ АСИНХРОННЫХ РЕЖИМОВ

5.11.1 Общие сведения

В соответствии с ПУЭ на СД должна предусматриваться защита от асинхронного режима, которая может быть совмещена с защитой от токов перегрузки [**100**, п. 5.3.43].

Асинхронным режимом синхронной машины является режим, при котором нарушается синхронная связь между ротором машины и вращающимся магнитным полем статора, вследствие чего ротор вращается со скоростью, отличной от синхронной, и появляется скольжение. Указанный режим может возникать при потере возбуждения, нарушении статической или динамической устойчивости вследствие глубокого снижения напряжения при внешних КЗ, перерыве питания, неуспешном самозапуске после восстановления напряжения, несинхронном включении, а также при нарушении условий ресинхронизации после аварийных возмущений [**9**, **122**].

Асинхронный режим СД является опасным аварийным режимом, сопровождающимся периодическими изменениями тока статора, напряжения на шинах питания, электромагнитного момента и угла между ЭДС СД и напряжением питающей системы. При асинхронном режиме возбужденного СД возможны повышенные токи статора, токи в демпферных контурах, знакопеременные электромагнитные моменты, дополнительный нагрев обмоток и ротора, а также ухудшение условий работы защит и автоматики узла нагрузки.

Следует различать два основных случая асинхронного режима СД:

- асинхронный режим с потерей возбуждения, при котором СД теряет устойчивость и начинает потреблять повышенную реактивную мощность из сети. При этом рабочая точка измеряемого полного сопротивления, определяемого по токам и напряжениям в месте установки защиты, перемещается в область комплексной плоскости сопротивлений, характерную для потери возбуждения или глубокого недовозбуждения;
- асинхронный режим возбужденного СД, при котором возбуждение сохраняется, однако вследствие нарушения устойчивости, внешнего КЗ, наброса нагрузки, неуспешной синхронизации при пуске или иного возмущения СД выпадает из синхронизма и ротор начинает вращаться со скольжением относительно вращающегося магнитного поля статора. Указанный режим сопровождается периодическими изменениями тока статора, напряжения, электромагнитного момента и угла между ЭДС СД и напряжением питающей системы. При этом годограф измеряемого полного сопротивления также перемещается по комплексной плоскости.

Для синхронного генератора в литературе отдельно различают асинхронный ход возбужденного генератора и асинхронный режим при потере возбуждения. Во время асинхронного хода возбужденного генератора фазовый сдвиг между вектором ЭДС генератора и вектором напряжения приемной сети многократно проходит значения от 0 до 360°, при этом СГ

попеременно работает в генераторном и двигательном режимах, что сопровождается очень большими уравнительными токами, значительными отклонениями напряжения и большими электромагнитными моментами, действующими на генератор и турбину. Такой режим является тяжелым аварийным режимом и может приводить к развитию системной аварии. При потере возбуждения генератор может перейти в асинхронный режим с потреблением реактивной мощности из системы и выдачей в систему определенной активной мощности [21].

В соответствии с ПУЭ защита СД от асинхронного режима должна действовать с выдержкой времени на [100, п. 5.3.51]:

- ресинхронизацию;
- ресинхронизацию с кратковременной разгрузкой до втягивания в синхронизм;
- отключение с последующим автоматическим повторным пуском;
- отключение при невозможности разгрузки или ресинхронизации либо при отсутствии необходимости автоматического повторного пуска и ресинхронизации по условиям технологического процесса.

Для своевременного выявления асинхронного режима СД в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** применяется алгоритм **«Защита от асинхронных режимов»** (**«ЗАР»**). В зависимости от исполнения устройства алгоритм **«ЗАР»** выявляет асинхронный режим по характеристике сопротивления либо, при соответствующем вводе режима работы, по увеличению тока статора.

При выборе уставок ЗАР следует отличать асинхронный режим от синхронных качаний. При синхронных качаниях с сохранением устойчивости угол δ между вектором ЭДС СД и вектором напряжения питающей системы изменяется колебательно, и последовательного изменения угла на 360° не происходит. Для асинхронного режима характерно знакопостоянное скольжение, при котором угол δ(t) между векторами ЭДС несинхронно работающих синхронных машин либо между вектором ЭДС синхронной машины и вектором напряжения питающей системы последовательно изменяется. В соответствии с ГОСТ Р 55105-2019 цикл асинхронного режима соответствует изменению на 360° относительного угла между векторами ЭДС несинхронно работающих генераторов [47, п. 3.26]. Для асинхронного хода возбужденного генератора фазовый сдвиг между вектором ЭДС генератора и вектором напряжения приемной сети многократно проходит значения от 0 до 360° [9, 21, 22, 122]. Указанные режимы условно показаны на рисунке 5.6. Для синхронного генератора характер изменения угла δ при синхронных качаниях и асинхронном ходе принципиально аналогичен показанному на рисунке 5.6, при этом расчетные условия выбора уставок должны приниматься отдельно с учетом генераторного режима.

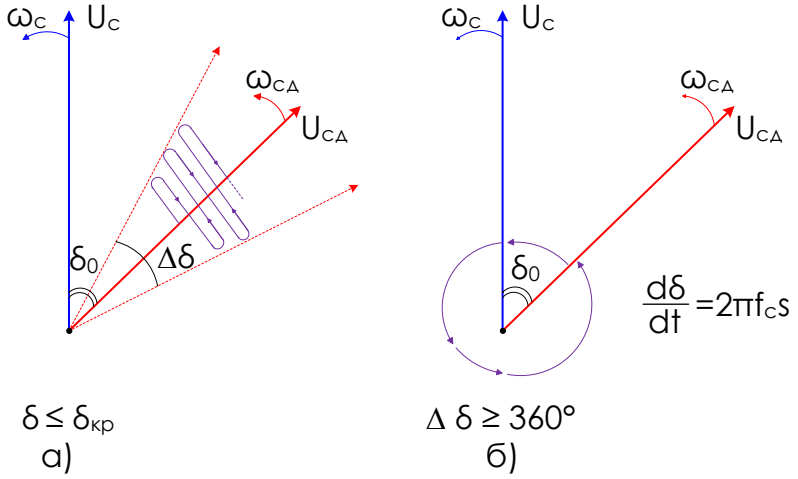


Рисунок 5.6. К понятию асинхронного режима СД:
а – синхронные качания с сохранением устойчивости;
б – асинхронный режим с изменением угла Δδ(t) не менее чем на 360°

Устройство **«Алтей-БЗП»** дополнительно содержит алгоритм **«ЗАРг»**, предназначенный для выявления асинхронного режима синхронной машины без потери возбуждения. Выявление асинхронного режима в алгоритме **«ЗАРг»** осуществляется по изменению комплексного сопротивления, определяемого по измеряемым токам и напряжениям, с контролем траектории вектора сопротивления относительно заданных характеристик срабатывания. Данный принцип применяется в защитах синхронных генераторов от асинхронного хода и потери устойчивости [19, 175].

Алгоритм **«ЗАРг»** следует рассматривать отдельно от **«ЗАР»** СД, поскольку он имеет иной состав уставок, выходных сигналов и расчетных условий. В настоящем подразделе рассматриваются особенности выбора уставок как алгоритма **«ЗАР»** для СД, так и алгоритма **«ЗАРг»** при применении устройства на генераторном присоединении.

В устройстве **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** данная защита реализуется в алгоритме **«Защита от асинхронных режимов»**, основные параметры которого приведены в таблице 5.16.

Таблица 5.16. Алгоритм «Защита от асинхронных режимов»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Защита от АР с потерей возбуждения (ЗАР)	–	+	+	+	+
Защита от АР без потери возбуждения (ЗАРг)	–	–	–	+	–

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.17.

Таблица 5.17. Уставки алгоритма «Защита от асинхронных режимов ЗАР и ЗАРг» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Защита от асинхронных режимов (ЗАР)							
Хзар 1	Ом	60	2	250	0,01	1,05	ЗАР - сопротивление верхней точки характеристики срабатывания
Хзар 2	Ом	2	1	100	0,01	0,95	ЗАР - сопротивление нижней точки характеристики срабатывания
Тзар	с	1	0,1	10	0,01	-	ЗАР - задержка срабатывания
Тзар возвр.	с	1	0,1	10	0,01	-	ЗАР - задержка возврата выдержки времени
Iзар	А	10	1	100	0,01	0,95	ЗАР - ток срабатывания
Фмч1 зона1*	°	80	0	359,9	0,1	1	ЗАРг - угол максимальной чувствительности ЗАРг зона 1
Zзар1 зона1*	Ом	60	0,1	300	0,01	1	ЗАРг - сопротивление верхней точки характеристики срабатывания на угле максимальной чувствительности ЗАРг зона 1
Zзар2 зона1*	Ом	2	-80	300	0,01	1	ЗАРг - сопротивление нижней точки характеристики срабатывания на угле максимальной чувствительности ЗАРг зона 1
Фмч1 зона2*	°	80	0	359,9	0,1	1	ЗАРг - угол максимальной чувствительности ЗАРг зона 2
Zзар1 зона2*	Ом	60	0,1	300	0,01	1	ЗАРг - сопротивление верхней точки характеристики срабатывания на угле максимальной чувствительности ЗАРг зона 2
Zзар2 зона2*	Ом	2	-80	300	0,01	1	ЗАРг - сопротивление нижней точки характеристики срабатывания на угле максимальной чувствительности ЗАРг зона 2
Ффазы*	°	180	0	359,9	0,1	1	ЗАРг - угол фазочувствительного органа ЗАРг
Тзар г 1*	с	0,02	0,01	0,02	0,01	-	ЗАРг – задержка срабатывания первой ступени ЗАРг
Тзар г 2*	с	0,02	0,01	0,02	0,01	-	ЗАРг – задержка срабатывания второй ступени ЗАРг
Тзар г возв*	с	0,5	0,2	15	0,1	-	ЗАРг – задержка возврата всех ступеней ЗАРг
ЗАР г счет 1*		1	1	5	1	1	ЗАРг – уставка срабатывания счетчика первой ступени ЗАРг
ЗАР г счет 2*		5	1	5	1	1	ЗАРг – уставка срабатывания счетчика второй ступени ЗАРг
Тнедовозб*	с	5	0	40	0,1	-	ЗАРг – задержка срабатывания недовозбуждения генератора
Тзадержки РПО*	с	0,5	0,1	10	0,01	-	ЗАРг – задержка РПО при включении самозапуском
Тзар I1 возв*	с	0,5	0,2	100	0,1	-	ЗАРг – задержка на возврат пуска симметричных перегрузок

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
I1 зар*	А	5	0,1	100	0,01	0,95	ЗАРг – ток симметричной перегрузки
Тзар 1 возв*	с	0	0	600	0,1	-	ЗАРг – задержка возврата ЗАР г 1
Тзар 2 возв*	с	0	0	600	0,1	-	ЗАРг – задержка возврата ЗАР г 2

*– Уставки алгоритма **«ЗАРг»** относятся к устройству **«Алтей-БЗП»**.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.18.

Таблица 5.18. Уставки алгоритма «Защита от асинхронных режимов (ЗАР)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Защита от асинхронных режимов (ЗАР)							
Хзар 1	Ом	60	2	250	0,01	1,05	ЗАР - сопротивление верхней точки характеристики срабатывания
Хзар 2	Ом	2	1	100	0,01	0,95	ЗАР - сопротивление нижней точки характеристики срабатывания
Тзар	с	1	0,1	10	0,01	-	ЗАР - задержка срабатывания
Тзар возвр.	с	1	0,1	10	0,01	-	ЗАР - задержка возврата выдержки времени
Iзар	А	10	1	100	0,01	0,95	ЗАР - ток срабатывания

5.11.2 Исходные данные

Расчет уставок алгоритмов **«ЗАР»** и **«ЗАРг»** следует выполнять с учетом параметров защищаемой синхронной машины и схемы ее присоединения к энергосистеме.

Для расчета уставок по сопротивлению следует использовать расчетную схему замещения синхронной машины, присоединенной к питающей системе через трансформатор, линию или иные элементы внешней сети. В общем виде расчетная схема замещения приведена на рисунке 5.7.

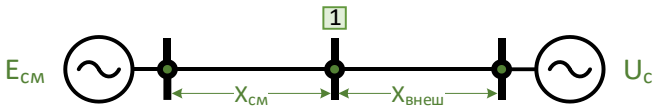


Рисунок 5.7. Расчетная схема замещения для выбора уставок «ЗАР» и «ЗАРг»

На рисунке 5.7 синхронная машина представлена внутренней ЭДС $E_{см}$ за реактивным сопротивлением $X_{см}$, а питающая система — эквивалентным напряжением $U_с$ за внешним реактивным сопротивлением $X_{внеш}$. Точка 1 соответствует месту установки защиты, в котором выполняется измерение токов и напряжений. Все сопротивления расчетной схемы должны быть приведены к одной ступени напряжения, как правило к ступени напряжения места установки защиты.

При расчете уставок ЗАР для СД под $E_{см}$ следует понимать ЭДС синхронного двигателя, а при расчете уставок ЗАРг для генераторного присоединения — ЭДС синхронного генератора. В зависимости от расчетного режима в качестве $X_{см}$ следует принимать синхронное, переходное или сверхпереходное реактивное сопротивление синхронной машины.

Внешнее реактивное сопротивление, приведенное к ступени напряжения места установки защиты, следует определять по формуле:

$$X_{внеш} = X_т + X_л + X_с \ [Ом] \quad (5.134)$$

где обозначения приведены в таблице 5.19.

При отсутствии линии связи или при подключении синхронной машины непосредственно к шинам через трансформатор соответствующее слагаемое в формуле (5.134) следует принимать равным нулю.

Для расчета уставок **«ЗАР»** и **«ЗАРг»** должны быть заданы исходные данные, приведенные в таблице 5.19.

Таблица 5.19 Исходные данные для расчета уставок ЗАР и ЗАРг

ОБОЗНАЧЕНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ПОЯСНЕНИЕ
$U_{ном.см}$	кВ	номинальное линейное напряжение синхронной машины

$S_{ном.см}$	МВА	номинальная полная мощность синхронной машины
$I_{ном.см}$	А	номинальный ток синхронной машины
X_d^*	о.е.	синхронное реактивное сопротивление по оси d синхронной машины
$X_d'^*$	о.е.	переходное реактивное сопротивление по оси d синхронной машины
$X_d''^*$	о.е.	сверхпереходное реактивное сопротивление по оси d синхронной машины
$X_т$	Ом	реактивное сопротивление трансформатора
$X_л$	Ом	реактивное сопротивление линии или иного элемента связи с питающей системой
$X_с$	Ом	эквивалентное реактивное сопротивление питающей системы
$X_{внеш}$	Ом	суммарное внешнее реактивное сопротивление от места установки защиты до эквивалентной питающей системы
$I_{макс.раб}$	А	максимальный рабочий ток синхронной машины с учетом допустимой технологической перегрузки
$I_{пуск}$	А	максимальный ток пуска СД
$I_{сзп}$	А	максимальный ток самозапуска СД
$t_{пуск.доп}$	с	допустимая длительность пуска СД
$t_{сзп.доп}$	с	допустимая длительность самозапуска СД
$t_{АР.доп}$	с	допустимое время пребывания синхронной машины в асинхронном режиме по условиям термической стойкости, ресинхронизации, технологического процесса и безопасности
$s_{АР}$	о.е.	минимально ожидаемое установившееся скольжение в асинхронном режиме
$s_{АР\%}$	%	минимально ожидаемое установившееся скольжение в асинхронном режиме, выраженное в процентах
$f_с$	Гц	номинальная частота сети
$k_{ТТ}$	–	коэффициент трансформации ТТ
$k_{ТН}$	–	коэффициент трансформации ТН
$k_{сх}$	–	коэффициент схемы включения измерительных цепей

При расчете уставок ЗАР для СД в обозначениях таблицы 5.19 следует использовать параметры СД. При расчете уставок ЗАРг для генераторного присоединения следует использовать параметры СГ и соответствующей схемы присоединения генератора к энергосистеме.

$$S_{ном.см} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{ном.см} \cdot I_{ном.см}}{1000} \ [МВА] \quad (5.135)$$

Базовое сопротивление синхронной машины следует определять по формуле [112, 153]:

$$Z_{баз.см} = \frac{U_{ном.см}^2}{S_{ном.см}} \ [Ом] \quad (5.136)$$

Реактивные сопротивления синхронной машины, заданные в относительных единицах при номинальных условиях данной машины, следует выразить в именованных единицах, приняв за базисное сопротивление значение $Z_{баз.см}$, определенное по формуле (5.136):

$$X_d = X_d^* \cdot Z_{баз.см} \ [Ом] \quad (5.137)$$

$$X_d' = X_d'^* \cdot Z_{баз.см} \ [Ом] \quad (5.138)$$

$$X_d'' = X_d''^* \cdot Z_{баз.см} \ [Ом] \quad (5.139)$$

Для алгоритма ЗАРг в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** при выборе уставок счетчиков циклов асинхронного хода и выдержек возврата следует учитывать период одного цикла асинхронного хода, соответствующий изменению угла Δδ на 360°. Указанный период определяется по формуле [24, 26]:

$$\tau_{АР} = \frac{1}{f_с \cdot |s_{АР}|} = \frac{100}{f_с \cdot |s_{АР\%}|} \ [с] \quad (5.140)$$

Значения уставок по сопротивлению, рассчитанные в первичных величинах, следует приводить ко вторичным значениям по формуле:

$$Z_{втор} = \frac{k_{ТТ}}{k_{ТН} \cdot k_{сх}} \cdot Z_{перв}\ [Ом] \qquad (5.141)$$

где

$Z_{втор}$ Ом значение сопротивления, задаваемое в устройстве

$Z_{перв}$ Ом расчетное значение сопротивления в первичных величинах

При соединении ТТ в звезду значение $k_{сх}$ следует принимать равным 1. При соединении ТТ в треугольник значение $k_{сх}$ следует принимать равным $\sqrt{3}$.

5.11.3 Круговые диаграммы полного сопротивления при изменении угла между ЭДС синхронной машины и напряжением на ее выводах

Для пояснения принципа выявления асинхронного режима органами сопротивления целесообразно рассматривать круговые диаграммы комплексного полного сопротивления на выводах синхронной машины. Указанные диаграммы позволяют оценить перемещение вектора полного сопротивления при изменении угла между ЭДС синхронной машины и напряжением питающей системы, а также сопоставить траектории асинхронного режима с характеристикой срабатывания реле сопротивления. В работе [19] данные диаграммы используются для отображения зоны работы реле сопротивления и сравнения ее с характерными траекториями асинхронного режима.

В общем случае измеряемое полное сопротивление определяется как отношение комплексного вектора напряжения к комплексному вектору тока в месте установки защиты $\underline{Z} = \underline{U}/\underline{I}$.

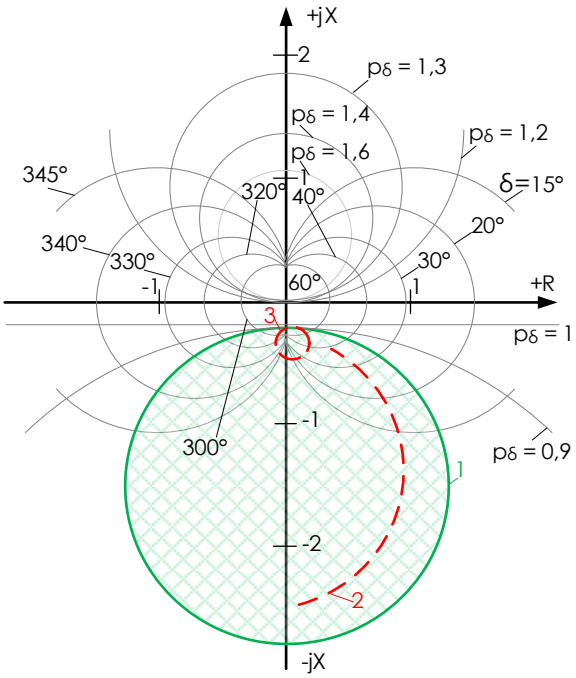


Рисунок 5.8. Круговые диаграммы полного сопротивления на выводах синхронной машины и характеристика реле: 1 – характеристика реле сопротивления; 2, 3 – характерные траектории изменения полного сопротивления при асинхронных режимах

На рисунке 5.8 серыми линиями показаны семейства окружностей $p = |\underline{E}_{см}|/|\underline{U}_{см}| = const$, характеризующие изменение полного сопротивления при фиксированном отношении модулей комплексной ЭДС синхронной машины и комплексного напряжения на ее выводах, и семейство окружностей δ = const, характеризующее фиксированное значение угла между векторами $\underline{E}_{см}$ и $\underline{U}_{см}$. Пересечение окружностей p = const и δ = const определяет текущую рабочую точку $\underline{Z}$ на комплексной плоскости сопротивлений.

Диаграмма, приведенная на рисунке 5.8, имеет «генераторную» трактовку, при которой положительное направление активной мощности принимается от синхронной машины в сеть. При применении диаграммы к СД, для которого положительное направление активной мощности принимается к машине, углы δ следует интерпретировать с противоположным знаком. Это эквивалентно зеркальному отображению генераторной диаграммы относительно оси R. Поэтому номера квадрантов и

положение траекторий на комплексной плоскости должны оцениваться с учетом принятого в устройстве направления токов и мощностей. При асинхронном режиме напряжение и ток в месте установки защиты периодически изменяются, вследствие чего годограф измеряемого сопротивления перемещается по комплексной плоскости. При пересечении годографом характеристики реле и попадании рабочей точки внутрь области срабатывания происходит пуск измерительного органа сопротивления.

5.11.4 Расчет уставок ЗАР по сопротивлению

В настоящем подразделе рассматривается выбор уставок алгоритма **«ЗАР»** при работе пускового органа по сопротивлению. При вводе режима работы алгоритма **«ЗАР»** по току расчет уставки **«Iзар»** следует выполнять по **5.11.5**.

Условием пуска алгоритма **«ЗАР»** по сопротивлению является попадание комплексного значения полного сопротивления прямой последовательности в характеристику срабатывания реле сопротивления. Характеристика срабатывания задается уставками **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»**.

При потере возбуждения годограф полного сопротивления на выводах машины перемещается в область комплексной плоскости сопротивлений, характерную для режима недовозбуждения. Для генераторной трактовки данного режима в [19] указано, что при потере возбуждения и переходе генератора в асинхронный режим сопротивление на его выводах может изменяться от X_d до X'_d, а при замыкании обмотки ротора на выпрямитель в схеме тиристорного возбудителя, согласно экспериментальным данным, может уменьшаться примерно до $0{,}5 \cdot X'_d$. Поэтому реле сопротивления для выявления потери возбуждения генератора должно охватывать соответствующую область на комплексной плоскости сопротивлений.

При применении данного подхода к СД уставки **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»** следует выбирать с учетом принятого направления токов и мощностей, расчетных траекторий сопротивления при асинхронном режиме, условий отстройки от нормальных и допустимых переходных режимов.

Значение уставки **«Хзар 1»** следует выбирать по условию охвата верхней границы области выявления потери возбуждения синхронной машины:

$$Хзар\ 1 \geq X_d\ [Ом] \tag{5.142}$$

Значение уставки **«Хзар 2»** следует выбирать по условию охвата нижней границы области выявления потери возбуждения:

$$Хзар\ 2 \leq 0{,}5 \cdot X'_d\ [Ом] \tag{5.143}$$

На стадии предварительного расчета допускается принимать:

$$Хзар\ 1 = X_d\ [Ом] \tag{5.144}$$

$$Хзар\ 2 = 0{,}5 \cdot X'_d\ [Ом] \tag{5.145}$$

Расчетные значения уставок **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»**, определенные в первичных величинах, перед заданием в устройстве следует привести ко вторичным величинам по формуле (5.141).

Выбранная характеристика срабатывания ЗАР должна обеспечивать выявление асинхронного режима с потерей возбуждения и не должна излишне расширяться в область допустимых переходных режимов, пуска, самозапуска, глубоких синхронных качаний и асинхронного режима без потери возбуждения[1]. При наличии в устройстве алгоритма **«ЗАРг»** выявление асинхронного режима без потери возбуждения следует рассматривать отдельно.

Выбранная характеристика срабатывания ЗАР должна удовлетворять следующим условиям:

- охватывать расчетную область перемещения годографа сопротивления при асинхронном режиме с потерей возбуждения;
- не охватывать рабочую точку нормального режима СД при максимальной рабочей нагрузке и допустимых режимах регулирования возбуждения;
- быть проверена на отстройку от пуска и самозапуска СД, если в указанных режимах возможен вход измеряемого сопротивления в область характеристики срабатывания;

[1] Согласно [175], при асинхронном ходе без потери возбуждения и глубоких синхронных качаниях входное сопротивление в отдельные моменты также может находиться вблизи характеристики, соответствующей потере возбуждения; поэтому расширение характеристики ЗАР требует проверки отстройки и учета выдержки времени

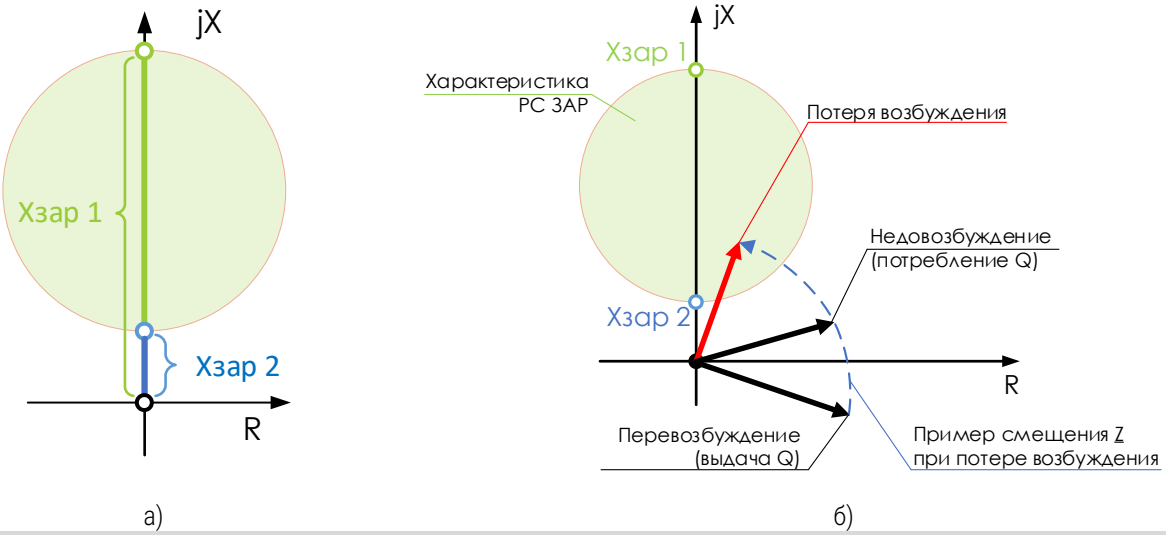
- быть согласована по времени с допустимой продолжительностью асинхронного режима, действием автоматики возбуждения, ЗПП, ЗМН, АВР, ВНР и технологической автоматики.

При выборе уставок следует соблюдать условие:

$$Xзар\ 1 > Xзар\ 2 \quad (5.146)$$

Окончательные значения уставок **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»** следует принимать равными расчетным значениям, приведенным ко вторичным величинам и округленным до допустимой дискретности задания устройства, при условии выполнения требования (5.146) и проверок, приведенных выше.

Условное расположение уставок **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»** на характеристике РС ЗАР, а также пример перемещения рабочей точки измеряемого сопротивления при потере возбуждения СД приведены на рисунке 5.9.



а) б)

Рисунок 5.9. К выбору уставок **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»** характеристики РС ЗАР:
а – характеристика срабатывания РС ЗАР;
б – пример годографа измеряемого сопротивления при потере возбуждения СД

5.11.5 Расчет уставок ЗАР по току

В настоящем подразделе рассматривается выбор уставки по току алгоритма **«ЗАР»** при работе пускового органа по увеличению тока статора СД. При работе **«ЗАР»** по характеристике сопротивления уставки **«Хзар 1»** и **«Хзар 2»** следует выбирать по **5.11.4**.

В соответствии с ПУЭ защита СД от асинхронного режима может выполняться с использованием реле, реагирующего на увеличение тока в обмотках статора. Такая защита должна быть отстроена по времени от пускового режима и режима форсировки возбуждения [**100**, п. 5.3.50].

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** токовый орган ЗАР задается уставкой **«Iзар»**. Значение уставки **«Iзар»** следует выбирать по условию отстройки от максимального рабочего тока СД в нормальных и допустимых переходных режимах, не относящихся к асинхронному режиму:

$$I_{зар.отс} = макс\left(k_{отс.раб} \cdot I_{макс.раб}; k_{отс.ном} \cdot I_{ном.сд}\right)\ [А] \quad (5.147)$$

где

$I_{зар.отс}$	А	расчетное значение уставки **«Iзар»** по условию отстройки от максимального рабочего тока СД в нормальных и допустимых переходных режимах
$k_{отс.раб}$	–	коэффициент отстройки от максимального рабочего тока, принимаемый равным 1,1–1,2
$I_{макс.раб}$	А	максимальный рабочий ток СД с учетом допустимой технологической перегрузки
$k_{отс.ном}$	–	коэффициент выбора уставки токового органа ЗАР относительно номинального тока СД, принимаемый равным 1,3–1,4 [**122**]
$I_{ном.сд}$	А	номинальный ток СД

Если при действии форсировки возбуждения возможно допустимое увеличение тока статора, продолжительность которого превышает или сопоставима с выдержкой времени **«Тзар»**, значение $I_{макс.раб}$ следует принимать с учетом указанного тока.

При наличии расчетных данных о токе статора СД в асинхронном режиме следует выполнить проверку чувствительности токового органа ЗАР. Расчетный ток статора при асинхронном режиме следует определять для наиболее неблагоприятного расчетного режима. При отсутствии более точных расчетов максимальное значение тока статора при асинхронном ходе допускается предварительно определять по расчетной схеме на рисунке 5.7 как ток, соответствующий расчетному случаю, при котором угол δ между вектором переходной ЭДС СД и вектором напряжения питающей системы принимается равным 180°. Указанное значение соответствует приближенной оценке максимума тока в цикле асинхронного хода и должно уточняться по расчетам переходных процессов, моделированию или осциллограммам при их наличии [155, 158]:

$$I_{АР.макс} = \frac{(E'_{сд} + U_c) \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot (X'_d + X_{внеш})} \text{ [А]} \quad (5.148)$$

где

$I_{АР.макс}$	А	максимальное расчетное значение тока статора СД при асинхронном ходе
$E'_{сд}$	кВ	расчетное линейное значение переходной ЭДС СД, приведенное к ступени напряжения места установки защиты
U_c	кВ	расчетное линейное значение напряжения питающей системы, приведенное к ступени напряжения места установки защиты
X'_d	Ом	переходное реактивное сопротивление СД по оси d
$X_{внеш}$	Ом	внешнее реактивное сопротивление от места установки защиты до эквивалентной питающей системы, приведенное к ступени напряжения места установки защиты

Формула (5.148) соответствует расчету максимального тока при угле между переходной ЭДС синхронной машины и напряжением питающей системы, близком к 180°. При наличии расчетных годографов, результатов моделирования или осциллограмм значение $I_{АР.макс}$ следует уточнять по ним.

Наибольшее допустимое значение уставки **«Iзар»** по условию чувствительности следует определять по формуле:

$$I_{зар.ч} = \frac{I_{АР.макс}}{k_{ч.зар}} \text{ [А]} \quad (5.149)$$

где

$I_{зар.ч}$	А	наибольшее допустимое значение уставки **«Iзар»** по условию обеспечения требуемой чувствительности
$k_{ч.зар}$	–	требуемый коэффициент чувствительности токового органа ЗАР

Формула (5.149) дает проверку возможности пуска токового органа вблизи максимума тока, но не гарантирует, что при биениях тока будет обеспечен полный отсчет выдержки времени **«Тзар»**. Если в течение цикла асинхронного хода ток статора снижается ниже уставки **«Iзар»**, надежность действия ЗАР следует оценивать с учетом длительности интервалов превышения уставки и задержки возврата выдержки времени **«Тзар возвр.»**.

Выбранное значение уставки **«Iзар»** должно удовлетворять условию:

$$I_{зар.отс} \le Iзар \le I_{зар.ч} \text{ [А]} \quad (5.150)$$

где

Iзар	А	выбранное значение уставки **«Iзар»**

При отсутствии расчетных данных о токе статора СД в асинхронном режиме на стадии предварительного расчета значение уставки **«Iзар»** допускается принимать:

$$Iзар = I_{зар.отс} \text{ [А]} \quad (5.151)$$

Расчетное значение уставки **«Iзар»**, определенное в первичных величинах, перед заданием в устройстве следует привести ко вторичным величинам в соответствии с 2.1.

Окончательное значение уставки **«Iзар»** следует принимать не менее значения, определенного по условию отстройки от максимального рабочего тока СД по формуле (5.147), и не более значения, определенного по условию чувствительности по формуле (5.149).

Если условие (5.150) не выполняется, применение токового органа ЗАР в качестве способа выявления асинхронного режима должно быть дополнительно обосновано. В этом случае предпочтительным является выявление асинхронного режима по характеристике сопротивления по 5.11.4 либо уточнение уставки **«Iзар»** совместно с выбором выдержек времени по 5.11.6.

5.11.6 Расчет выдержек времени ЗАР

Уставка **«Тзар»** определяет выдержку времени от пуска алгоритма **«ЗАР»** до формирования выходного сигнала ЗАР. Пуск алгоритма может выполняться при попадании измеряемого сопротивления в характеристику срабатывания по 5.11.4 либо при превышении током статора уставки **«Iзар»** по 5.11.5.

Уставка **«Тзар возвр.»** определяет задержку возврата выдержки времени ЗАР при исчезновении условий пуска. Указанная задержка применяется для предотвращения сброса выдержки времени **«Тзар»** при кратковременном исчезновении пуска ЗАР, в том числе при биениях тока или периодическом изменении измеряемого сопротивления в асинхронном режиме.

В соответствии с ПУЭ защита СД от асинхронного режима, выполняемая с использованием реле, реагирующего на увеличение тока в обмотках статора, должна быть отстроена по времени от пускового режима и тока при действии форсировки возбуждения. При выполнении схемы защиты должны приниматься меры по предотвращению отказа защиты при биениях тока асинхронного режима [100, п. 5.3.50].

В соответствии с ПУЭ защита СД от асинхронного режима должна действовать с выдержкой времени на одну из схем, предусматривающих ресинхронизацию, ресинхронизацию с автоматической кратковременной разгрузкой механизма до втягивания в синхронизм, отключение с последующим автоматическим повторным пуском либо отключение при невозможности разгрузки или ресинхронизации [100, п. 5.3.51].

Значение уставки **«Тзар»** следует выбирать с учетом:

- принятого действия ЗАР: сигнализация, отключение, разгрузка, пуск ресинхронизации или иное воздействие;
- допустимого времени пребывания СД в асинхронном режиме по условиям термической стойкости, устойчивости, технологического процесса и безопасности;
- отстройки от пускового режима и допустимой форсировки возбуждения;
- возможности пуска ЗАР при пуске или самозапуске СД, если такие режимы предусматриваются и не обеспечивается вывод ЗАР на время указанных режимов;
- согласования с действием ЗПП, ЗМН, АВР, ВНР, автоматикой возбуждения и технологической автоматикой;
- времени отключения выключателя или времени выполнения иного воздействия, инициируемого ЗАР.

На стадии предварительного расчета значение уставки **«Тзар»** при работе ЗАР по сопротивлению допускается принимать из диапазона:

$$Тзар = 1{,}0–2{,}0 \ [с] \quad (5.152)$$

Указанный диапазон следует рассматривать как ориентировочный. Принятие значения уставки **«Тзар»** менее 1,0 с должно быть обосновано расчетами переходных процессов, моделированием, осциллограммами или результатами пусконаладочных работ, подтверждающими отсутствие излишнего действия ЗАР в допустимых режимах.

На стадии предварительного расчета значение уставки **«Тзар»** при работе ЗАР по току допускается принимать из диапазона:

$$Тзар = 4{,}0–5{,}0 \ [с] \quad (5.153)$$

Указанный диапазон следует рассматривать как ориентировочный для токовой защиты СД от асинхронного режима, реагирующей на увеличение тока статора. Принятое значение уставки **«Тзар»** должно быть проверено по условиям отстройки от пускового режима и допустимой форсировки возбуждения, а также по допустимому времени пребывания СД в асинхронном режиме [122].

При необходимости повышения устойчивости ЗАР к кратковременным допустимым переходным режимам, синхронным качаниям, пусковому режиму или форсировке возбуждения значение уставки **«Тзар»** следует принимать ближе к верхней границе соответствующего диапазона.

Если длительность пуска или самозапуска СД превышает максимальное значение уставки **«Тзар»** либо не обеспечивает требуемую отстройку ЗАР по времени, предотвращение излишнего действия ЗАР в указанных режимах должно обеспечиваться выводом ЗАР на время соответствующего режима. При наличии форсировки возбуждения, сопровождающейся увеличением тока статора и возможным пуском ЗАР, должен предусматриваться вывод ЗАР на время действия форсировки возбуждения.

Значение уставки **«Тзар возвр.»** следует выбирать по условию предотвращения сброса выдержки времени **«Тзар»** при кратковременном исчезновении пуска ЗАР в течение асинхронного режима.

При работе ЗАР по сопротивлению на стадии предварительного расчета значение уставки **«Тзар возвр.»** допускается принимать из диапазона:

$$\text{Тзар возвр.}=0{,}5–1{,}0\ [\text{с}] \tag{5.154}$$

При работе ЗАР по току на стадии предварительного расчета значение уставки **«Тзар возвр.»** допускается принимать из диапазона:

$$\text{Тзар возвр.}=1{,}5–2{,}0\ [\text{с}] \tag{5.155}$$

Указанный диапазон следует рассматривать как ориентировочный для токовой защиты СД от асинхронного режима при выпадении из синхронизма возбужденного СД. При наличии расчетных данных о скольжении СД в асинхронном режиме, моделирования или осциллограмм значение уставки **«Тзар возвр.»** следует уточнять по длительности интервалов, в течение которых ток статора снижается ниже уставки **«Iзар»** [122].

При работе ЗАР по току следует учитывать, что ток статора при асинхронном режиме изменяется периодически и может иметь выраженные максимальные и минимальные значения в течение цикла асинхронного хода. Если в течение цикла асинхронного хода ток статора снижается ниже уставки **«Iзар»** на время, превышающее **«Тзар возвр.»**, надежность действия ЗАР должна быть дополнительно проверена.

Если расчетное значение задержки возврата, необходимое для предотвращения сброса выдержки времени **«Тзар»** при биениях тока, превышает допустимый диапазон задания уставки **«Тзар возвр.»**, применение токового органа ЗАР в качестве самостоятельного способа выявления асинхронного режима должно быть дополнительно обосновано. В этом случае следует рассмотреть применение ЗАР по сопротивлению либо вывод ЗАР на время пуска, повторного автоматического пуска, самозапуска или форсировки возбуждения, если указанные режимы могут приводить к излишнему действию ЗАР.

Окончательное значение уставки **«Тзар»** следует принимать с учетом принятого способа выявления асинхронного режима, действия ЗАР, условий отстройки от допустимых переходных режимов и допустимого времени пребывания СД в асинхронном режиме.

Окончательное значение уставки **«Тзар возвр.»** следует принимать достаточным для предотвращения сброса выдержки времени **«Тзар»** при биениях измеряемой величины в асинхронном режиме, но не приводящим к недопустимому сохранению пуска ЗАР после прекращения асинхронного режима или исчезновения условий срабатывания измерительного органа.

5.11.7 Расчет уставок ЗАРг

В настоящем подразделе рассматривается выбор уставок алгоритма **«ЗАРг»**, предназначенного для выявления асинхронного режима возбужденной СМ без потери возбуждения. Алгоритм **«ЗАРг»** реализован в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** и должен рассматриваться отдельно от алгоритма **«ЗАР»**.

Алгоритм **«ЗАР»** относится к выявлению асинхронного режима, связанного с потерей возбуждения, и при применении устройства на генераторном присоединении не должен заменяться алгоритмом **«ЗАРг»**. При необходимости защиты генератора как от потери возбуждения, так и от асинхронного хода без потери возбуждения указанные функции должны рассматриваться совместно, но с раздельным выбором уставок.

Алгоритм **«ЗАРг»** может применяться для СГ, работающего в составе блока генератор – трансформатор или иной схемы связи с энергосистемой. При применении алгоритма для СД расчет уставок должен выполняться по фактической схеме связи СД с питающей системой; понижающий трансформатор ГПП, цеховой трансформатор, линия или кабельная связь

должны учитываться как элементы внешней сети, если они расположены между местом установки защиты и питающей системой.

Принцип работы алгоритма **«ЗАРг»** основан на контроле годографа измеряемого комплексного сопротивления прямой последовательности Z1 и подсчете циклов асинхронного хода.

Характерные варианты генераторных присоединений, учитываемые при выборе уставок ЗАРг, приведены на рисунке 5.10.

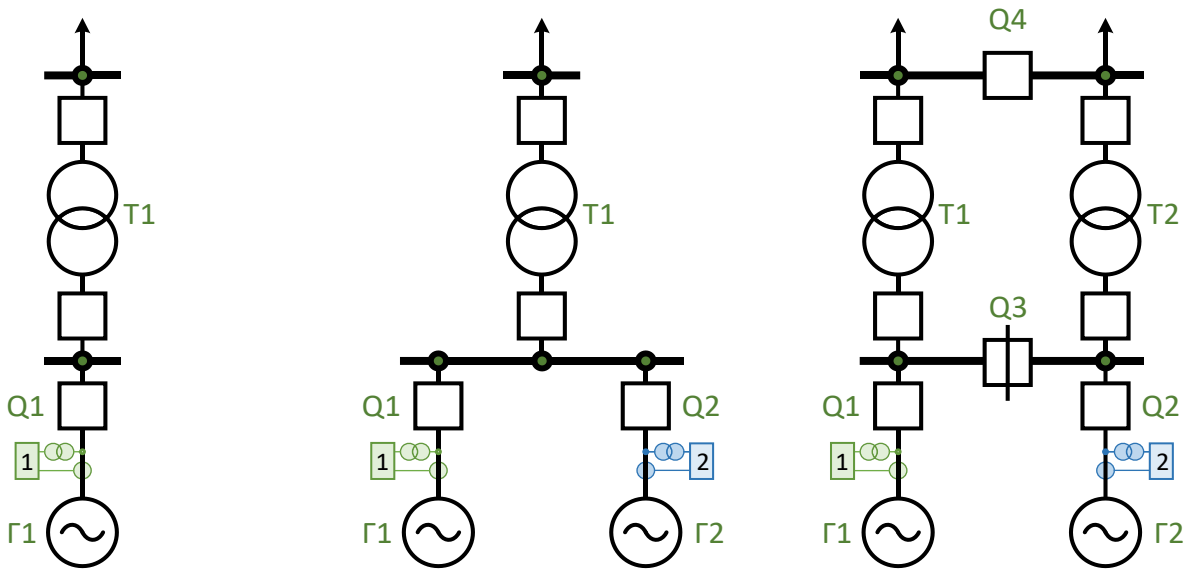


Рисунок 5.10. Варианты генераторных присоединений, учитываемые при выборе уставок ЗАРг: а) блок генератор – трансформатор; б) генераторы, работающие на общие шины и один трансформатор; в) два блока генератор – трансформатор, объединенные по стороне ВН.
1, 2 – места установки защит; Q1–Q4 – выключатели; T1, T2 – блочные трансформаторы

Рисунок 5.10 приведен для пояснения выбора уставок ЗАРг при генераторном применении алгоритма. Для СД указанный рисунок не является типовой схемой присоединения; при расчете уставок для СД следует использовать расчетную схему по рисунку 5.7 и фактическое место установки измерительных ТТ и ТН.

Уставки **«Фмч1 зона1»**, **«Zзар1 зона1»** и **«Zзар2 зона1»** задают первую круговую характеристику ЗАРг. Уставка **«Фмч1 зона1»** определяет угол максимальной чувствительности зоны 1. Уставка **«Zзар1 зона1»** задает дальнюю точку круговой характеристики зоны 1 на угле максимальной чувствительности, а уставка **«Zзар2 зона1»** — ближнюю точку указанной характеристики.

Уставки **«Фмч1 зона2»**, **«Zзар1 зона2»** и **«Zзар2 зона2»** задают вторую круговую характеристику ЗАРг. Уставка **«Фмч1 зона2»** определяет угол максимальной чувствительности зоны 2. Уставка **«Zзар1 зона2»** задает дальнюю точку круговой характеристики зоны 2 на угле максимальной чувствительности, а уставка **«Zзар2 зона2»** — ближнюю точку указанной характеристики

Зона 1 задает область контроля асинхронного режима, а зона 2 используется для разделения случаев расположения ЭЦК. Если годограф измеряемого сопротивления Z1 входит в зону 1 без предварительного входа в зону 2, ЭЦК определяется со стороны энергосистемы. Если годограф Z1 сначала входит в зону 2, а затем в зону 1, ЭЦК определяется со стороны СМ относительно места установки защиты.

Уставка **«Ффазы»** задает угол фазочувствительного органа ЗАРг. Указанный орган определяет направление вращения годографа измеряемого сопротивления прямой последовательности Z1 и полуплоскость комплексной плоскости сопротивлений, в которой разрешается работа ЗАРг.

Характеристика срабатывания ЗАРг на комплексной плоскости сопротивлений условно показана на рисунке 5.11. Рисунок приведен для пояснения способа задания уставок **«Фмч1 зона1»**, **«Zзар1 зона1»**, **«Zзар2 зона1»**, **«Фмч1 зона2»**, **«Zзар1 зона2»**, **«Zзар2 зона2»** и **«Ффазы»**.

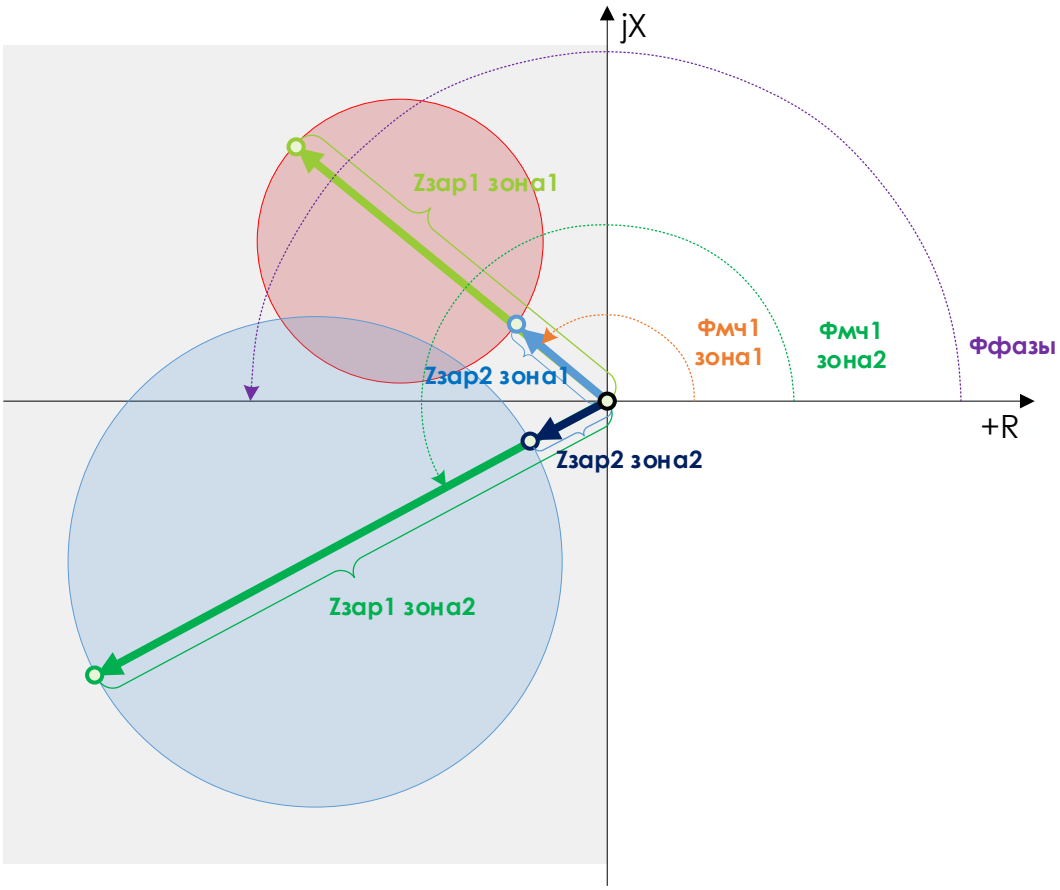


Рисунок 5.11. Характеристика срабатывания ЗАРг на комплексной плоскости сопротивлений

5.11.7.1 Расчет уставок сопротивления зоны 1

При применении алгоритма **«ЗАРг»** на генераторном присоединении расчет уставок зоны 1 следует выполнять по фактической схеме связи СГ с энергосистемой и месту установки измерительных ТТ и ТН. Для вариантов генераторных присоединений, приведенных на рисунке 5.10, расчетные сопротивления должны приниматься с учетом сопротивления блочного трансформатора, линии или иного элемента связи и эквивалентного сопротивления энергосистемы.

Значение уставки **«Zзар1 зона1»** для схемы блока генератор – трансформатор следует выбирать равной сопротивлению элементов, расположенных между защищаемой СМ и энергосистемой [28]:

$$Z_{зар1\ зона1} = X_т + X_с\ [Ом] \quad (5.156)$$

где

$X_т$ Ом реактивное сопротивление трансформатора

$X_с$ Ом эквивалентное реактивное сопротивление энергосистемы

Если между трансформатором и эквивалентной энергосистемой отдельно учитывается линия, кабельная линия или иной элемент связи, значение уставки **«Zзар1 зона1»** следует определять по формуле:

$$Z_{зар1\ зона1} = X_т + X_л + X_с\ [Ом] \quad (5.157)$$

где

$X_л$ Ом реактивное сопротивление линии, кабельной линии или иного элемента связи с энергосистемой

В зависимости от защищаемой СМ под $X_т$ следует понимать реактивное сопротивление блочного, повышающего, понижающего, цехового или иного трансформатора, расположенного между местом установки защиты и эквивалентной энергосистемой или питающей системой. Если трансформатор в расчетной схеме отсутствует, значение $X_т$ следует принимать равным нулю.

Для схемы с двумя генераторами, работающими на общие шины генераторного напряжения и один трансформатор, приведенной на рисунке 5.10, б), значение уставки **«Zзар1 зона1»** следует определять по расчетной схеме с учетом эквивалентного сопротивления общей связи с энергосистемой. На стадии предварительного расчета для одинаковых генераторов и симметричной схемы допускается принимать:

$$Z_{зар1\ зона1} = 2 \cdot (X_т + X_с)\ [Ом] \quad (5.158)$$

При отдельном учете линии или иного элемента связи:

$$Z_{зар1\ зона1} = 2 \cdot (X_т + X_л + X_с)\ [Ом] \quad (5.159)$$

Для схемы двух блоков генератор – трансформатор, объединенных по стороне ВН, приведенной на рисунке 5.10, в), значение уставки **«Zзар1 зона1»** для каждой защиты следует выбирать по сопротивлению связи соответствующего генератора с энергосистемой через соответствующий трансформатор и внешнюю сеть по формулам (5.156) и (5.157).

Значение уставки **«Zзар2 зона1»** следует выбирать по переходному реактивному сопротивлению защищаемой СМ [28]:

$$Z_{зар2\ зона1} = X'_d\ [Ом] \quad (5.160)$$

где

X'_d	Ом	переходное реактивное сопротивление защищаемой СМ по оси d

При применении алгоритма **«ЗАРг»** для СД формулы (5.156)–(5.160) следует использовать только после приведения расчетной схемы СД к аналогичной схеме связи с энергосистемой. Понижающий трансформатор ГПП, цеховой трансформатор, кабельная линия или иной элемент связи должны учитываться как элементы внешней сети, если они расположены между местом установки защиты и эквивалентной питающей системой. При невозможности однозначного выделения $X_т$, $X_л$ и $X_с$ уставки **«Zзар1 зона1»** и **«Zзар2 зона1»** должны уточняться по расчетной схеме замещения и годографам измеряемого сопротивления.

Значение уставки **«Фмч1 зона1»** следует выбирать таким образом, чтобы угол максимальной чувствительности зоны 1 соответствовал направлению характеристики, задаваемой уставками **«Zзар1 зона1»** и **«Zзар2 зона1»**. При преобладании индуктивных сопротивлений в цепи связи СМ с энергосистемой или питающей системой типовые значения угла максимальной чувствительности находятся в диапазоне [28]:

$$Ф_{мч1\ зона1} = (60 - 90)\ [град] \quad (5.161)$$

Расчетные значения уставок **«Zзар1 зона1»** и **«Zзар2 зона1»**, определенные в первичных величинах, перед заданием в устройстве следует привести ко вторичным величинам по формуле (5.141).

5.11.7.2 Расчет уставок сопротивления зоны 2

При применении алгоритма **«ЗАРг»** на генераторном присоединении расчет уставок зоны 2 следует выполнять по фактической схеме связи СГ с энергосистемой и месту установки измерительных ТТ и ТН. Для вариантов генераторных присоединений, приведенных на рисунке 5.10, расчетные сопротивления должны приниматься с учетом параметров защищаемой СГ, сопротивления трансформатора и принятого положительного направления отсчета токов и напряжений.

Значение уставки **«Zзар1 зона2»** следует выбирать по синхронному реактивному сопротивлению защищаемой СМ [28]:

$$Z_{зар1\ зона2} = 1{,}2 \cdot X_d\ [Ом] \quad (5.162)$$

где

X_d	Ом	синхронное реактивное сопротивление защищаемой СМ по оси d

Коэффициент 1,2 учитывает запас при выборе верхней точки характеристики зоны 2 и соответствует расчетному подходу, применяемому для выявления асинхронного режима возбужденной СМ без потери возбуждения.

Значение уставки **«Zзар2 зона2»** следует выбирать по реактивному сопротивлению трансформатора, входящего в цепь связи СМ с энергосистемой или питающей системой [28]:

$$Z_{зар2\ зона2} = X_т\ [Ом] \quad (5.163)$$

где

$X_т$	Ом	реактивное сопротивление трансформатора, входящего в цепь связи СМ с энергосистемой или питающей системой

В зависимости от защищаемой СМ под $X_т$ следует понимать реактивное сопротивление блочного, повышающего, понижающего, цехового или иного трансформатора, расположенного между местом установки защиты и эквивалентной энергосистемой или питающей системой. Если трансформатор в расчетной схеме отсутствует, значение $X_т$ следует принимать равным нулю.

Для схемы блока генератор – трансформатор, приведенной на рисунке 5.10, а), значение уставки **«Zзар2 зона2»** следует принимать равным реактивному сопротивлению блочного трансформатора.

Для схемы с двумя генераторами, работающими на общие шины генераторного напряжения и один трансформатор, приведенной на рисунке 5.10, б), значение уставки **«Zзар2 зона2»** следует определять по расчетной схеме с учетом эквивалентного сопротивления общей трансформаторной связи с энергосистемой.

Для схемы двух блоков генератор – трансформатор, объединенных по стороне ВН, приведенной на рисунке 5.10, в), значение уставки **«Zзар2 зона2»** для каждой защиты следует принимать равным реактивному сопротивлению соответствующего блочного трансформатора.

При применении алгоритма **«ЗАРг»** для СД формулы (5.162) и (5.163) следует использовать после приведения расчетной схемы СД к схеме связи с питающей системой. В этом случае X_d принимается по параметрам защищаемого СД, а $X_т$ — по трансформатору, расположенному между местом установки защиты и энергосистемой. Если схема присоединения СД не соответствует типовым вариантам по рисунку 5.10, уставки **«Zзар1 зона2»** и **«Zзар2 зона2»** должны уточняться по расчетной схеме замещения и годографам измеряемого сопротивления.

Значение уставки **«Фмч1 зона2»** следует выбирать таким образом, чтобы угол максимальной чувствительности зоны 2 соответствовал направлению характеристики, задаваемой уставками **«Zзар1 зона2»** и **«Zзар2 зона2»**. Для преимущественно реактивной схемы связи СМ с энергосистемой или питающей системой, а также при расположении ЭЦК со стороны СМ относительно места установки защиты, значение уставки **«Фмч1 зона2»** допускается принимать равным [28]:

$$Фмч1\ зона2=270\ [град] \quad (5.164)$$

Расчетные значения уставок **«Zзар1 зона2»** и **«Zзар2 зона2»**, определенные в первичных величинах, перед заданием в устройстве следует привести ко вторичным величинам по формуле (5.141).

5.11.7.3 Выбор уставки «Ффазы»

Уставка **«Ффазы»** соответствует углу фазочувствительного органа ЗАРг. В логике устройства данная уставка задает направление вращения характеристики измеряемого сопротивления прямой последовательности Z1 и полуплоскость комплексной плоскости сопротивлений, в которой разрешается работа защиты.

Значение уставки **«Ффазы»** следует выбирать по условию правильного определения направления вращения годографа Z1 при асинхронном режиме возбужденной СМ без потери возбуждения. При выборе уставки должны учитываться:

- назначение присоединения — СГ или СД;
- принятое положительное направление токов и напряжений в устройствах **«Алтей-БЗП»** или **«Алтей-БЗП2»** и фактическая схема измерительных цепей ТТ и ТН;
- расположение характеристик зоны 1 и зоны 2 на комплексной плоскости сопротивлений;
- направление расчетного перемещения годографа Z1 при асинхронном режиме.

На стадии предварительного выбора уставки **«Ффазы»** для генераторного присоединения допускается принимать:

$$Ффазы=180\ [град] \quad (5.165)$$

Для двигательного присоединения:

$$Ффазы=0\ [град] \quad (5.166)$$

Указанные значения являются предварительными и соответствуют противоположной ориентации рабочей полуплоскости защиты для генераторного и двигательного присоединений. Окончательное значение уставки **«Ффазы»** следует принимать по результатам проверки расчетных годографов измеряемого сопротивления прямой последовательности Z1 с учетом фактической схемы цепей ТТ и ТН.

5.11.7.4 Выбор уставок «ЗАР г счет 1» и «ЗАР г счет 2»

Уставки **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»** задают число циклов асинхронного хода, при достижении которого формируется условие действия первой и второй ступеней ЗАРг соответственно. Формирование выходного сигнала соответствующей ступени выполняется с учетом выдержек времени **«Тзар г 1»** и **«Тзар г 2»**.

Раздельный выбор уставок **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»** необходим для селективного действия ЗАРг при различном расчетном расположении ЭЦК[1]. При расположении ЭЦК на участке между местом установки защиты и защищаемой СМ асинхронный режим относится непосредственно к защищаемому объекту, поэтому действие ЗАРг должно выполняться с меньшим числом циклов асинхронного хода. При расположении ЭЦК на линии связи с энергосистемой или в прилегающей части энергосистемы действие ЗАРг должно согласовываться с устройствами противоаварийной автоматики, поэтому уставку по числу циклов асинхронного хода следует, как правило, принимать большей. Уставки **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»** не выбираются по признаку вида защищаемой СМ — СГ или СД. Их выбор определяется расчетным расположением ЭЦК относительно места установки защиты и требуемой селективностью действия ЗАРг. При применении алгоритма для СД указанные условия следует трактовать относительно защищаемого СД и питающей системы с учетом фактического включения измерительных цепей.

Число циклов асинхронного хода, после которого формируется действие ЗАРг, задается уставками:

- **«ЗАР г счет 1»** — уставка по числу циклов асинхронного хода при расположении ЭЦК на участке между местом установки защиты и защищаемой СМ, в том числе в блоке СМ–трансформатор, то есть «за спиной» защиты;
- **«ЗАР г счет 2»** — уставка по числу циклов асинхронного хода при расположении ЭЦК на линии связи с энергосистемой или в прилегающей части энергосистемы относительно места установки защиты.

Значение уставки **«ЗАР г счет 1»** следует выбирать по условию допустимого времени пребывания СМ в асинхронном режиме при расположении ЭЦК на участке между местом установки защиты и защищаемой СМ, а также с учетом согласования с устройствами противоаварийной автоматики прилегающей части энергосистемы. Для генераторного присоединения такой режим соответствует выпадению из синхронизма защищаемого СГ или блока генератор–трансформатор относительно остальной части энергосистемы. Для двигательного присоединения указанное условие следует трактовать аналогично — по расчетному расположению ЭЦК относительно места установки защиты и защищаемого СД.

Для обеспечения быстрого действия ЗАРг при расположении ЭЦК на участке между местом установки защиты и защищаемой СМ на стадии предварительного расчета допускается принимать [28]:

$$\text{ЗАР г счет } 1 \leq 3 \tag{5.167}$$

Значение уставки **«ЗАР г счет 2»** следует выбирать по условию селективного действия ЗАРг при расположении ЭЦК на линии связи с энергосистемой или в прилегающей части энергосистемы. На стадии предварительного расчета допускается принимать [28]:

$$\text{ЗАР г счет } 2 \leq 5 \tag{5.168}$$

При этом для обеспечения селективности значение уставки **«ЗАР г счет 2»** следует, как правило, принимать больше значения уставки **«ЗАР г счет 1»** [28]:

$$\text{ЗАР г счет } 2 > \text{ЗАР г счет } 1 \tag{5.169}$$

Если по условиям устойчивости энергосистемы, допустимости асинхронного режима или требований противоаварийной автоматики требуется более быстрое действие второй ступени ЗАРг, значение уставки **«ЗАР г счет 2»** допускается уменьшать при условии сохранения селективности и правильного разделения случаев расположения ЭЦК.

Для ориентировочной оценки времени формирования сигнала соответствующей ступени ЗАРг допускается использовать формулы:

$$t_{\text{ЗАРг1.расч}} = \text{ЗАР г счет } 1 \cdot \tau_{\text{АР}} + \text{Тзар г 1 [с]} \tag{5.170}$$

$$t_{\text{ЗАРг2.расч}} = \text{ЗАР г счет } 2 \cdot \tau_{\text{АР}} + \text{Тзар г 2 [с]} \tag{5.171}$$

[1] В соответствии с ГОСТ Р 55105-2019 под электрическим центром качаний (ЭЦК) следует понимать точку электрической сети, напряжение в которой при асинхронном режиме снижается до нуля [47, п. 3.27]

где

$t_{ЗАРг1.расч}$ с ориентировочное время формирования сигнала первой ступени ЗАРг

$t_{ЗАРг2.расч}$ с ориентировочное время формирования сигнала второй ступени ЗАРг

$\tau_{АР}$ с расчетный период одного цикла асинхронного хода, определенный по формуле (5.140)

$Тзар\ г\ 1$ с значение уставки задержки срабатывания первой ступени ЗАРг **«Тзар г 1»**

$Тзар\ г\ 2$ с значение уставки задержки срабатывания второй ступени ЗАРг **«Тзар г 2»**

Значения, определенные по формулам (5.170) и (5.171), не являются полным временем отключения СМ или выполнения управляющего воздействия на деление энергосистемы. Полное время ликвидации асинхронного режима должно дополнительно учитывать время действия выходных реле и время отключения выключателя.

При выборе уставок **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»** для генераторного присоединения следует учитывать действие устройств противоаварийной автоматики прилегающей части энергосистемы, в том числе устройств АЛАР. Действие устройств ПА может обеспечить ликвидацию асинхронного режима до формирования действия ЗАРг, поэтому окончательные значения уставок **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»** должны приниматься с учетом согласования с указанными устройствами. При этом для устройств АЛАР, установленных на генерирующем оборудовании, управляющее воздействие на отключение генераторов должно выдаваться до начала второго цикла асинхронного режима [47, п. 6.3.18].

Окончательные значения уставок **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»** следует принимать с учетом расчетного расположения ЭЦК, допустимого числа циклов асинхронного хода, механической допустимости режима для защищаемой СМ и согласования с устройствами противоаварийной автоматики прилегающей части энергосистемы.

5.11.7.5 Выбор выдержек времени ЗАРг

Уставки **«Тзар г 1»** и **«Тзар г 2»** задают задержки срабатывания первой и второй ступеней ЗАРг соответственно. Указанные выдержки отсчитываются после выполнения условий действия соответствующей ступени ЗАРг, в том числе после достижения заданного числа циклов асинхронного хода по уставкам **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»**.

Уставки **«Тзар г 1»** и **«Тзар г 2»** не являются полным временем ликвидации асинхронного режима. Время формирования выходного сигнала соответствующей ступени ЗАРг следует определять с учетом числа циклов асинхронного хода по 5.11.7.4, периода цикла асинхронного хода по формуле (5.140), выдержек времени ступеней ЗАРг, времени действия выходных реле, времени отключения выключателя или выполнения иного управляющего воздействия.

На стадии предварительного расчета значения уставок **«Тзар г 1»** и **«Тзар г 2»** допускается принимать равными:

$$Тзар\ г\ 1 = 0{,}02\ [с] \quad (5.172)$$

$$Тзар\ г\ 2 = 0{,}02\ [с] \quad (5.173)$$

При необходимости повышения быстродействия ЗАРг значения уставок **«Тзар г 1»** и **«Тзар г 2»** допускается принимать равными 0,01 с при условии проверки отсутствия излишнего действия ЗАРг при допустимых синхронных качаниях, кратковременных переходных режимах и расчетном перемещении годографа Z1 вблизи границ характеристик зоны 1 и зоны 2.

Уставка **«Тзар г возв»** задает задержку возврата всех ступеней ЗАРг при исчезновении условий их действия. Значение уставки **«Тзар г возв»** следует выбирать по условию предотвращения возврата ступеней ЗАРг в интервалах между последовательными циклами асинхронного хода:

$$Тзар\ г\ возв = k_{возвр.ЗАРг} \cdot \tau_{АР}[с] \quad (5.174)$$

где

$k_{возвр.ЗАРг}$ – коэффициент запаса по времени, принимаемый равным 1,1–1,3

$\tau_{АР}$ с расчетный период одного цикла асинхронного хода, определенный по формуле (5.140)

При отсутствии достоверных данных о скольжении СМ в асинхронном режиме на стадии предварительного расчета допускается принимать:

$$Тзар\ г\ возв = 0{,}5 - 1{,}0[с] \quad (5.175)$$

Уставки **«Тзар 1 возв»** и **«Тзар 2 возв»** задают задержки возврата сигналов первой и второй ступеней ЗАРг соответственно. Указанные выдержки задают длительность сохранения соответствующих сигналов после прекращения условий их действия.

Если дополнительное удержание сигналов первой и второй ступеней ЗАРг не требуется, на стадии предварительного расчета допускается принимать:

$$Тзар\ 1\ возв=0\ [с] \quad (5.176)$$

$$Тзар\ 2\ возв=0\ [с] \quad (5.177)$$

Окончательные значения уставок **«Тзар г 1»**, **«Тзар г 2»**, **«Тзар г возв»**, **«Тзар 1 возв»** и **«Тзар 2 возв»** следует принимать с учетом выбранных значений уставок **«ЗАР г счет 1»** и **«ЗАР г счет 2»**, периода цикла асинхронного хода, требуемого быстродействия ЗАРг, допустимого времени пребывания СМ в асинхронном режиме, механической допустимости режима, требований проектной логики и согласования с устройствами противоаварийной автоматики прилегающей части энергосистемы.

5.11.7.6 Выбор уставок контроля недовозбуждения и режима включения СМ

Уставка **«Тнедовозб»** задает задержку срабатывания контроля недовозбуждения генератора. Указанная уставка относится к генераторному применению алгоритма ЗАРг и должна выбираться по условию отстройки от кратковременных допустимых режимов недовозбуждения генератора, а также от переходных процессов в системе возбуждения, не требующих действия ЗАРг.

Значение уставки **«Тнедовозб»** следует выбирать по условию:

$$Тнедовозб > t_{кратк.недовозб}[с] \quad (5.178)$$

где

$t_{кратк.недовозб}$ с наибольшая длительность кратковременного допустимого режима недовозбуждения генератора или переходного режима системы возбуждения, не требующего действия ЗАРг с учетом необходимого запаса по времени

На стадии предварительного расчета при отсутствии достоверных данных о длительности кратковременных допустимых режимов недовозбуждения допускается принимать:

$$Тнедовозб=5\ [с] \quad (5.179)$$

Окончательное значение уставки **«Тнедовозб»** следует принимать с учетом допустимых режимов работы генератора по реактивной мощности, характеристик системы возбуждения, действия ограничителей минимального возбуждения и согласования с устройствами противоаварийной автоматики прилегающей части энергосистемы.

Уставка **«Тзадержки РПО»** задает задержку, используемую в логике ЗАРг после включения выключателя присоединения СМ и исчезновения сигнала РПО. Указанная уставка предназначена для предотвращения излишнего действия ЗАРг в начальном интервале после включения СМ, в том числе при пуске СД, а также при включении выключателя генераторного присоединения СГ, в том числе при включении СГ на параллельную работу с энергосистемой. Значение уставки **«Тзадержки РПО»** следует выбирать по условию отстройки от начального интервала после включения СМ:

$$Тзадержки\ РПО > t_{пер.РПО}[с] \quad (5.180)$$

где

$t_{пер.РПО}$ с расчетная длительность начального интервала после включения выключателя присоединения СМ, в течение которого возможен кратковременный вход годографа Z1 в область характеристик зоны 1 или зоны 2 по причинам, не связанным с асинхронным режимом СМ

На стадии предварительного расчета при отсутствии достоверных данных о длительности начального интервала после включения СМ допускается принимать:

$$Тзадержки\ РПО=0{,}5\ [с] \quad (5.181)$$

5.11.7.7 Выбор уставок токового контроля ЗАРг

Уставка **«I1 зар»** задает ток срабатывания токового органа симметричной перегрузки, используемого в алгоритме **«ЗАРг»**. Уставка **«Тзар I1 возв»** задает задержку возврата пуска указанного токового органа при снижении измеряемого тока ниже тока возврата.

Токовый контроль ЗАРг следует рассматривать как дополнительный контрольный признак режима, сопровождающего асинхронный ход возбужденной СМ, а не как самостоятельную замену органам сопротивления ЗАРг. При асинхронном ходе возбужденной СМ ток статора изменяется периодически и может достигать значений, опасных для обмотки статора и элементов ротора; для генератора такой режим также сопровождается значительными уравнительными токами, изменениями электромагнитного момента и отклонениями напряжения [21].

Значение уставки **«I1 зар»** следует выбирать по расчетной логике, принятой для токовой уставки **«Iзар»** алгоритма **«ЗАР»** по **5.11.5**, с учетом параметров защищаемой СМ. При расчете уставки **«I1 зар»** по **5.11.5** в качестве $I_{макс.раб}$ следует принимать максимальный рабочий ток СМ с учетом допустимых режимов нагрузки, регулирования возбуждения и иных режимов, не относящихся к асинхронному режиму.

При наличии расчетных данных о токе СМ в асинхронном режиме значение уставки **«I1 зар»** следует проверить по условию чувствительности по **5.11.5**. Если в течение цикла асинхронного хода контролируемый ток снижается ниже уставки **«I1 зар»**, надежность токового контроля ЗАРг следует оценивать с учетом длительности интервалов снижения тока и задержки возврата **«Тзар I1 возв»**.

Расчетное значение уставки **«I1 зар»**, определенное в первичных величинах, перед заданием в устройстве следует привести ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**.

Значение уставки **«Тзар I1 возв»** следует выбирать по логике, принятой для уставки **«Тзар возвр.»** при работе токового органа ЗАР по **5.11.6**, с учетом того, что в алгоритме ЗАРг указанная выдержка относится к возврату пуска токового контроля по уставке **«I1 зар»**. Значение уставки **«Тзар I1 возв»** следует принимать не менее значения уставки **«Тзар г возв»**. На стадии предварительного расчета допускается принимать:

$$Тзар\ I1\ возв = Тзар\ г\ возв\ [с] \quad (5.182)$$

Указанное условие обеспечивает согласование возврата пуска токового контроля ЗАРг с возвратом ступеней ЗАРг при периодическом изменении контролируемых величин в асинхронном режиме.

При наличии расчетных данных о периодическом изменении контролируемого тока в асинхронном режиме, результатов моделирования или осциллограмм значение уставки **«Тзар I1 возв»** следует уточнять по длительности интервалов снижения тока ниже тока возврата токового органа ЗАРг с учетом необходимого запаса по времени. При отсутствии достоверных данных о периодическом изменении тока в асинхронном режиме и при предварительном выборе **«Тзар г возв»** равной 0,5 с допускается принимать:

$$Тзар\ I1\ возв = 0{,}5\ [с] \quad (5.183)$$

Окончательные значения уставок **«I1 зар»** и **«Тзар I1 возв»** следует принимать с учетом расчетных токов СМ в нормальных, допустимых переходных и асинхронных режимах, выбранных уставок зон ЗАРг и результатов пусконаладочных работ.

5.12 ВНЕШНИЕ ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИЯ ДВИГАТЕЛЯ

5.12.1 Общие сведения

Согласно ПУЭ [**100**, п.5.3.44] на ЭД, имеющих принудительную смазку подшипников, следует устанавливать защиту, действующую на сигнал и отключение при повышении температуры или прекращении действия смазки.

На ЭД, имеющих принудительную вентиляцию, следует устанавливать защиту, действующую на сигнал и отключение при повышении температуры или прекращении действия вентиляции.

Согласно ПУЭ [**100**, п.5.3.45] для ЭД с водяным охлаждением обмоток и активной стали статора, а также с встроенными воздухоохладителями, охлаждаемыми водой, должна предусматриваться защита, действующая на сигнал при уменьшении потока воды ниже заданного значения и на отключение при прекращении потока воды. Кроме того, должна быть предусмотрена сигнализация, действующая при появлении воды в корпусе ЭД.

Контроль повышения температуры ЭД, предусмотренный ПУЭ [**100**, п.5.3.44], в зависимости от принятого проектного решения может выполняться тепловой моделью, защитой от перегрева по температурным датчикам либо внешними технологическими защитами с передачей соответствующего дискретного сигнала в устройство.

Алгоритм **«Внешние защиты и сигнализация двигателя (ВЗ, ВС)»** предназначен для приема внешних дискретных сигналов от технологических защит и устройств контроля систем смазки и охлаждения ЭД, а также для формирования команд отключения и предупредительной сигнализации при возникновении опасных технологических условий. Данный алгоритм реализован в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**. В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** **«ВЗ, ВС»** отсутствует; при необходимости аналогичные функции могут быть реализованы средствами гибкой логики.

Основные параметры алгоритма приведены в таблице 5.20.

Таблица 5.20. Алгоритм «Внешние защиты и сигнализация двигателя (ВЗ, ВС)»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Остановка смазки подшипников	–	–	–	+	+
Остановка воздушного охлаждения	–	–	–	+	+
Остановка водяного охлаждения	–	–	–	+	+
Уменьшение потока воды	–	–	–	+	+
Появление воды в корпусе двигателя	–	–	–	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.21.

Таблица 5.21. Уставки алгоритма «Внешние защиты и сигнализация двигателя (ВЗ, ВС)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Внешние защиты и сигнализация двигателя (ВЗ, ВС)							
Тсп	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания внешней защиты при остановке смазки подшипников
Твозд	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания внешней защиты при остановке воздушного охлаждения
Твод 1	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания внешней защиты при остановке водяного охлаждения
Твод 2	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания сигнализации уменьшения потока воды
Твод 3	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания сигнализации наличия воды в корпусе двигателя

5.12.2 Расчет уставок

Расчет уставок алгоритма выполняется по технологическим условиям, характеристикам внешних датчиков, требованиям завода-изготовителя ЭД и приводимого механизма, а также по требованиям технологического процесса и безопасности.

Пуск соответствующей ступени алгоритма происходит при появлении внешнего дискретного сигнала. При введенном контроле РПВ пуск ступени происходит при одновременном наличии внешнего дискретного сигнала и сигнала включенного положения выключателя. Возврат ступени осуществляется при исчезновении условия пуска соответствующей ступени.

Значения уставок выдержек времени ВЗ, ВС следует выбирать по условию отстройки от кратковременных ложных или неустойчивых сигналов внешних технологических датчиков:

$$T_{i.расч} \geq t_{i.кратк.макс} + \Delta t_i \ [с] \quad (5.184)$$

где

$T_{i.расч}$ с расчетное значение выдержки времени соответствующей ступени

$t_{i.кратк.макс}$ с максимальная длительность кратковременного сигнала внешнего датчика, от которого не должно происходить срабатывание соответствующей ступени

Δt_i с запас по времени, учитывающий погрешности и особенности работы внешних датчиков, промежуточных реле, цепей дискретных входов и технологической автоматики

i – индекс соответствующего технологического сигнала: остановка смазки подшипников, остановка воздушного охлаждения, остановка водяного охлаждения, уменьшение потока воды, появление воды в корпусе ЭД

При выборе выдержек времени внешних защит, действующих на отключение, дополнительно должно выполняться условие:

$$T_{i.расч} \leq t_{i.доп} \ [с] \quad (5.185)$$

где

$t_{i.доп}$ с допустимое время работы ЭД при нарушении соответствующего технологического условия, определяемое по данным завода-изготовителя электродвигателя, приводимого механизма, системы смазки или охлаждения, либо по требованиям технологического процесса и безопасности

Значение уставки **«Тсп»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных ложных сигналов остановки смазки подшипников и по условию обеспечения отключения ЭД до истечения допустимого времени работы без принудительной смазки подшипников.

Значение уставки **«Твозд»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных ложных сигналов остановки воздушного охлаждения и по условию обеспечения отключения ЭД до истечения допустимого времени работы без принудительного воздушного охлаждения.

Значение уставки **«Твод 1»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных ложных сигналов остановки водяного охлаждения и по условию обеспечения отключения ЭД до истечения допустимого времени работы без водяного охлаждения обмоток, активной стали статора или встроенных воздухоохладителей.

Значение уставки **«Твод 2»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных ложных сигналов уменьшения потока воды. Выдержку времени указанной сигнализации следует принимать минимально возможной с учетом устойчивости сигнала внешнего датчика и требований технологического процесса. При отсутствии специальных требований выдержку времени **«Твод 2»** рекомендуется принимать не больше выдержки времени **«Твод 1»**:

$$\text{Твод 2} \leq \text{Твод 1} [\text{с}] \tag{5.186}$$

Значение уставки **«Твод 3»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных ложных сигналов датчика появления воды в корпусе ЭД. Выдержку времени указанной сигнализации следует принимать минимально возможной с учетом устойчивости сигнала внешнего датчика и требований эксплуатации ЭД.

Контроль включенного положения выключателя для внешней защиты при остановке смазки подшипников, остановке воздушного охлаждения, остановке водяного охлаждения, а также для сигнализации уменьшения потока воды следует применять, если действие соответствующей защиты или сигнализации требуется только при включенном выключателе ЭД. Сигнализация появления воды в корпусе ЭД должна действовать независимо от положения выключателя, если иное не предусмотрено требованиями эксплуатирующей организации.

При реализации аналогичных функций в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** средствами гибкой логики значения выдержек времени следует выбирать по приведенным выше условиям.

5.13 ОГРАНИЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПУСКОВ

5.13.1 Общие сведения

Пуск ЭД сопровождается протеканием пускового тока, существенно превышающего номинальный ток двигателя. При редких пусках и продолжительности разгона, не превышающей допустимое значение, тепловое воздействие пускового режима, как правило, не приводит к недопустимому нагреву двигателя. При частых повторных пусках, выполняемых с малыми интервалами между ними, двигатель не успевает охладиться до исходного теплового состояния, вследствие чего возможно накопление избыточного нагрева обмоток статора, ротора и конструктивных элементов двигателя и снижение ресурса изоляции. Для предотвращения указанного режима применяется ограничение частоты повторных пусков либо принудительное увеличение пауз между пусками [27].

В действующих ПТЭЭП отсутствует универсальная норма, устанавливающая предельно допустимое количество пусков ЭД. При эксплуатации электроустановок должны учитываться требования проектной документации и документации организаций-изготовителей оборудования [104, п.5]. Поэтому допустимое количество пусков, минимальное время между пусками и время охлаждения двигателя следует принимать по документации завода-изготовителя ЭД, применимым НТД, результатам пусконаладочных испытаний, условиям работы приводимого механизма и требованиям технологического процесса. В недействующей редакции ПТЭЭП содержалось указание, согласно которому для ЭД с короткозамкнутым ротором при отсутствии специальных указаний завода-изготовителя допускались два пуска подряд из холодного состояния и один пуск из горячего состояния; последующие пуски допускались после охлаждения двигателя [103, п. 2.5.12]. Указанное положение может использоваться только как справочный ориентир при отсутствии более точных данных.

Ограничение количества пусков предназначено для предотвращения повторного включения двигателя при исчерпании допустимого количества пусков или при недостаточном времени охлаждения после предыдущего пуска. Алгоритм предусматривает ограничение количества пусков на заданном интервале времени, ограничение по минимальному времени между последовательными пусками, а также ограничение количества последовательных пусков из горячего и холодного состояния.

Алгоритм формирует запрет пуска и не предназначен для отключения работающего двигателя при повреждениях или ненормальных режимах; указанные режимы должны выявляться иными защитами двигателя.

В алгоритме ОКП для определения состояния двигателя используется логический признак **«Наличие тока»**. Поэтому при применении алгоритма ОКП значение уставки **«Iмин»** следует выбирать в соответствии с 2.2 по условию устойчивого распознавания работающего двигателя, в том числе при работе на холостом ходу, чтобы режим холостого хода не воспринимался как останов двигателя.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** данная функция реализуется в алгоритме **«Ограничение количества пусков (ОКП)»**, основные параметры которого приведены в таблице 5.22.

Таблица 5.22. Алгоритм «Ограничение количества пусков»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
ОКП на интервале времени	–	+	+	+	+
ОКП по времени между пусками	–	+	+	+	+
ОКП из горячего и холодного состояния	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.23.

Таблица 5.23. Уставки алгоритма «Ограничение количества пусков (ОКП)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Ограничение количества пусков (ОКП)							
Nокп	-	60	1	60	1	-	Максимальное количество пусков на интервале времени
Токп	мин	60	1	60	1	-	Интервал времени подсчета количества пусков
Токп мп	с	60	1	600	0,01	-	Минимальный интервал времени между пусками
Nокп гор	-	1	1	10	1	-	Максимальное количество пусков из горячего состояния
Nокп хол	-	2	1	10	1	-	Максимальное количество пусков из холодного состояния
Токп охл	мин	60	1	1440	1	-	Время охлаждения двигателя, после которого пуск считается холодным
Токп сброс	мин	60	1	1440	1	-	Задержка сброса счетчика последовательных пусков от момента последнего пуска

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 5.24.

Таблица 5.24. Уставки алгоритма «Ограничение количества пусков (ОКП)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Ограничение количества пусков (ОКП)							
Nокп	-	60	1	60	1	-	Максимальное количество пусков на интервале времени
Токп	мин	60	1	60	1	-	Интервал времени подсчета количества пусков
Токп мп	с	60	1	600	0,01	-	Минимальный интервал времени между пусками
Nокп гор	-	1	1	10	1	-	Максимальное количество пусков из горячего состояния
Nокп хол	-	2	1	10	1	-	Максимальное количество пусков из холодного состояния
Токп охл	мин	60	1	1440	1	-	Время охлаждения двигателя, после которого пуск считается холодным
Токп сброс	мин	60	1	1440	1	-	Задержка сброса счетчика последовательных пусков от момента последнего пуска

5.13.2 Расчет уставок

Значения уставок следует выбирать по документации завода-изготовителя ЭД, применимым НТД, результатам пусконаладочных испытаний, условиям работы приводимого механизма и требованиям технологического процесса. При выборе уставок должны учитываться допустимое количество пусков из холодного и горячего состояния, минимально допустимый

интервал между последовательными пусками, время охлаждения двигателя, а также условия самозапуска ответственных ЭД и работы автоматики, действующей при нарушениях внешнего электроснабжения.

Ограничение количества пусков на заданном интервале времени применяется при необходимости ограничения суммарного количества пусков за заданный интервал времени. Значение уставки **«Токп»** следует принимать равным интервалу времени, за который задано допустимое количество пусков ЭД, а значение уставки **«Nокп»** — равным допустимому количеству пусков за указанный интервал. Например, если документацией завода-изготовителя ЭД допускается не более трех пусков за 1 ч, следует принимать **«Nокп»** = 3, **«Токп»** = 60 мин.

Ограничение минимального интервала времени между последовательными пусками применяется при необходимости исключения повторного пуска до истечения минимально допустимой паузы после предыдущего пуска. Значение уставки **«Токп мп»** следует выбирать не менее минимального времени между последовательными пусками, установленного заводом-изготовителем ЭД, условиями охлаждения двигателя, требованиями технологического процесса, условиями восстановления нормального напряжения после пуска и условиями работы АВР, ВНР, ЗМН и другой автоматики.

Значение уставки **«Nокп хол»** следует принимать равным максимально допустимому количеству последовательных пусков из холодного состояния двигателя. Значение уставки **«Nокп гор»** следует принимать равным максимально допустимому количеству последовательных пусков из горячего состояния двигателя. При отсутствии данных завода-изготовителя ЭД допускается предварительно принимать **«Nокп хол»** равной 2, а **«Nокп гор»** равной 1 с последующим уточнением по результатам ПНР, эксплуатационных данных и требованиям технологического процесса [**103**, п. 2.5.12]. Указанные значения не должны применяться как универсальная норма при наличии более точных данных.

Значение уставки **«Токп охл»** следует принимать равным времени охлаждения двигателя, после которого последующий пуск может считаться пуском из холодного состояния. При наличии в документации завода-изготовителя ЭД времени охлаждения после пуска значение уставки **«Токп охл»** следует принимать по указанной документации. При отсутствии таких данных значение уставки следует выбирать по результатам теплового расчета, параметрам тепловой модели по **5.8** или данным пусконаладочных испытаний. При выборе уставки необходимо учитывать фактические условия охлаждения остановленного двигателя, поскольку при паузе между пусками ротор неподвижен, а условия вентиляции двигателя отличаются от условий охлаждения при рабочем режиме [**27**].

Значение уставки **«Токп сброс»** следует принимать равным времени, по истечении которого допускается сброс счетчика последовательных пусков от момента последнего пуска. Как правило, значение уставки **«Токп сброс»** следует принимать не менее значения уставки **«Токп охл»**, если иное не установлено документацией завода-изготовителя ЭД или условиями технологического процесса.

Для ответственных ЭД, участвующих в самозапуске, значения уставок ОКП должны быть проверены по условиям допустимого самозапуска после кратковременного снижения или исчезновения напряжения. Алгоритм **«ОКП»** не должен запрещать пуск ЭД в режимах, предусмотренных расчетом самозапуска и логикой работы АВР, ВНР, ЗМН и другой автоматики [**100**, п. 5.3.52, п. 5.3.53].

6 РАСЧЕТ УСТАВОК ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

6.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В настоящем разделе приведены рекомендации по расчету уставок ступенчатых дистанционных защит от междуфазных коротких замыканий и двойных замыканий на землю на линиях 35 кВ с двух- и односторонним питанием, с учетом различных схем их коммутации — одиночных, параллельных линий и линий с ответвлениями.

Дистанционная защита относится к защитам относительной селективности. Селективность ее действия обеспечивается выбором зон действия отдельных ступеней по сопротивлению, направленностью ступеней и согласованием выдержек времени со ступенями защит смежных элементов сети.

Методика выбора уставок дистанционных защит, реализованных в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**, разработана на основе подходов, изложенных в следующих документа:

- «Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110–750 кВ. Т. 1. Рекомендации по расчету защит ВЛ 110–220(330) кВ» [108].
- «Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 7. Дистанционная защита линий 35–330 кВ» [113];
- «Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 7 (дополнение). Дистанционная защита линий 35–330 кВ» [116].

Указанные материалы ориентированы преимущественно на защиты, выполненные на электромеханической и микроэлектронной элементной базе. При применении устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** расчет сопротивлений срабатывания, выдержек времени, условий согласования и чувствительности сохраняет преемственность с классической методикой расчета ДЗ. Это обусловлено тем, что физические принципы функционирования ДЗ и основные критерии выбора параметров ее срабатывания сохраняются независимо от элементной базы устройств РЗА.

Расчет ДЗ в общем случае сводится к определению:

- сопротивлений срабатывания ступеней ДЗ;
- параметров дополнительных характеристик срабатывания в зависимости от выбранного вида характеристики;
- направленности ступеней;
- выдержек времени и условий ускорения ступеней;
- условий согласования и проверки чувствительности отдельных ступеней защиты;
- параметров блокировки при качаниях, если ее применение требуется по условиям работы защищаемого присоединения и смежной сети).

Дистанционная защита от междуфазных КЗ реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Дистанционная защита от междуфазных КЗ»**, основные параметры которого приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 Алгоритм «Дистанционная защита от междуфазных КЗ»

ПАРАМЕТР	АЛТЕЙ-БЗП, АЛТЕЙ-БЗП2
Число ступеней ДЗ от междуфазных КЗ	4
Ускорение ДЗ	Да
Контур памяти	Да
Характеристика срабатывания	Круговая, четырехугольная, треугольная
Подхват ступеней от последующих ступеней	ДЗ 1 от ДЗ 2, ДЗ 2 от ДЗ 3, ДЗ 3 от ДЗ 4
Пуск ступеней ДЗ от БК	Да
Блокировка при неисправности цепей напряжения	Да
Изменение направленности	Да
Подхват от последующих ступеней	Да (для второй, третьей и четвертой ступеней)

Дистанционная защита от двойных замыканий на землю (ДЗДВ) реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Дистанционная защита от двойных замыканий на землю»**, основные параметры которого приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 Алгоритм «Дистанционная защита от двойных замыканий на землю»

ПАРАМЕТР	АЛТЕЙ-БЗП, АЛТЕЙ-БЗП2
Число ступеней ДЗДВ от двойных замыканий на землю	4
Ускорение ДЗДВ	Да
Контур памяти	Да
Характеристика срабатывания	Круговая, четырехугольная, треугольная
Изменение направленности	Да
Подхват от последующих ступеней	ДЗДВ 1 от ДЗДВ 2, ДЗДВ 2 от ДЗДВ 3, ДЗДВ 3 от ДЗДВ 4
Отключение только одного места повреждения	Да (разнесение на ступень селективности времен срабатывания ДЗДВ по разным фазам во всей сети)
Блокировка при неисправности цепей напряжения	Да

6.2 СТУПЕНЬ СЕЛЕКТИВНОСТИ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ

Для обеспечения селективности выдержки времени ступеней дистанционной защиты следует выбирать по ступенчатому принципу. При согласовании с защитами смежных элементов выдержка времени рассматриваемой ступени ДЗ должна приниматься больше выдержки времени ступени защиты смежного элемента, с которой выполняется согласование по сопротивлению срабатывания, не менее чем на ступень селективности Δt.

Ступень селективности Δt следует выбирать с учетом полного времени отключения выключателя смежного элемента, погрешностей по времени срабатывания согласуемых защит, времени возврата последующей защиты и технологического запаса. При наличии исходных данных о времени отключения выключателя и погрешностях устройств РЗА расчетное значение Δt следует определять по общей формуле, приведенной в п. **3.3**.

Для ориентировочного выбора и в качестве типовых принимаемых значений ступени селективности для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** при согласовании с различными типами устройств РЗА следует использовать значения, приведенные в таблице 6.3. Принимаемое значение Δt не должно быть меньше расчетного значения, определенного по п. **3.3**.

Таблица 6.3. Рекомендуемая ступень селективности дистанционных защит

ЗАЩИТА, С КОТОРОЙ ВЫПОЛНЯЕТСЯ СОГЛАСОВАНИЕ	СТУПЕНЬ СЕЛЕКТИВНОСТИ ΔT, С
Устройства «Алтей-БЗП», «Алтей-БЗП2» и другие микропроцессорные терминалы РЗА	0,3
Устройства РЗА на микроэлектронной базе	0,4
Электромеханические реле	0,4–0,5

Возможность уменьшения Δt допускается только при высоком быстродействии и стабильности устройств с соответствующим обоснованием.

Возможность уменьшения ступени селективности Δt допускается только при высоком быстродействии и стабильности согласуемых устройств РЗА, наличии соответствующего расчетного обоснования и подтверждении выполнения условия селективности по п. **3.3**.

6.3 БЛОКИРОВКА ПРИ КАЧАНИЯХ

6.3.1 Общие сведения

Для исключения излишнего действия дистанционной защиты при качаниях или асинхронном ходе в энергосистеме в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** предусмотрен алгоритм **«Блокировка при качаниях (БК)»**.

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.11] защиты в сетях 110 кВ и выше должны иметь устройства, блокирующие их действие при качаниях или асинхронном ходе, если в указанных сетях возможны такие качания или асинхронный ход, при которых защиты могут срабатывать излишне. Для сетей напряжением 6–35 кВ требование обязательного применения БК не является общим; вместе с тем ПУЭ [97, п. 3.2.11] допускает применение аналогичных устройств для линий ниже 110 кВ, связывающих между собой источники питания, исходя из вероятности возникновения качаний или асинхронного хода и возможных последствий

излишних отключений. Поэтому необходимость ввода алгоритма БК в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует определять для конкретной схемы сети 6–35 кВ с учетом наличия двухстороннего питания, параллельной работы источников, АВР, ВНР, распределенной генерации, синхронных двигателей и последствий излишнего действия ДЗ.

Наиболее вероятно излишнее срабатывание при качаниях у быстродействующих ступеней ДЗ, работающих без выдержки времени или с малой выдержкой времени. Первая ступень ДЗ, как правило, выполняется без специально задаваемой выдержки времени; вторая ступень обычно имеет выдержку времени порядка 0,5 с. Третьи ступени ДЗ имеют наибольшие выдержки времени, выбираемые по ступенчатому принципу, поэтому при выдержке времени не менее 1,5–2 с они, как правило, могут считаться отстроенными от качаний по времени [100, п. 3.2.11; 156].

В общем случае алгоритм БК по приращению токов прямой и обратной последовательностей должен обеспечивать разрешение пуска блокируемых ступеней ДЗ при КЗ в зоне действия защиты и предотвращать их излишнее действие при качаниях или асинхронном ходе. Применение критерия по приращению тока прямой последовательности необходимо для обеспечения работы БК при симметричных трехфазных КЗ, при которых ток обратной последовательности отсутствует или имеет малое значение. Критерий по приращению тока обратной последовательности обеспечивает работу БК при несимметричных КЗ. При выборе уставок БК следует учитывать, что резкие изменения тока возможны не только при КЗ в зоне действия ДЗ, но и при коммутациях нагрузки, АПВ на неповрежденное присоединение, пусках и самозапусках электродвигателей, внешних КЗ и других переходных режимах. Указанные режимы не должны приводить к излишнему действию ДЗ.

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** алгоритм БК формирует сигнал **«БК сраб.»**, разрешающий пуск ДЗ от междуфазных замыканий на время, определяемое уставкой **«Тбк сброс»**. Если за это время условия срабатывания ДЗ отсутствуют, алгоритм БК возвращается в исходное состояние, и дальнейший пуск ступеней ДЗ, для которых введен пуск от БК, запрещается до повторного срабатывания БК.

Основные параметры данного алгоритма для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4. Алгоритм «Блокировка при качаниях (БК)»

ПАРАМЕТР	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Критерий по аварийной составляющей тока прямой последовательности I1 авар	+	+
Критерий по аварийной составляющей тока обратной последовательности I2 авар	+	+
Разрешение пуска ДЗ от междуфазных замыканий	+	+
Задержка возврата БК	+	+
Ускоренный возврат БК по сигналу «РПО»	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 6.5.

Таблица 6.5. Уставки алгоритма «Блокировка при качаниях (БК)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Блокировка при качаниях (БК)							
I1 бк	А	0,25	0,25	50	0,01	-	Ток прямой последовательности пуска ДЗ от БК
I2 бк	А	0,25	0,25	50	0,01	-	Ток обратной последовательности пуска ДЗ от БК
Тбк сброс	с	3	2	20	0,01	-	Задержка срабатывания на сброс алгоритма БК в исходное состояние

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

6.3.2 Расчет уставок

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** алгоритм БК не выполняет самостоятельное отключение выключателя, а формирует сигнал **«БК сраб.»**, разрешающий пуск ступеней ДЗ от междуфазных замыканий. Поэтому расчет уставок БК должен обеспечивать:

- разрешение пуска ДЗ при КЗ в зоне действия ступеней, для которых введен пуск от БК;

- отсутствие излишнего действия ДЗ при качаниях, асинхронном ходе и переходных режимах без КЗ;
- сохранение сигнала **«БК сраб.»** на время, достаточное для срабатывания ступеней ДЗ, пуск которых разрешается алгоритмом **«БК»**;
- возврат алгоритма БК после исчезновения условий пуска ДЗ

Уставка **«I1 бк»** предназначена для пуска БК по аварийной составляющей тока прямой последовательности. Данная уставка обеспечивает работу БК, в том числе при симметричных трехфазных КЗ, при которых ток обратной последовательности отсутствует или имеет малое значение.

Уставка **«I2 бк»** предназначена для пуска БК по аварийной составляющей тока обратной последовательности. Данная уставка обеспечивает работу БК при несимметричных КЗ.

Расчет уставок **«I1 бк»** и **«I2 бк»** следует выполнять с учетом вероятности возникновения качаний или асинхронного хода в рассматриваемой сети:

- если качания или асинхронный ход возможны и выдержка времени ступеней ДЗ, пуск которых разрешается алгоритмом **«БК»**, не обеспечивает отстройку от указанных режимов по времени, уставки БК следует дополнительно выбирать по условию отстройки от приращения токов прямой и обратной последовательностей в режимах качаний или асинхронного хода;
- если качания и асинхронный ход исключены расчетом или условиями схемы сети, указанное расчетное условие не учитывается; при этом должны быть обеспечены отстройка от переходных режимов без КЗ и чувствительность пуска БК при КЗ в зоне действия ступеней ДЗ.

Качания и асинхронный ход возможны для линий и присоединений 6–35 кВ, связывающих между собой источники питания, для сетей с двухсторонним питанием, кольцевых сетей, схем с распределенной генерацией, синхронными двигателями, а также при наличии режимов, в которых возможны значительные взаимные изменения углов ЭДС источников питания.

Для радиальных линий с односторонним питанием без параллельной работы источников питания, при отсутствии синхронных машин, распределенной генерации и расчетных предпосылок к возникновению качаний или асинхронного хода, расчетное условие отстройки от качаний допускается не учитывать.

Значение уставки **«I1 бк»** по условию отстройки от переходных режимов без повреждения в зоне действия рассматриваемых ступеней ДЗ следует определять по формуле:

$$I1\ бк = k_{отс.БК} \cdot \Delta I_{1пер.макс}\ [А] \quad (6.1)$$

где

$k_{отс.БК}$ – коэффициент отстройки уставки **«I1 бк»**, принимается равным 1,3

$\Delta I_{1пер.макс}$ А максимальное расчетное или зафиксированное по осциллограммам приращение тока прямой последовательности за интервал сравнения алгоритма БК в переходных режимах без КЗ

Значение $\Delta I_{1пер.макс}$ следует определять по формуле:

$$\Delta I_{1пер.макс} = макс\left|I_{1после.k} - I_{1до.k}\right|\ [А] \quad (6.2)$$

где

$I_{1после.k}$ А ток прямой последовательности после возникновения k-го переходного режима

$I_{1до.k}$ А ток прямой последовательности до возникновения k-го переходного режима

При определении $\Delta I_{1пер.макс}$ следует учитывать режимы, в которых возможно скачкообразное изменение тока без КЗ: коммутации нагрузки, включение присоединения, АПВ на неповрежденное присоединение, АВР, ВНР, пуск и групповой самозапуск электродвигателей, восстановление нагрузки после провала напряжения при внешнем КЗ, а также переключения, сопровождающиеся изменением распределения нагрузки между параллельными присоединениями.

Если качания или асинхронный ход возможны, значение уставки **«I1 бк»** дополнительно следует проверять по условию отстройки от приращения тока прямой последовательности в режиме качаний или асинхронного хода:

$$I1\ бк = k_{отс.БК} \cdot \Delta I_{1кач.макс}\ [А] \quad (6.3)$$

где

$\Delta I_{1кач.макс}$ А максимальное расчетное приращение тока прямой последовательности за один период промышленной частоты в режиме качаний или асинхронного хода

Значение $\Delta I_{1кач.макс}$ следует определять по формуле:

$$\Delta I_{1кач.макс} = макс|I_1(t) - I_1(t - T_0)| \text{ [А]} \quad (6.4)$$

где

$I_1(t)$ А ток прямой последовательности в рассматриваемый момент времени

$I_1(t - T_0)$ А ток прямой последовательности за один период промышленной частоты до рассматриваемого момента времени

T_0 с период промышленной частоты, с; для сети 50 Гц принимается равным 0,02

При отсутствии данных об изменении тока прямой последовательности в режиме качаний или асинхронного хода допускается ориентировочно определять $\Delta I_{1кач.макс}$ по формуле:

$$\Delta I_{1кач.макс} = \frac{\pi \cdot макс\left(\frac{I_{1кач}}{T_{кач}}\right)}{f_{ном}} \text{ [А]} \quad (6.5)$$

где

$I_{1кач}$ А действующее значение тока прямой последовательности в режиме качаний или асинхронного хода

$T_{кач}$ с расчетный период качаний или асинхронного хода

$f_{ном}$ Гц номинальная частота сети; принимается равной 50

$макс\left(\frac{I_{1кач}}{T_{кач}}\right)$ – наибольшее значение отношения $I_{1кач}$ /$T_{кач}$ из рассмотренных расчетных режимов

Окончательное значение уставки **«I1 бк»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по (6.1) и (6.3). Если качания и асинхронный ход исключены, значение, определенное по (6.3), не учитывается.

Значение уставки **«I2 бк»** по условию отстройки от переходных режимов без КЗ следует определять по формуле:

$$I2\ бк = k_{отс.БК} \cdot \Delta I_{2пер.макс} \text{ [А]} \quad (6.6)$$

где

$\Delta I_{2пер.макс}$ А максимальное расчетное приращение тока обратной последовательности в переходном режиме без КЗ

Значение $\Delta I_{2пер.макс}$ следует определять по формуле:

$$\Delta I_{2пер.макс} = макс|I_{2после.k} - I_{2до.k}| \text{ [А]} \quad (6.7)$$

где

$I_{2после.k}$ А ток обратной последовательности после возникновения k-го переходного режима

$I_{2до.k}$ А ток обратной последовательности доа возникновения k-го переходного режима

При определении $\Delta I_{2пер.макс}$ следует учитывать режимы, сопровождающиеся появлением или увеличением тока обратной последовательности без КЗ в зоне действия ДЗ: несимметричные пуски и самозапуски электродвигателей, обрыв фазы, неполнофазные режимы, несимметрия нагрузки, внешние несимметричные КЗ.

Если качания или асинхронный ход возможны, значение уставки **«I2 бк»** дополнительно следует проверять по условию отстройки от приращения тока обратной последовательности в режиме качаний или асинхронного хода:

$$I2\ бк = k_{отс.БК} \cdot \Delta I_{2кач.макс} \text{ [А]} \quad (6.8)$$

где

$\Delta I_{2кач.макс}$ А максимальное расчетное приращение тока обратной последовательности за один период промышленной частоты в режиме качаний или асинхронного хода

Значение $\Delta I_{2кач.макс}$ следует определять по формуле:

$$\Delta I_{2кач.макс} = макс|I_2(t) - I_2(t - T_0)| \text{ [А]} \quad (6.9)$$

где

$I_2(t)$ А ток обратной последовательности в рассматриваемый момент времени

$I_2(t - T_0)$ А ток обратной последовательности за один период промышленной частоты до рассматриваемого момента времени

В симметричных режимах качаний или асинхронного хода ток обратной последовательности отсутствует или имеет малое значение. Поэтому условие (6.8) следует учитывать при наличии расчетной или фактической несимметрии, влияния

тяговой нагрузки, неполнофазных режимов, насыщения ТТ или иных факторов, способных привести к появлению аварийной составляющей тока обратной последовательности без КЗ в зоне действия ДЗ.

При отсутствии расчетных данных или осциллограмм значение тока небаланса обратной последовательности в нагрузочном режиме допускается оценивать по формуле:

$$I_{2нб.расч} = I_{раб.макс} \cdot \left(\frac{\varepsilon}{3} + \gamma + k_{2нагр}\right) \text{ [А]} \quad (6.10)$$

где

$I_{раб.макс}$ А — максимальный рабочий ток присоединения

ε — относительная расчетная погрешность ТТ, используемая для расчетной оценки небаланса тока обратной последовательности. Для вторичной обмотки ТТ класса точности 10Р значение ε допускается принимать равным 0,03 при максимальном токе рассматриваемого режима, не превышающем номинальный первичный ток ТТ, что соответствует пределу допускаемой токовой погрешности при номинальном первичном токе по ГОСТ 7746-2015 [41]. Если максимальный ток рассматриваемого режима существенно превышает номинальный первичный ток ТТ, а также при расчете небаланса в режиме качаний или асинхронного хода при отсутствии уточненной характеристики погрешности ТТ, значение ε допускается принимать равным 0,10, что соответствует нормируемой полной погрешности вторичных обмоток ТТ класса 10Р при токе номинальной предельной кратности по ГОСТ 7746-2015 [41]

γ — основная относительная погрешность токового измерительного канала устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**; принимается согласно общего РЭ на устройства **«Алтей»**

$k_{2нагр}$ о.е. относительное значение тока обратной последовательности, обусловленное первичной несимметрией нагрузки в нормальном режиме, о.е.; при наличии расчетных данных или фактических замеров принимается равным $I_{2нагр.max}/I_{раб.max}$. При отсутствии источников повышенной несимметрии нагрузки допускается принимать $k_{2нагр} = 0$. При наличии тяговой нагрузки, дуговых печей, неполнофазных режимов, длительной несимметрии нагрузки или иных источников тока обратной последовательности значение k2нагр следует определять расчетом или по данным фактических замеров.

В этом случае значение уставки **«I2 бк»** по условию отстройки следует принимать не менее:

$$I2\ бк \geq k_{отс.БК} \cdot I_{2нб.расч} \text{ [А]} \quad (6.11)$$

Окончательное значение уставки **«I2 бк»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям отстройки от переходных режимов без КЗ, от качаний или асинхронного хода, а также от расчетного тока небаланса обратной последовательности по (6.11). Если качания и асинхронный ход исключены, условие отстройки от приращения тока обратной последовательности в режиме качаний или асинхронного хода не учитывается.

Для выбранных значений уставок **«I1 бк»** и **«I2 бк»** должна быть выполнена проверка чувствительности пуска БК при КЗ в зоне действия ступеней ДЗ, для которых введен пуск от БК. При наличии расчетной модели переходного процесса или осциллограмм значение аварийной составляющей тока следует определять как разность значений тока последовательности, разделенных одним периодом промышленной частоты. При отсутствии расчетной модели переходного процесса или фактических осциллограмм аварийную составляющую тока допускается определять по разности между расчетным током при КЗ и током предшествующего режима.

Проверку чувствительности пуска БК по аварийной составляющей тока прямой последовательности следует определять по формуле:

$$k_{ч.I1} = \frac{I^{(3)}_{1кз.мин} - I_{1предш.макс}}{I1\ бк} \quad (6.12)$$

где

$I^{(3)}_{1кз.мин}$ А — минимальное расчетное значение тока прямой последовательности при трехфазном КЗ в расчетной точке

$I_{1предш.макс}$ А — максимальное значение тока прямой последовательности в предшествующем нагрузочном или переходном режиме

Проверку чувствительности пуска БК по аварийной составляющей тока обратной последовательности следует определять по формуле:

$$k_{ч.I2} = \frac{I^{(2)}_{2кз.мин} - I_{2предш.макс}}{I2\ бк} \quad (6.13)$$

где

$I^{(2)}_{2кз.мин}$	А	минимальное расчетное значение тока обратной последовательности при двухфазном КЗ в расчетной точке
$I_{2предш.макс}$	А	максимальное значение тока обратной последовательности в предшествующем режиме, обусловленное несимметрией нагрузки, небалансом измерительных цепей, влиянием тяговой нагрузки или иными источниками несимметрии

При отсутствии расчетных данных по предшествующему режиму значение $I_{1предш.макс}$ допускается принимать равным максимальному рабочему току присоединения. Значение $I_{2предш.макс}$ допускается принимать равным расчетному току небаланса обратной последовательности.

С учетом требования ПУЭ [**100**, п. 3.2.11] о применении устройств блокировки действия защит при качаниях или асинхронном ходе, а также с учетом общего требования ПУЭ [**100**, п. 3.2.21] к чувствительности максимальных токовых защит, реагирующих на возрастание тока:

- около 1,5 — при металлическом КЗ в конце защищаемого участка, без учета резервного действия;
- около 1,3 — при наличии надежно действующей селективной резервной ступени.

С учетом требований Приказа Минэнерго России № 546 [**145**, п. 14, п. 15] коэффициент чувствительности пуска БК рекомендуется принимать:

- 1,5 — для пусковых измерительных органов любого типа;
- 1,5 — для токовых измерительных органов защит, предназначенных для действия в пределах всего защищаемого элемента;
- 1,3 — для токовых измерительных органов защит при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 15]:

- 1,2 — для измерительных органов тока, напряжения и сопротивления любых видов защит, выполняющих функции дальнего резервирования.

Значение уставки **«Тбк сброс»** следует выбирать по условию сохранения сигнала **«БК сраб.»** после последнего срабатывания любого из пусковых органов БК на время, достаточное для действия наиболее медленной ступени ДЗ, пуск которой разрешается алгоритмом БК:

$$Тбк\ сброс \geq макс(Тдз\ k) + \Delta t_{зап.БК}\ [с] \quad (6.14)$$

где

$Тдз\ k$	с	выдержка времени k-й ступени ДЗ, для которой введен пуск от БК
$\Delta t_{зап.БК}$	с	запас по времени; при отсутствии уточненных данных допускается принимать равным из диапазона 0,1–0,2

Если выдержка времени ступени ДЗ составляет 1,5–2 с и более и защита отстроена от качаний по времени, пуск данной ступени от БК допускается не вводить. В этом случае для указанной ступени должна быть подтверждена отстройка от качаний по времени и выполнена проверка селективности с защитами смежных элементов.

Если для ступени ДЗ требуется выдержка времени, превышающая значение **«Тбк сброс»**, либо сохранение сигнала **«БК сраб.»** в течение длительного времени может привести к излишнему действию ДЗ при качаниях или асинхронном ходе, пуск данной ступени от БК не следует вводить без дополнительного расчетного обоснования.

Для присоединений, питающих электродвигатели или группы электродвигателей, при расчете уставок **«I1 бк»** и **«I2 бк»** дополнительно следует учитывать пусковые токи, групповой самозапуск, работу АВР, ВНР, ЗМН, внешние КЗ с провалом напряжения и последующим восстановлением нагрузки, а также возможные режимы несимметрии и обрыва фазы. Если при указанных режимах расчетная точка сопротивления может попадать в область срабатывания ступеней ДЗ, пуск данных ступеней от БК допускается вводить только при подтверждении отсутствия излишнего действия ДЗ.

6.4 ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА ОТ МЕЖДУФАЗНЫХ КЗ

6.4.1 Общие сведения

Дистанционная защита (ДЗ) от междуфазных КЗ применяется для защиты одиночных и параллельных линий напряжением 6–35 кВ в случаях, когда токовые защиты, отсечки по напряжению или комбинированные отсечки по току и напряжению не обеспечивают требуемую чувствительность, селективность или быстродействие.

ДЗ относится к защитам с относительной селективностью и реагирует на комплексное сопротивление, определяемое по измеряемым токам и напряжениям в месте установки защиты. При металлических междуфазных КЗ измеряемое сопротивление в основном пропорционально расстоянию от места установки защиты до места повреждения, что позволяет использовать ступенчатое построение зон действия защиты [108, 113, 156, 174].

Алгоритм **«Дистанционная защита от междуфазных замыканий (ДЗ)»** реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**. Работу алгоритма определяет набор уставок, приведенный в таблице 6.6.

Таблица 6.6. Уставки алгоритма «Дистанционная защита от междуфазных КЗ (ДЗ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Дистанционная защита от междуфазных замыканий (ДЗ)							
Тдз 1	с	0	0	10	0,01	-	ДЗ 1 - задержка срабатывания
ДЗ 1 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗ 1 - вид характеристики (0 – круговая, 1 – четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗ 1 Zср	Ом	10	0,05	500	0,01	1,05	ДЗ 1 – полное сопротивление срабатывания
ДЗ 1 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗ 1 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗ 1 Rср	Ом	5	0,05	415	0,01	1,05	ДЗ 1 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗ 1 Rсм	Ом	1	0	50	0,01	1,05	ДЗ 1 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗ 1 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗ 1 – угол максимальной чувствительности
ДЗ 1 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗ 1 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тдз 2	с	0	0	10	0,01	-	ДЗ 2 - задержка срабатывания
ДЗ 2 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗ 2 - вид характеристики (0 – круговая, 1 – четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗ 2 Zср	Ом	10	0,2	500	0,01	1,05	ДЗ 2 – полное сопротивление срабатывания
ДЗ 2 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗ 2 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗ 2 Rср	Ом	5	0,2	415	0,01	1,05	ДЗ 2 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗ 2 Rсм	Ом	1	0,2	50	0,01	1,05	ДЗ 2 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗ 2 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗ 2 – угол максимальной чувствительности
ДЗ 2 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗ 2 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тдз 3	с	0	0	10	0,01	-	ДЗ 3 - задержка срабатывания
ДЗ 3 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗ 3 - вид характеристики (0 – круговая, 1 – четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗ 3 Zср	Ом	10	0,2	500	0,01	1,05	ДЗ 3 – полное сопротивление срабатывания
ДЗ 3 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗ 3 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗ 3 Rср	Ом	5	0,2	415	0,01	1,05	ДЗ 3 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗ 3 Rсм	Ом	1	0,2	50	0,01	1,05	ДЗ 3 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗ 3 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗ 3 – угол максимальной чувствительности
ДЗ 3 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗ 3 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тдз 4	с	0	0	10	0,01	-	ДЗ 4 - задержка срабатывания

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
ДЗ 4 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗ 4 - вид характеристики (0 – круговая, 1 – четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗ 4 Zср	Ом	10	0,2	500	0,01	1,05	ДЗ 4 – полное сопротивление срабатывания
ДЗ 4 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗ 4 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗ 4 Rср	Ом	5	0,2	415	0,01	1,05	ДЗ 4 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗ 4 Rсм	Ом	1	0,2	50	0,01	1,05	ДЗ 4 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗ 4 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗ 4 – угол максимальной чувствительности
ДЗ 4 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗ 4 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тудз	с	0	0	1	0,01	-	ДЗ – задержка ускоренного срабатывания

Расчет значений уставок по сопротивлению целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения сопротивлений должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации фазных ТТ и основной обмотки ТН.

В настоящем подразделе приведены особенности выбора уставок алгоритма **«ДЗ»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** с учетом вида характеристики срабатывания, направленности ступеней, подхвата ступеней от последующих ступеней, ускорения ДЗ, а также особенностей расчета для одиночных линий, параллельных линий и линий с ответвлениями.

Для работы ДЗ при близких КЗ, сопровождающихся значительным снижением напряжения в месте установки защиты, в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** предусмотрен контур памяти.

Для дуговых междуфазных КЗ следует учитывать возможность увеличения переходного сопротивления в процессе горения дуги. Если требуется сохранить действие ранее запущенной ступени, допускается предусматривать ее подхват от последующей ступени. Применение подхвата должно быть обосновано расчетом селективности и проверкой отсутствия излишнего действия защиты при внешних КЗ и переходных режимах.

При установке ТН в линии и подаче напряжения включением выключателя защищаемого присоединения рекомендуется вводить ускорение одной или нескольких ступеней ДЗ, характеристики которых охватывают всю защищаемую линию и при необходимости смещены в сторону шин подстанции. При этом уставки ускоряемых ступеней должны быть проверены по условиям селективности и отсутствия излишнего действия при включении неповрежденной линии.

Для повышения надежности отключения КЗ, возникающих при подаче напряжения на поврежденное присоединение, в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** дополнительно может применяться МТЗ, вводимая автоматически на ограниченное время после включения выключателя, а также ускорение действия ступеней МТЗ. Расчет уставок тока срабатывания МТЗ следует выполнять по п. 3.8.2, расчет выдержки времени ускоренного действия **«Тумтз 1»** или **«Тумтз 2»** — по 3.8.3. При применении грубых ступеней МТЗ расчет их уставок следует выполнять по 3.8.4.

Алгоритм **«ДЗ»** включает четыре ступени с возможностью выбора направленности действия в линию или к шинам, а также одного из трех видов характеристик срабатывания: круговой, четырехугольной или треугольной (п. 6.4.2).

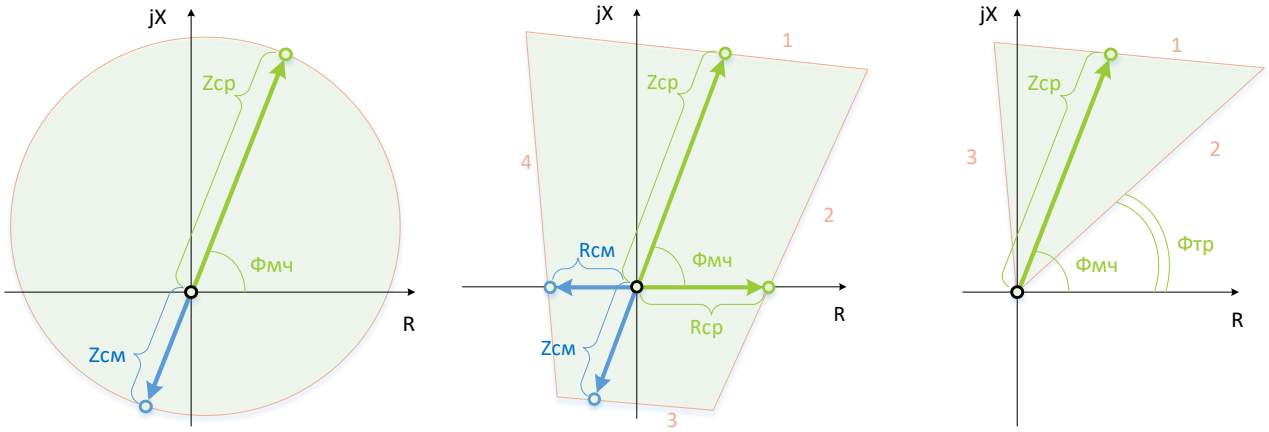
Порядок выбора уставок алгоритма **«Контроль цепей напряжения»** и их согласования с выдержками времени ступеней ДЗ приведен в п. 12.2. Порядок выбора уставок блокировки при качаниях, применяемой совместно с ДЗ, приведен в 6.3.

Некоторые варианты применения четвертой дополнительной ступени ДЗ приведены в п. 6.4.14.

В целях обеспечения селективности и чувствительности уставок ДЗ ЛЭП необходимо учитывать конфигурацию защищаемого участка и смежной электрической сети, наличие одностороннего или двустороннего питания, возможные ремонтные схемы, включение нормально разомкнутых транзитов, а также минимальные и максимальные режимы работы питающих источников. Для линий, отходящих от шин электростанций, дополнительно следует учитывать минимальный состав работающего генерирующего оборудования.

6.4.2 Виды характеристик срабатывания реле сопротивления

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** для каждой из ступеней ДЗ с помощью уставки **«ДЗ k вид»**, где k = 1, 2, 3, 4 — номер ступени ДЗ, может быть выбран один из трех видов характеристики срабатывания реле сопротивления, представленных на рисунке 6.1: круговая, четырехугольная или треугольная.



Круговая | Четырехугольная | Треугольная

Рисунок 6.1. Виды характеристик срабатывания РС

Расчет и выбор параметров ДЗ линии напряжением 6–35 кВ (при одно- и двустороннем питании) производится в соответствии с нижеследующим функциональным назначением ступеней [108, 115, 156, 174].

Первая ступень ДЗ — предназначена для действия при междуфазных КЗ в пределах части защищаемой ЛЭП; как правило, выполняется без выдержки времени.

Вторая ступень ДЗ — предназначена для надежного охвата всей защищаемой ЛЭП при междуфазных КЗ; при необходимости может охватывать шины смежной подстанции и часть смежного участка сети. Вторая ступень ДЗ выполняется с выдержкой времени.

Третья ступень ДЗ — предназначена для выполнения функций дальнего резервирования при междуфазных КЗ на защищаемой ЛЭП и/или на смежных участках сети, в том числе при отказе выключателя или защит смежных сетевых элементов. Третья ступень ДЗ выполняется с выдержкой времени.

Четвертая ступень ДЗ — дополнительная ступень, которая может использоваться для действия при междуфазных КЗ на защищаемой ЛЭП либо в зоне дальнего резервирования. Значения уставок и выдержку времени четвертой ступени ДЗ следует выбирать с учетом ее функционального назначения, требований чувствительности и условий селективности с защитами смежных элементов.

При выборе параметров срабатывания ступеней ДЗ следует учитывать их функциональное назначение. Если ступень ДЗ используется для дальнего резервирования защит или выключателей смежных элементов, выбор ее параметров должен выполняться с учетом требований к чувствительности и селективности в зоне резервирования.

В соответствии с Приказом № 546 [145, п. 25], если одновременно обеспечить чувствительность и селективность параметров настройки ступени ДЗ ЛЭП, выполняющей функции дальнего резервирования, невозможно, приоритет следует отдавать обеспечению чувствительности.

Для ступеней ДЗ с четырехугольной или треугольной характеристикой проверку чувствительности по сопротивлению срабатывания следует выполнять с учетом фактической формы характеристики срабатывания. Проверка только по отношению модуля уставки сопротивления срабатывания к расчетному сопротивлению до точки КЗ не является достаточной, если положение расчетного замера определяется также активной составляющей сопротивления.

Дополнительно следует проверять попадание расчетного замера в область срабатывания соответствующей ступени ДЗ с учетом уставок по активному сопротивлению и углов наклона сторон характеристики. При необходимости должна выполняться проверка чувствительности при КЗ через расчетное переходное сопротивление, в том числе по активной составляющей замера.

Указанная проверка является дополнительной практической проверкой работоспособности выбранной характеристики и не заменяет проверку коэффициента чувствительности по требованиям ПУЭ [100] и Приказа № 546 [145], выполняемую для металлического КЗ без учета переходного сопротивления. Расчет и проверку характеристик допускается выполнять с учетом подходов, приведенных в [85, п. 3.2, п. 3.3, п. 4.4, п. 5.4, п. 6.4, п. 7.4].

6.4.2.1 Круговая характеристика

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** круговая характеристика задается уставками **«ДЗ k Zcp»**, **«ДЗ k Фмч»** и **«ДЗ k Zсм»**. Уставка **«ДЗ k Zcp»** определяет полное сопротивление срабатывания при угле максимальной чувствительности,

задаваемом уставкой **«ДЗ k Фмч»**. Уставка **«ДЗ k Zсм»** определяет смещение характеристики «за спину» в сторону шин подстанции.

При **«ДЗ k Zсм»** = 0 расчетная граница круговой характеристики проходит через начало координат. При **«ДЗ k Zсм»** > 0 характеристика смещается «за спину», что может применяться для исключения «мертвой» зоны и обеспечения действия ступени при КЗ вблизи места установки защиты [7, 156].

Особенности круговой характеристики:

- при выборе уставок круговой характеристики следует учитывать, что увеличение охвата области срабатывания, необходимое для обеспечения действия при КЗ через переходное сопротивление, повышает вероятность попадания сопротивлений нагрузочных режимов и качаний в область срабатывания. Поэтому выбранные уставки следует дополнительно проверять по условиям отстройки от нагрузочных режимов и согласовывать с блокировкой при качаниях [7];
- круговая характеристика с центром в начале координат в большей степени подвержена влиянию качаний, чем направленные характеристики [7]; необходимость и параметры блокировки при качаниях следует определять по 6.3;
- для направленной круговой характеристики, проходящей через начало координат, при КЗ вблизи места установки защиты возможна «мертвая» зона; в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** действие ступени в этом режиме обеспечивается при выполнении условий работы контура памяти.

6.4.2.2 Четырехугольная характеристика

Четырехугольная характеристика, как правило, применяется для ступеней, для которых требуется раздельное задание охвата по реактивной и активной составляющим сопротивления, в том числе в сетях с двусторонним питанием, а также при необходимости отстройки от нагрузочных режимов.

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** четырехугольная характеристика задается уставками **«ДЗ k Zср»**, **«ДЗ k Фмч»**, **«ДЗ k Zсм»**, **«ДЗ k Rср»** и **«ДЗ k Rсм»**. Уставка **«ДЗ k Zср»** определяет полное сопротивление срабатывания при угле максимальной чувствительности, задаваемом уставкой **«ДЗ k Фмч»**. Уставка **«ДЗ k Rср»** задает ширину четырехугольной характеристики по оси активной составляющей сопротивления, уставка **«ДЗ k Rсм»** – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики. Уставка **«ДЗ k Zсм»** задает смещение характеристики «за спину».

Угол наклона сторон 1 и 3 четырехугольной характеристики фиксирован и составляет минус 5° относительно оси R. Угол наклона стороны 2 на 5° меньше значения уставки **«ДЗ k Фмч»**. Угол наклона стороны 4 фиксирован и составляет 105° относительно оси R.

Четырехугольные характеристики часто используются для II и III ступеней защит [156].

Особенности четырехугольной характеристики:

- верхняя сторона 1 характеристики обеспечивает фиксацию конца защищаемой зоны по реактивной составляющей сопротивления; ее небольшой наклон способствует более четкой работе при КЗ на линиях с двусторонним питанием [7, 156];
- правая боковая сторона 2 обеспечивает отстройку от нагрузочных режимов при направлении тока от шин в линию [7, 156];
- левая боковая сторона 4 обеспечивает отстройку от режимов передачи мощности к месту установки защиты, в том числе от реактивных мощностей, направленных к шинам [7, 156];
- уставка **«ДЗ k Rср»** позволяет задать охват области срабатывания по активной составляющей сопротивления с учетом переходного сопротивления в месте КЗ;
- нижняя сторона характеристики для ступеней без выдержки времени должна обеспечивать действие при близких повреждениях через переходное сопротивление; для I ступени она, как правило, проходит через начало координат, а для ступеней с выдержкой времени может быть смещена в третий квадрант для исключения «мертвой» зоны [7, 156].

6.4.2.3 Треугольная характеристика

Треугольная характеристика может применяться для ступеней дальнего резервирования, преимущественно для II и III ступеней ДЗ. В отечественных исполнениях дистанционной защиты треугольная характеристика применялась для III ступени, выполняющей функции дальнего резервирования [156, 174]. В частности, в панели ШДЭ-2801 характеристика срабатывания РС III ступени имела форму треугольника; такое построение обеспечивало лучшую отстройку от нагрузочных режимов и возможность дальнего резервирования [14].

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** треугольная характеристика задается уставками **«ДЗ k Zср»**, **«ДЗ k Фмч»** и **«ДЗ k Фтр»**. Уставка **«ДЗ k Zср»** определяет полное сопротивление срабатывания при угле максимальной чувствительности, задаваемом уставкой **«ДЗ k Фмч»**. Уставка **«ДЗ k Фтр»** задает угол наклона стороны 2 треугольной характеристики.

Угол наклона стороны 1 треугольной характеристики фиксирован и составляет минус 5° относительно оси R. Угол наклона стороны 3 фиксирован и составляет 105° относительно оси R.

Особенности треугольной характеристики:

- за счет формы области срабатывания обеспечивает отстройку от нагрузочных режимов при сохранении чувствительности к удаленным КЗ [7, 174];
- значение уставки **«ДЗ k Zср»** для ступеней дальнего резервирования может выбираться преимущественно по условию обеспечения чувствительности при КЗ в зоне резервирования [7];
- при нетиповых нагрузочных режимах, обратных перетоках мощности, режимах самозапуска и ремонтных схемах следует дополнительно проверять непопадание расчетного сопротивления нагрузки в область срабатывания ступени.

6.4.3 Погрешности ДЗ

Расчет уставок ДЗ по условиям селективности и чувствительности при КЗ выполняют с учетом возможного сокращения и расширения зоны действия (охвата), вызванных совокупной погрешностью измерительных ТТ, ТН и релейной аппаратуры, а также неточностью расчета первичных величин (рисунок 6.2).

Данные погрешности учитываются с помощью следующих коэффициентов[1] [115]:

- коэффициент δ погрешность, вызванная неточностью расчета первичных электрических величин (влияет как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения защищаемой зоны), и необходимый запас. Значение коэффициента принимают равным $\delta = 0{,}1$;
- коэффициенты α и β – погрешности ТТ, ТН и релейной аппаратуры (α – в сторону уменьшения защищаемой зоны; β – в сторону увеличения защищаемой зоны). Значения коэффициентов принимают равными: $\alpha = 0{,}1$; $\beta = 0{,}05$.

Коэффициенты δ, α и β являются безразмерными величинами.

Ориентировочные значения коэффициентов α и β применимы при условии, что погрешности ТТ и ТН не превышают предельных норм, установленных действующими стандартами для измерительных трансформаторов соответствующего класса точности, номинальной нагрузки и расчетных значений токов и напряжений [38, 41]. При этом указанные коэффициенты могут быть уточнены на этапе наладки и в процессе эксплуатации по результатам специальных расчетов влияния этих погрешностей с использованием материалов протоколов испытаний устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** или шкафов РЗА на их базе, а также информации, полученной от разработчика.

При проверке чувствительности ступеней ДЗ дополнительно следует учитывать ток точной работы ДЗ в соответствии с 6.4.4.11.

[1] По выражению В.Л. Фабриканта [154], выбор коэффициента надежности первой ступени ДЗ является «волевым» решением, поскольку его значение зависит от принятого баланса между недоохватом защищаемой линии и риском излишнего действия при внешнем КЗ. В настоящей Методике отдельный коэффициент надежности первой ступени по [154] не вводится; соответствующий запас учитывается через коэффициенты δ, α и β

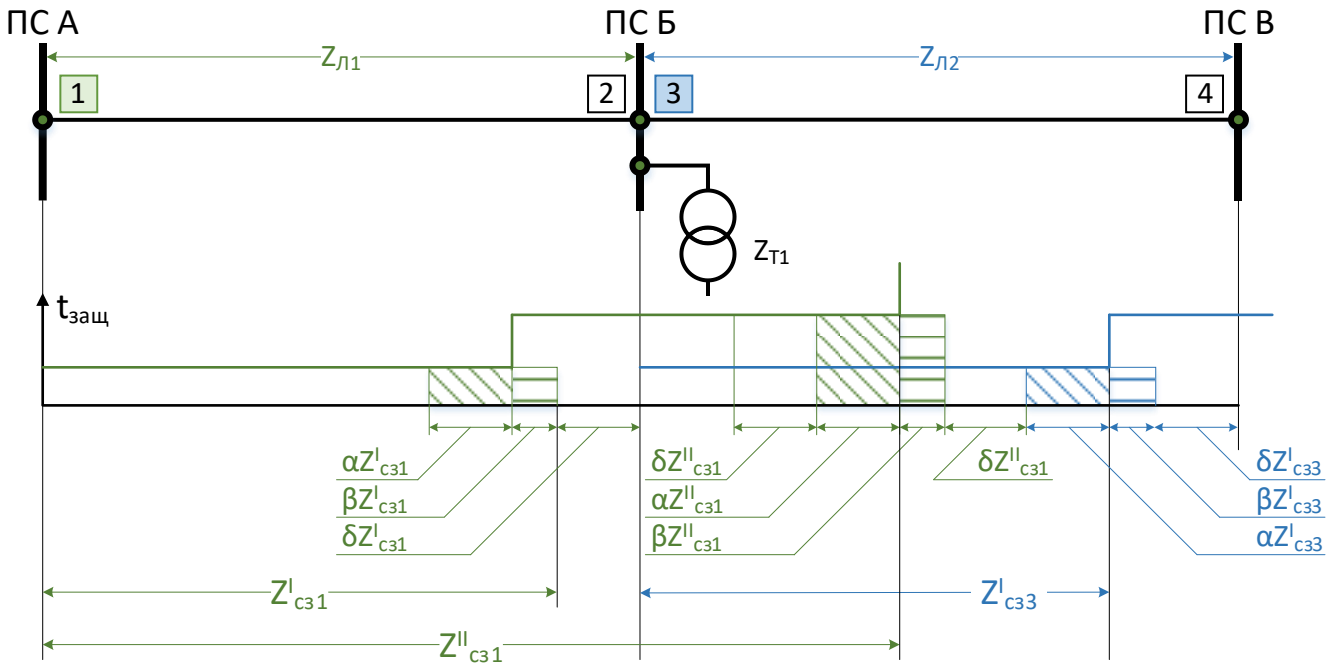


Рисунок 6.2. Погрешности ДЗ.

6.4.4 Расчет уставок первой и второй ступеней дистанционной защиты одиночных линий 6–35 кВ

6.4.4.1 В настоящем подразделе определяются расчетные значения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ, задаваемые уставками **«ДЗ 1 Zср»** и **«ДЗ 2 Zср»**, а также выдержки времени, задаваемые уставками **«Тдз 1»** и **«Тдз 2»**.

6.4.4.2 Сопротивления срабатывания первой $Z^{I}_{сз1}$ и второй $Z^{II}_{сз1}$ ступеней ДЗ одиночных линий с двусторонним (рисунок 6.3 а) – г)) и односторонним (рисунок 6.3 д)) питанием следует определять для случаев металлических КЗ по формулам, приведенным в таблице 6.7 [115].

В обозначениях $Z^{I}_{сз1}$ и $Z^{II}_{сз1}$ индекс «сз» означает сопротивление срабатывания, нижний цифровой индекс «1» – принадлежность к рассматриваемой защите 1, верхние индексы I и II – соответственно первую и вторую ступени ДЗ.

Значение $Z^{I}_{сз1}$ задается уставкой **«ДЗ 1 Zср»**, значение $Z^{II}_{сз1}$ задается уставкой **«ДЗ 2 Zср»**.

В формулах, приведенных в таблице 6.7, под первой ступенью защиты подразумевается ступень без выдержки времени, а под второй – ступень с выдержкой времени, определяемой по условию согласования с защитами смежных участков и защитами трансформаторов, примыкающих к противоположному концу защищаемого участка.

Формулы таблицы 6.7 применяют при использовании ДЗ в качестве основной или резервной защиты.

Окончательное расчетное значение сопротивления срабатывания первой ступени следует принимать по условию отстройки от КЗ за пределами защищаемой линии или за трансформатором противоположной подстанции для тупиковой линии в соответствии с таблицей 6.7.

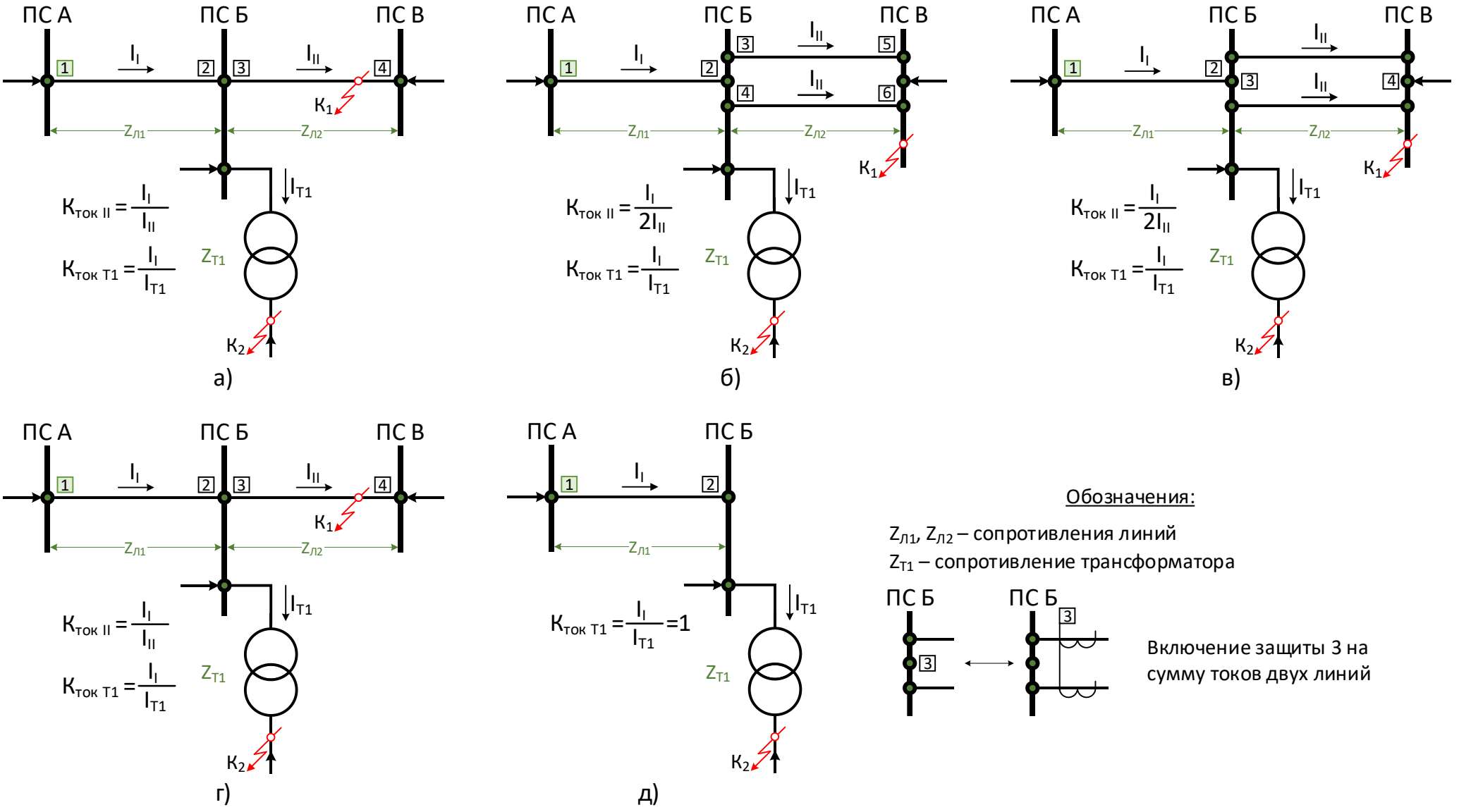
Окончательное расчетное значение сопротивления срабатывания второй ступени следует принимать равным наименьшему из значений, определенных по условиям отстройки и согласования, с последующей проверкой чувствительности по 6.4.4.10 и проверкой по току точной работы по 6.4.4.11.

6.4.4.3 Для повышения чувствительности ДЗ тупиковых линий рекомендуется выбирать полное сопротивление срабатывания первой ступени по условию отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, расположенной на противоположном по отношению к рассматриваемой защите 1 конце линии (таблица 6.7, п. 2).

6.4.4.4В формулах пп. 3–6 таблицы 6.7 для выбора сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ необходимо учитывать коэффициент токораспределения $К_{ток}$, равный отношению первичного тока в месте установки рассматриваемой защиты к току в рассматриваемом участке сети. Значение коэффициента $К_{ток}$ следует определять для реально возможной схемы и режима работы сети, которым соответствует наименьшее расчетное сопротивление в месте установки рассматриваемой защиты.

Выражения для вычисления коэффициента $К_{ток}$ в зависимости от расчетной схемы и принятого расчетного условия приведены на рисунке 6.3.

Токи КЗ для определения расчетного значения коэффициента $K_{ток}$ допускается рассчитывать для начального момента времени t=0.



Обозначения:

$Z_{Л1}$, $Z_{Л2}$ – сопротивления линий

Z_{T1} – сопротивление трансформатора

Включение защиты 3 на сумму токов двух линий

Рисунок 6.3. Примеры схем участков сети с одиночными линиями.

Таблица 6.7. Формулы для расчета сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ одиночных линий

№ п/п	Ступень защиты	Исходная схема 6.3	Расчетное условие	Расчетные выражения: В общем виде		Расчетные выражения: При принятых значениях коэффициентов (см. примечание 1)		Условие обеспечения чувствительности второй ступени защиты $Z^{II}_{сз1} \geq 1,25 \cdot Z_{Л1}$
1	I	а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии	$Z^{I}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1}}{1+\beta+\delta}$	(6.15)	$Z^{I}_{сз1} \leqq 0,85 \cdot Z_{Л1}$	(6.16)	Проверка не требуется
2		д	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z^{I}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1}+Z_{Т1}}{1+\beta+\delta}$	(6.17)	$Z^{I}_{сз1} \leqq 0,85 \cdot (Z_{Л1}+Z_{Т1})$	(6.18)	$\frac{Z_{Т1}}{Z_{Л1}} \geq 0,47$
3	II	а	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1}+\frac{1-\alpha}{k_{ток\ II}} \cdot Z^{I}_{сз3}}{1+\beta+\delta}$	(6.19)	$Z^{II}_{сз1} \leqq 0,85 \cdot Z_{Л1}+\frac{0,66}{k_{ток\ II}} \cdot Z_{Л2}$	(6.20)	$\frac{Z_{Л2}}{Z_{Л1}} \geq 0,6 \cdot k_{ток\ II}$
4		г				$Z^{II}_{сз1} \leqq 0,85 \cdot Z_{Л1}+\frac{0,78}{k_{ток\ II}} \cdot Z^{I}_{сз3}$	(6.21)	$\frac{Z^{I}_{сз3}}{Z_{Л1}} \geq 0,51 \cdot k_{ток\ II}$
5		б, в	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1}+\frac{1}{k_{ток\ II}} \cdot 0,5 \cdot Z_{Л2}}{1+\beta+\delta}$	(6.22)	$Z^{II}_{сз1} \leqq 0,85 \cdot Z_{Л1}+\frac{0,43}{k_{ток\ II}} \cdot Z_{Л2}$	(6.23)	$\frac{Z_{Л2}}{Z_{Л1}} \geq 0,93 \cdot k_{ток\ II}$
6		а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1}+\frac{Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}}{1+\beta+\delta}$	(6.24)	$Z^{II}_{сз1} \leqq 0,85 \cdot \left(Z_{Л1}+\frac{Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}\right)$	(6.25)	$\frac{Z_{Т1}}{Z_{Л1}} \geq 0,47 \cdot k_{ток\ Т1}$

Примечания:

1) Формулы даны для определения сопротивлений срабатывания первой $Z^{I}_{сз1}$ и второй $Z^{II}_{сз1}$ ступеней применительно к защите 1 одиночных линий по схемам рисунка 6.3.
2) Формулы (6.16), (6.18), (6.20), (6.21), (6.23), (6.25) и соотношения, обеспечивающие требуемую чувствительность второй ступени, составлены для коэффициентов $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,05$ и $\delta = 0,1$ с округлением расчетных коэффициентов в сторону запаса.
3) Формулы п. 5 даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.

6.4.4.5 В схемах, аналогичных приведенным на рисунке 6.3 б), в), необходимо учитывать условие отстройки второй ступени ДЗ от КЗ на шинах ПС В (таблица 6.7, п. 5), поскольку даже при наличии специальной защиты шин необходимо считаться с возможностью ее вывода или отказа.

6.4.4.6Расчет полного сопротивления срабатывания второй ступени по условию отстройки от КЗ на стороне низшего (среднего) напряжения трансформаторов (автотрансформаторов) подстанции, расположенной на противоположном относительно места установки защиты конце линии, следует выполнять по п. 6 таблицы 6.7.

6.4.4.7 В расчетах по п. 6 таблицы 6.7 сопротивления трансформаторов следует принимать равными минимально возможным эквивалентным значениям сопротивлений соответствующих трансформаторов (автотрансформаторов), которые могут иметь место при регулировании напряжения изменением их коэффициента трансформации.

При применении токовой отсечки в качестве быстродействующей защиты трансформаторов подстанции, примыкающей к противоположному концу защищаемого участка, вторую ступень рассматриваемой ДЗ целесообразно согласовывать с указанной токовой отсечкой, а не отстраивать от токов КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции аналогично тому, как согласовывают уставку второй ступени ДЗ с уставкой ТО, являющейся первой ступенью защиты предыдущего участка линии, по формуле (6.26).

6.4.4.8Согласование уставки второй ступени ДЗ с уставкой первой ступени защиты предыдущего участка, если последняя выполнена с помощью ТО, отсечки по напряжению или комбинированной отсечки по току и напряжению, следует производить по формуле, аналогичной формуле (6.19) таблицы 6.7:

$$Z_{сз1}^{II} \le \frac{Z_{Л1} + \frac{Z_{расч}}{k_{ток}}}{1 + \beta + \delta} [Ом] \quad (6.26)$$

где

$Z_{Л1}$	Ом	сопротивление участка, на котором установлена согласуемая защита
$Z_{расч}$	Ом	сопротивление зоны, надежно охватываемой защитой, с которой производится согласование, при металлическом КЗ и с учетом коэффициента надежности $k_н$=1,1
$k_{ток}$	–	коэффициент токораспределения, равный отношению тока, протекающего в месте установки рассматриваемой ДЗ, к току в месте установки защиты, с которой производится согласование, в расчетных для согласования условиях
β, δ	–	относительные погрешности соответственно защиты, с которой выполняется согласование, и рассматриваемой ДЗ, принимаемые по **6.4.3**

При принятых значениях коэффициентов $\beta = 0{,}05$ и $\delta = 0{,}1$ формулу (6.26) допускается записывать в виде:

$$Z_{сз1}^{II} \le 0{,}85 \cdot \left(Z_{Л1} + \frac{Z_{расч}}{k_{ток}}\right) [Ом] \quad (6.27)$$

При выполнении первой ступени защиты предыдущей линии комбинированной отсечкой по току и напряжению ДЗ должна быть согласована отдельно с органом тока и органом напряжения комбинированной отсечки. Условию согласования соответствует меньшее из полученных сопротивлений, поскольку при отказе по чувствительности одного из органов комбинированная отсечка отказывает полностью.

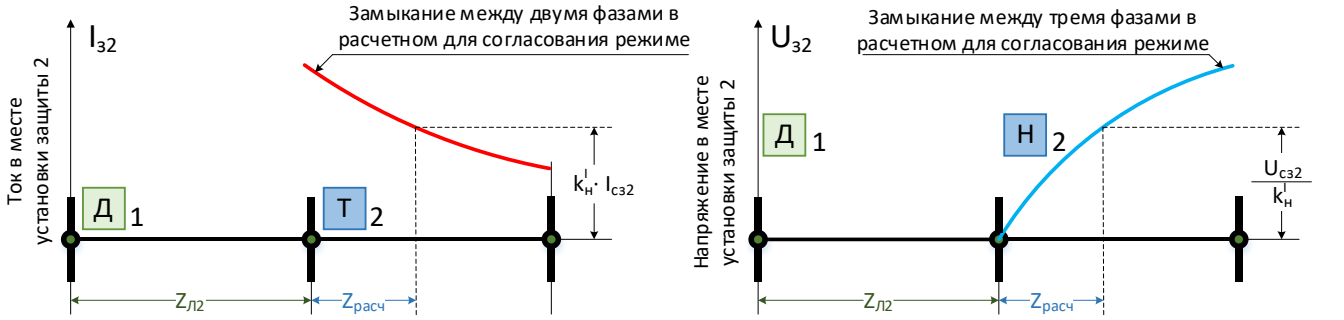
В общем случае сопротивление $Z_{расч}$ может быть определено графически:

- по кривым изменения токов в защите при КЗ – для согласования с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки по току и напряжению (рисунок 6.4, а);
- по кривым изменения напряжений в месте установки защиты при КЗ – для согласования с отсечкой по напряжению или органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению (рисунок 6.4, б).

Расчетным режимом работы сети для согласования с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки является режим с наибольшим коэффициентом токораспределения, при котором значение отношения $Z_{расч}/k_{ток}$ является наименьшим.

Расчетным видом повреждения для согласования с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки следует принимать металлическое КЗ между двумя фазами, поскольку при этом виде повреждения ток меньше, чем при других многофазных КЗ, а следовательно, меньше и сопротивление зоны, надежно охватываемой реле тока.

Для согласования ДЗ с отсечкой по напряжению или органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению за расчетный вид повреждения допускается принимать любое многофазное КЗ, так как сопротивление зоны, надежно охватываемой реле напряжения, от этого не изменяется. Расчетным режимом работы сети является режим, при котором ток в месте установки защиты наибольший.



а) Согласование с токовой отсечкой или токовым органом комбинированной отсечки по току и напряжению

б) Согласование с отсечкой по напряжению или органом напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению

Обозначения:

Д — дистанционная защита

Т — токовая отсечка или токовый орган комбинированной отсечки по току и напряжению

Н — отсечка по напряжению или орган напряжения комбинированной отсечки по току и напряжению

$I_{з2}$ и $U_{з2}$ — соответственно ток и напряжение в месте установки защиты 2 при металлическом КЗ в расчётных для согласования условиях

$I_{сз2}$ и $U_{сз2}$ — соответственно ток и напряжение срабатывания защиты 2

$k_н^I$ — коэффициент, учитывающий погрешность реле защиты 2 и погрешность в расчёте тока КЗ

Рисунок 6.4. Графическое определение сопротивления $Z_{расч}$ для согласования ДЗ с защитами тока и напряжения

6.4.4.9Значение уставки **«Тдз 1»** задержки срабатывания первой ступени следует принимать равным:

$$Тдз\ 1 = 0\ [с] \quad (6.28)$$

Значения уставки **«Тдз 2»** задержки срабатывания второй ступени по условию согласования с быстродействующей защитой предыдущего участка, с которой производится согласование, и защитами без выдержки времени, установленными на трансформаторах подстанции, примыкающей к противоположному по отношению к месту установки защиты концу защищаемого участка, следует определять по формуле:

$$Тдз\ 2 = t_{пред} + t_{уров} + \Delta t\ [с] \quad (6.29)$$

где

$t_{пред}$ с наибольшая из выдержек времени защит предыдущего участка или иных смежных защит, с которыми выполняется согласование второй ступени ДЗ в рассматриваемом расчетном условии

$t_{уров}$ с время действия УРОВ (при его наличии) на предыдущем присоединении

Δt с ступень селективности, определяемая по таблице 6.3

Если в качестве расчетных условий для второй ступени применяются несколько условий согласования, окончательное значение уставки **«Тдз 2»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по формуле (6.29).

6.4.4.10 Коэффициент чувствительности второй ступени ДЗ следует проверять при металлическом КЗ в конце защищаемой линии.

Коэффициент чувствительности второй ступени ДЗ, предназначенной для действия в пределах всей защищаемой линии, должен соответствовать требованиям ПУЭ [100, п. 3.2.25, пп. 3]:

- около 1,5 — при отсутствии третьей ступени и при использовании защиты в качестве основной.
- около 1,25 — при наличии третьей ступени, а также при отсутствии третьей ступени, если защита используется в качестве резервной.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [145, п. 14], коэффициент чувствительности ДЗ должен приниматься:

- 1,5 — для пусковых измерительных органов любого типа;
- 1,5 — для дистанционных измерительных органов при отсутствии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5;
- 1,25 — для дистанционных измерительных органов при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Для ступеней ДЗ, выполняющих функции дальнего резервирования, коэффициент чувствительности должен соответствовать требованиям Приказа Минэнерго России № 546 [**145**, п. 15]:

- 1,2 — для измерительных органов по сопротивлению срабатывания любых видов защит.

Коэффициент чувствительности второй ступени ДЗ следует вычислять по формуле:

$$k_{ч.ДЗ2} = \frac{Z_{сз1}^{II}}{Z_{Л1}} \quad (6.30)$$

где

$Z_{сз1}^{II}$ Ом сопротивление срабатывания второй ступени защиты

$Z_{Л1}$ Ом сопротивление защищаемой линии

6.4.4.11 Для правильной работы ДЗ, наряду с проверкой по сопротивлению срабатывания, необходимо выполнять проверку чувствительности по току точной работы.

Для первой и второй ступеней ДЗ одиночной линии проверку по току точной работы следует выполнять при КЗ в расчетной точке, принятой для соответствующей ступени:

- для первой ступени — в конце зоны, охватываемой первой ступенью;
- для второй ступени — в конце защищаемой линии.

Проверку следует выполнять для металлического трехфазного КЗ в минимальном режиме работы питающей сети.

В соответствии с Правилами [**100**, п. 3.2.25, пп. 3] и Требованиями [**145**, п. 14] минимальное значение коэффициента чувствительности по току точной работы должно быть:

- около 1,3.

Коэффициент чувствительности ДЗ по току точной работы следует вычислять по формуле:

$$k_{ч.т.р.ДЗ} = \frac{I_{защ.мин}}{I_{т.р.}} = \frac{I_{защ.мин}}{0{,}1 \cdot I_{н\,ТТ\,в} \cdot k_{ТТ}} \quad (6.31)$$

где

$I_{защ.мин}$ А первичный ток контролируемого контура фаза–фаза в месте установки защиты при металлическом трехфазном КЗ в расчетной точке в минимальном режиме работы питающей сети; при использовании фазного тока в качестве исходной расчетной величины необходимо привести его к току соответствующего измерительного контура

$I_{т.р.}$ А ток точной работы ДЗ от междуфазных КЗ, приведенный к первичной стороне

$I_{н\,ТТ\,в}$ А номинальный вторичный ток ТТ

$k_{ТТ}$ — коэффициент трансформации ТТ

Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** ток точной работы ДЗ от междуфазных КЗ следует принимать равным 10 % от номинального вторичного тока выбранного диапазона измерения: 1 А или 5 А. При проверке в первичных величинах значение тока точной работы следует приводить к первичной стороне через коэффициент трансформации ТТ.

Дополнительно, при необходимости оценки действия ДЗ при дуговых КЗ, допускается проверять ток точной работы с учетом расчетного переходного сопротивления дуги. Такая проверка не заменяет проверку чувствительности при металлическом КЗ.

6.4.4.12 В тех случаях, когда вторая ступень ДЗ, выбранная по условиям отстройки и согласования, не удовлетворяет требованию чувствительности по 6.4.4.10, ее сопротивление срабатывания и выдержку времени следует выбирать с учетом нижеприведенных условий.

Если определяющим для выбора сопротивления срабатывания второй ступени было условие согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка (таблица 6.7, пп. 3 и 4) , то согласование следует производить со второй ступенью той же защиты предыдущего участка.

Если определяющим было условие отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции, примыкающей к противоположному по отношению к месту установки рассматриваемой защиты концу защищаемого участка (таблица 6.7, п. 6), то это условие следует заменить согласованием с быстродействующей защитой элементов стороны низшего (среднего) напряжения рассматриваемой подстанции.

Если определяющим было условие отстройки от КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу предыдущего участка (таблица 6.7, п. 5), то выбор должен производиться по условию согласования со второй ступенью защиты предыдущего участка как при включении последней на ток одной линии (рисунок 6.3 б), так и на сумму токов двух параллельных линий (рисунок 6.3, в).

Если и в этом случае уставка не удовлетворяет требованию чувствительности или если вторая ступень защиты предыдущего участка имеет большую выдержку времени и, следовательно, согласование с ней приводит к чрезмерному увеличению времени действия второй ступени защищаемого участка, то при наличии специальной защиты шин условие отстройки от токов КЗ на шинах подстанции, примыкающей к дальнему концу предыдущего участка, допускается не учитывать. В этом случае сопротивление срабатывания второй ступени рассматриваемой защиты исходя из условия обеспечения требуемого коэффициента чувствительности следует определять по формуле:

$$Z^{II}_{сз1} = Z_{Л1} \cdot k_{ч.треб.ДЗ2}\ [Ом] \qquad (6.32)$$

где

$Z_{Л1}$ Ом сопротивление защищаемой линии

$k_{ч.треб.ДЗ2}$ – требуемое значение коэффициента чувствительности второй ступени ДЗ, принимаемое в соответствии с 6.4.4.10

При этом вторая ступень рассматриваемой защиты в схеме, соответствующей рисунку 6.3, б), должна быть согласована с первой ступенью защиты 3 при каскадном отключении КЗ на участке ПС Б – ПС В.

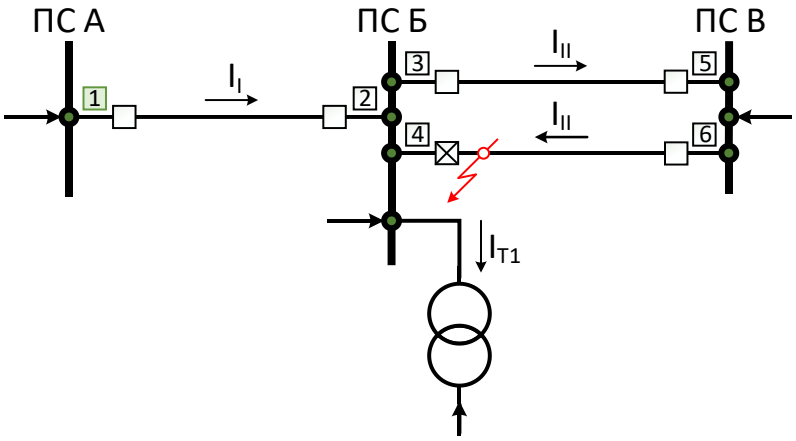


Рисунок 6.5. Каскадное отключение повреждения на участке ПС Б – ПС В.

При таком согласовании должен быть учтен коэффициент возврата дистанционного органа второй ступени защиты 1, так как дистанционный орган может сработать до начала каскадного отключения КЗ на участке ПС Б – ПС В.

Согласование второй ступени защиты 1 с первой ступенью защиты 3 при каскадном отключении следует выполнять по формулам таблицы 6.7, соответствующим условию согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка. При этом знаменатель правой части расчетного выражения следует дополнительно умножать на коэффициент возврата дистанционного органа второй ступени $k_{в.ДЗ2}$, принимаемый по 6.6.

В схеме, приведенной на рисунке 6.3, в), должно быть выполнено аналогичное согласование, но в режиме работы одной линии на участке ПС Б – ПС В, так как только в этом режиме вводится в действие первая ступень суммарной защиты 3.

Согласование следует выполнять по формулам таблицы 6.7, соответствующим условию согласования с первой ступенью защиты предыдущего участка, с учетом коэффициента возврата.

Кроме того, выдержка времени второй ступени защиты 1 (в схеме по 6.3, в) должна быть выбрана с учетом возможности каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты (которая предполагается установленной на параллельных линиях участка ПС Б – ПС В).

Если вторая ступень защиты 1 с учетом коэффициента возврата $k_{в.ДЗ2}$ отстроена от КЗ на границе зоны каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты со стороны ПС В, каскадное действие указанной защиты при выборе выдержки времени второй ступени защиты 1 допускается не учитывать.

Учет коэффициента возврата может также потребоваться в общем случае согласования второй ступени рассматриваемой ДЗ с первой ступенью защиты предыдущего участка, когда согласование до начала каскадного отключения с учетом коэффициента токораспределения и влияния обходных связей приводит к недопустимому загрублению второй ступени рассматриваемой защиты.

В этом случае допускается выполнять согласование в режиме каскадного отключения КЗ защитой противоположного конца смежной линии. При таком согласовании значение коэффициента токораспределения следует определять для режима каскадного отключения, а расчетное выражение следует применять с учетом коэффициента возврата $k_{в.ДЗ2}$.

6.4.5 Расчет уставок первой и второй ступеней дистанционной защиты двух параллельных линий 6–35 кВ

6.4.5.1В настоящем подразделе определяются расчетные значения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ двух параллельных линий, задаваемые уставками **«ДЗ 1 Zср»** и **«ДЗ 2 Zср»**, а также выдержки времени, задаваемые уставками **«Тдз 1»** и **«Тдз 2»**.

6.4.5.2Сопротивление срабатывания первой $Z^{I}_{сз1}$ ступени ДЗ двух параллельных линий с двусторонним (рисунок 6.6 а) – е)) и односторонним питанием, кроме тупиковых, следует определять, как и для защиты одиночных линий, по формулам (6.15) и (6.16) таблицы 6.7 как при включении рассматриваемой защиты на ток одной линии, так и на сумму токов двух линий, поскольку на рассматриваемых линиях первая ступень ДЗ, включенной на сумму токов двух линий, вводится в действие только при отключении одной из параллельных линий.

В обозначениях $Z^{I}_{сз1}$ и $Z^{II}_{сз1}$ индекс «сз» означает сопротивление срабатывания, нижний цифровой индекс «1» – принадлежность к рассматриваемой защите 1, верхние индексы I и II – соответственно первую и вторую ступени ДЗ.

Значение $Z^{I}_{сз1}$ задается уставкой **«ДЗ 1 Zср»**, $Z^{II}_{сз1}$ задается уставкой **«ДЗ 2 Zср»**.

Первичное сопротивление срабатывания $Z^{I}_{сз1}$ первой ступени защиты тупиковых параллельных линий определяется:

- по формулам (6.15) и (6.16) таблицы 6.7 – при включении защиты на ток одной линии (рисунок 6.6, ж);
- по формулам (6.45) и (6.46) таблицы 6.8 при включении защиты на сумму токов двух линий, поскольку в последнем случае первая ступень защиты выполняется с выдержкой времени, равной ступени селективности (рисунок 6.6, з) и может быть отстроена от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения приемной подстанции, как обычно отстраивается вторая ступень защиты.

6.4.5.3Первичное сопротивление срабатывания $Z^{II}_{сз1}$ второй ступени ДЗ параллельных линий с выдержкой времени, выбираемой в соответствии с 6.4.5.6, определяется для случаев металлических коротких замыканий по выражениям, приведенным в таблице 6.8.

В случаях, когда участок линии от ПС Б до ПС В для схем рисунка 6.6 а) и г) является тупиковым, согласование уставок второй ступени ДЗ с уставками первой ступени защиты 5 или 3 может производиться по формулам (6.33), (6.34) и (6.41), (6.42), приведенным в таблице 6.8 с учетом того, что сопротивление срабатывания защиты 5 или 3 должно соответствовать условию п. 2 таблицы 6.7.

Выражения таблицы 6.8 действительны как для случая использования защиты в качестве основной или резервной при работе одной или двух линий (при включении защиты на ток одной линии – пп. 1–4 таблица 6.8), так и для случая использования защиты в качестве резервной при работе двух линий и основной при работе одной линии (при включении защиты на сумму токов двух параллельных линий – пп. 5–7 таблица 6.8).

Окончательное значение первичного сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ следует принимать равным наименьшему из значений, определенных по расчетным условиям таблицы 6.8, с учетом указаний 6.4.5.4 и 6.4.5.5.

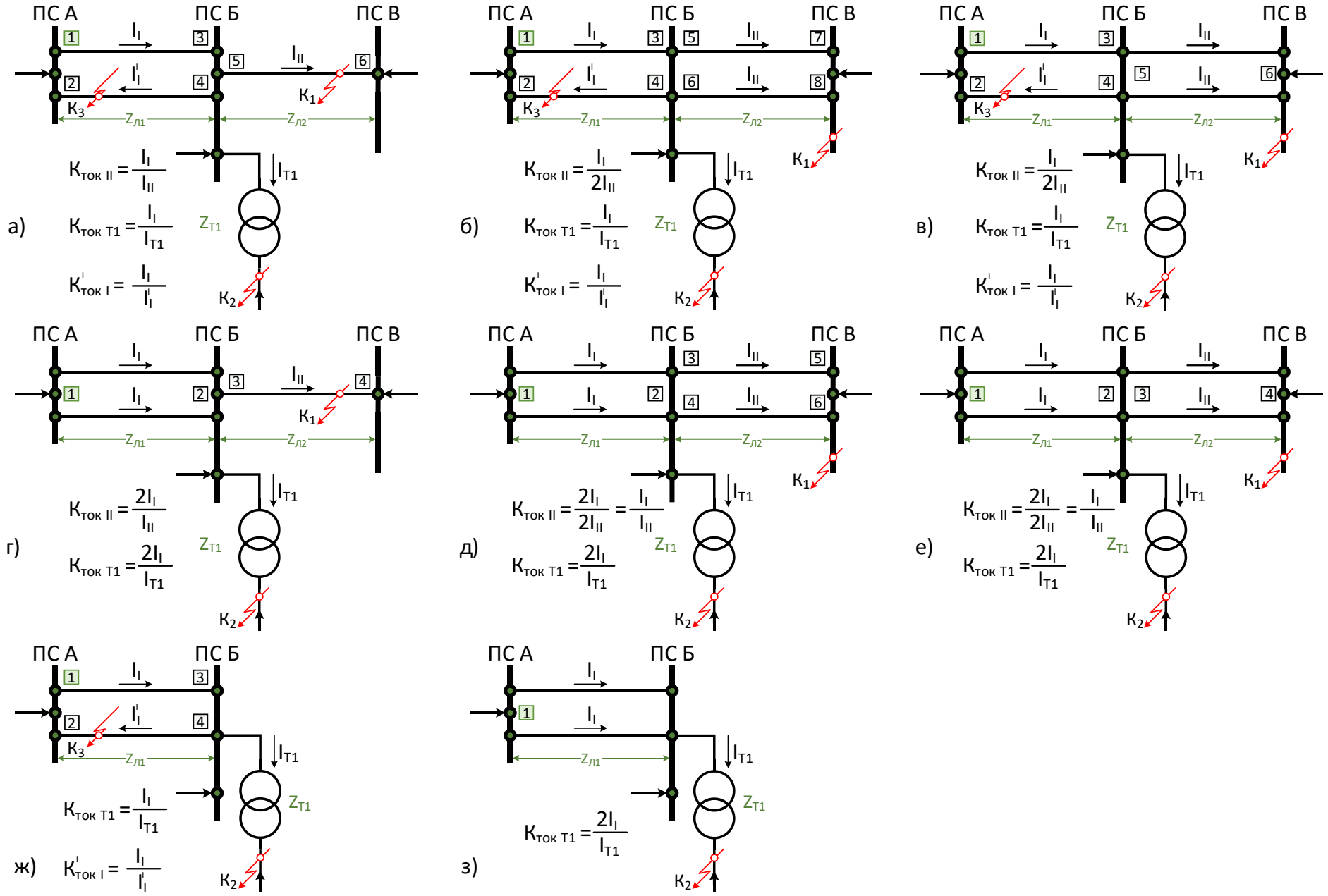


Рисунок 6.6. Примеры схем участков сети с параллельными линиями. Обозначения см. на рисунке 6.3

Таблица 6.8. Формулы для расчета сопротивлений срабатывания второй ступени ДЗ параллельных линий

№ п/п	Включение защиты	Исходная схема 6.6	Расчетное условие	Расчетное число линий на участке ПС А – ПС Б	Расчетные выражения: В общем виде		При принятых значениях коэффициентов (см. примечание 2)		Условие обеспечения чувствительности второй ступени защиты $Z^{II}_{сз1} \geq 1,25 \cdot Z_{Л1}$
1	На ток одной линии	а	Согласование с первой ступенью защиты 5 предыдущего участка	Одна	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1} + \frac{1-\alpha}{k_{ток\ II}} \cdot Z^{I}_{сз5}}{1+\beta+\delta}$	(6.33)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,85 \cdot Z_{Л1} + \frac{0,66}{k_{ток\ II}} \cdot Z_{Л2}$	(6.34)	$\frac{Z_{Л2}}{Z_{Л1}} \geq 0,6 \cdot k_{ток\ II}$
2		б, в	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	Одна	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1} + \frac{1}{k_{ток\ II}} \cdot 0,5 \cdot Z_{Л2}}{1+\beta+\delta}$	(6.35)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,85 \cdot Z_{Л1} + \frac{0,43}{k_{ток\ II}} \cdot Z_{Л2}$	(6.36)	$\frac{Z_{Л2}}{Z_{Л1}} \geq 0,93 \cdot k_{ток\ II}$
3		а, б, в, ж	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	Одна	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1} + \frac{Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}}{1+\beta+\delta}$	(6.37)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,85 \cdot \left(Z_{Л1} + \frac{Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}\right)$	(6.38)	$\frac{Z_{Т1}}{Z_{Л1}} \geq 0,47 \cdot k_{ток\ Т1}$
4		а, б, в, ж	Согласование с первой ступенью защиты 4 при каскадном отключении повреждения на параллельной линии	Две	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{Z_{Л1} + \frac{1-\alpha}{k'_{ток\ I}} \cdot Z^{I}_{сз4}}{1+\beta+\delta}$	(6.39)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,85 \cdot Z_{Л1} + \frac{0,66}{k'_{ток\ I}} \cdot Z_{Л1}$	(6.40)	$k'_{ток\ I} \leq 1,66$
5		г	Согласование с первой ступенью защиты 3	Две	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{Л1} + \frac{1}{k_{ток\ II}} \cdot Z^{I}_{сз3}}{1+\beta+\delta}$	(6.41)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,43 \cdot Z_{Л1} + \frac{0,66}{k_{ток\ II}} \cdot Z_{Л2}$	(6.42)	$\frac{Z_{Л2}}{Z_{Л1}} \geq 1,25 \cdot k_{ток\ II}$
6	На сумму токов двух линий	д, е	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	Две	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{Л1} + \frac{1}{k_{ток\ II}} \cdot 0,5 \cdot Z_{Л2}}{1+\beta+\delta}$	(6.43)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,43 \cdot \left(Z_{Л1} + \frac{Z_{Л2}}{k_{ток\ II}}\right)$	(6.44)	$\frac{Z_{Л2}}{Z_{Л1}} \geq 1,91 \cdot k_{ток\ II}$
7		г, д, е, з	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	Две	$Z^{II}_{сз1} \leq \frac{0,5 \cdot Z_{Л1} + \frac{Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}}{1+\beta+\delta}$	(6.45)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0,43 \cdot Z_{Л1} + \frac{0,85}{k_{ток\ Т1}} \cdot Z_{Т1}$	(6.46)	$\frac{Z_{Т1}}{Z_{Л1}} \geq 0,97 \cdot k_{ток\ Т1}$

Примечания:

1) В таблице формулы даны для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 параллельных линий по схемам рисунка 6.6.
2) Значения коэффициентов α, β, δ даны в примечании 2 к таблице 6.7.
3) Расчетные выражения даны для случая равенства сопротивлений параллельных линий одного участка.
4) Соотношение, обеспечивающее требуемую чувствительность второй ступени защиты, включенной на сумму токов параллельных линий, при КЗ в конце линии $Z^{II}_{сз1} \geq 1,25 \cdot Z_{Л1}$ приведено для случая отключения одной из параллельных линий защищаемого участка.

6.4.5.4При выборе сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ, включенной на ток одной линии (рисунок 6.6, а – в), необходимо учитывать следующее:

а) Согласование с первой ступенью защиты 5 для схемы по рисунку 6.6, а (таблица 6.8, п. 1) должно производиться при отключении второй параллельной линии на участке ПС А – ПС Б. Пояснение к данному условию дано на рисунке 6.7, а.

б) Отстройка от КЗ на шинах ПС В для схем по рисунку 6.6, б и в (учитывается случай выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, ее отказ или отсутствие последней) в соответствии с п. 2 таблицы 6.8 должна производиться в режиме, когда на рассматриваемом участке ПС А – ПС Б работает одна линия, а на предыдущем участке ПС Б – ПС В работают две линии. Пояснение к данному условию дано на рисунке 6.7, б и в.

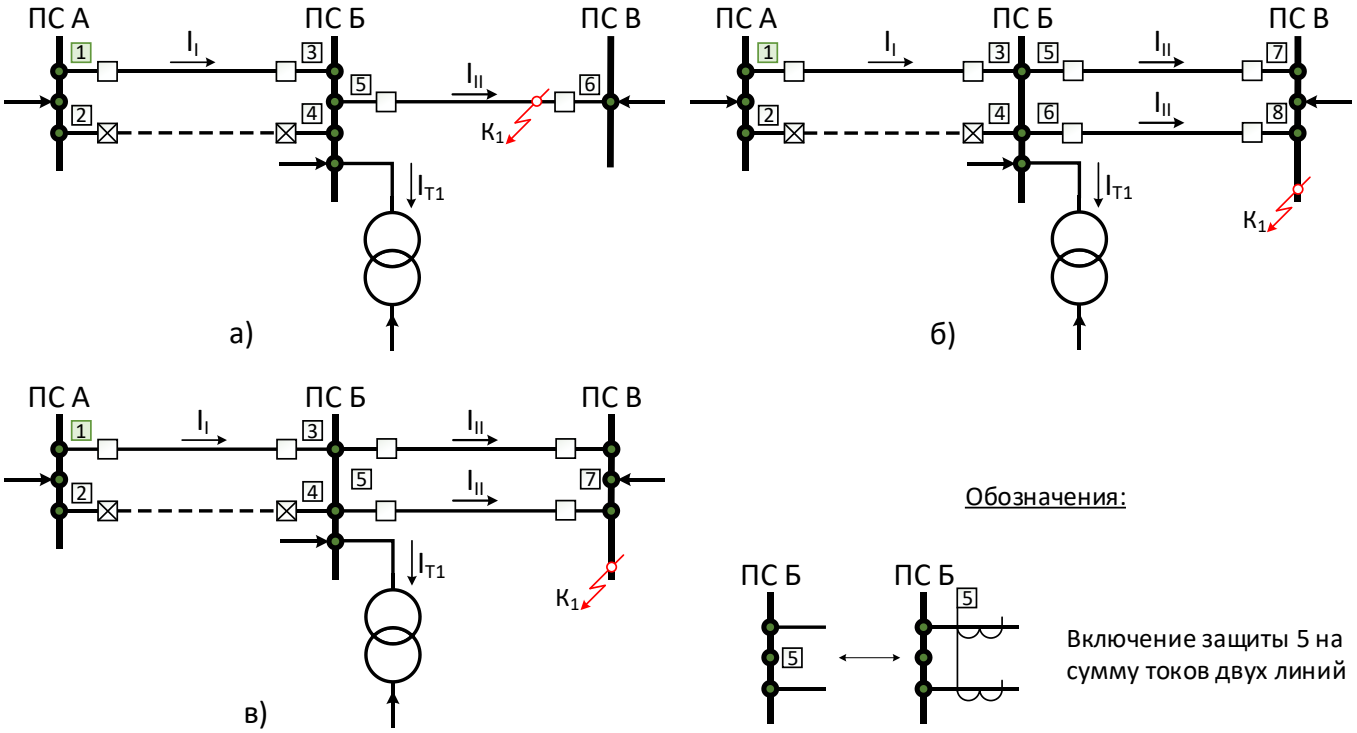


Рисунок 6.7. Расчетные условия для согласования второй ступени ДЗ, включенной на ток одной линии, при наличии параллельных линий.

Если при учете данных условий вторая ступень рассматриваемой ДЗ не удовлетворяет требованию чувствительности к повреждению в конце защищаемого участка (не обеспечивается коэффициент чувствительности, определяемый по формуле (6.30)), то при наличии специальной защиты шин указанный режим допустимо не учитывать. В этом случае отстройка от КЗ на шинах производится в режиме, когда на участках ПС А – ПС Б и ПС Б – ПС В работают обе линии.

В схеме рисунка 6.6 б) должно быть произведено также согласование рассматриваемой второй ступени защиты 1 с первой ступенью защиты 5 при каскадном отключении КЗ на линии ПС Б – ПС В в режиме отключения параллельной линии на участке ПС А – ПС Б. Пояснение к данному условию дано на рисунке 6.8.

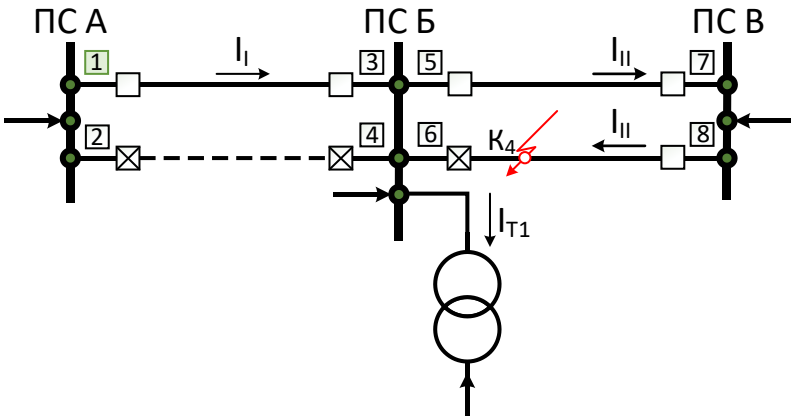


Рисунок 6.8. Расчетное условие для согласования второй ступени ДЗ защиты 1 с первой ступенью защиты 5 при каскадном отключении КЗ на линии ПС Б – ПС В в режиме отключения параллельной линии на участке ПС А – ПС Б

Согласование производят по формулам (6.19) и (6.20) таблицы 6.7, а знаменатель правой части формул должен быть умножен на коэффициент возврата ДЗ по сопротивлению, принимаемый по таблице 6.8.

Для схемы рисунка 6.6 в) аналогичного согласования в этом случае не требуется, поскольку не следует рассматривать режим работы одной линией одновременно на участках ПС А — ПС Б и ПС Б — ПС В, а первая ступень защиты 5 вводится в действие только при отключении одной из линий на участке ПС Б — ПС В. При наличии на параллельных линиях участка ПС Б — ПС В поперечной дифференциальной направленной защиты, выдержка времени второй ступени защиты 1 должна быть выбрана с учетом возможности каскадного действия данной защиты.

в) Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б в схемах по рисунку 6.6 а) — в) и ж) в соответствии с п. 3 таблицы 6.8 должна производиться в режиме, когда на рассматриваемом участке ПС А — ПС Б работает одна линия. В схемах по рисунку 6.6 б) и в) дополнительно должен рассматриваться также режим работы одной линии на участке ПС Б — ПС В. При этом за расчетный принимается режим, которому соответствует наибольший коэффициент токораспределения $К_{ток}$.

г) Согласование с первой ступенью защиты 4 в схемах по рисунку 6.6 а) — в) и ж) (п. 4 таблицы 6.8) должно производиться при КЗ на параллельной линии и каскадном ее отключении.

д) В тех случаях, когда вторая ступень ДЗ, выбранная в соответствии с пп. «а», «б» и «в», не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно ее сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями 6.4.4.12.

6.4.5.5 При выборе сопротивления срабатывания второй ступени ДЗ, включенной на сумму токов параллельных линий (рисунок 6.6, г) — е) и з)), необходимо учитывать следующее:

а) согласование с первой ступенью защиты 3 в схеме по рисунку 6.6, г) (таблица 6.8, п. 5) должно производиться в режиме работы обеих линий на участке ПС А — ПС Б;

б) отстройка от КЗ на шинах ПС В в схемах по рисунку 6.6, д) и е) (учитывается случай выведения из действия предусмотренной для шин специальной защиты, ее отказ или отсутствие последней) в соответствии с п. 6 таблицы 6.8 должна производиться в режиме работы обеих линий на участке ПС А — ПС Б и ПС Б — ПС В;

в) отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б в схемах по рисунку 6.6, г) — е) и з) должна производиться в режиме, когда на участке ПС А — ПС Б работают обе линии; для схем по рисунку 6.6, д) и е) на участке ПС Б — ПС В должна рассматриваться работа одной линии;

г) в тех случаях, когда вторая ступень ДЗ, выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке ПС А — ПС Б (таблица 6.8, пп. 5—7), не удовлетворяет требованию чувствительности к КЗ в конце защищаемого участка при работе одной линии на участке ПС А — ПС Б, в схемах должно быть предусмотрено изменение сопротивления срабатывания в режиме работы одной линии (**115**, приложение VIII). При этом сопротивление срабатывания второй ступени, на которое переключается защита после отключения параллельной линии, определяется по выражениям пп. 3 — 6 таблицы 6.7 для расчета защит одиночных линий.

6.4.5.6Значение уставки **«Тдз 1»** задержки срабатывания первой ступени, выполняемой без выдержки времени, следует принимать равным:

$$Тдз\ 1 = 0\ [с] \tag{6.47}$$

Для тупиковых параллельных линий при включении ДЗ на сумму токов двух линий и выборе сопротивления срабатывания первой ступени по выражениям (6.45) и (6.46) таблицы 6.8 значение уставки **«Тдз 1»** следует принимать равным ступени селективности Δt, определяемой по таблице 6.3.

Значение уставки **«Тдз 2»** задержки срабатывания второй ступени по условию согласования с быстродействующей защитой предыдущего участка и защитами без выдержки времени, установленными на трансформаторах ПС, примыкающей к противоположному концу защищаемого участка, следует определять по формуле:

$$Тдз\ 2 = t_{пред} + t_{уров} + \Delta t\ [с] \tag{6.48}$$

где

$t_{пред}$ с время срабатывания ступени защиты, с которой производится согласование

$t_{уров}$ с время действия УРОВ (при его наличии) на предыдущем присоединении

Δt с ступень селективности, определяемая по таблице 6.3

Значение уставки **«Тдз 2»** задержки срабатывания второй ступени ДЗ, включенной на сумму токов параллельных линий, по условию отстройки от времени каскадного отключения одной из параллельных линий поперечной дифференциальной направленной защитой, если последняя использована в качестве основной защиты этих линий, следует определять по формуле:

$$\text{Тдз } 2 = t_{\text{попереч.каскад}} + \Delta t \text{ [с]} \quad (6.49)$$

где

$t_{\text{попереч.каскад}}$ с время каскадного действия поперечной дифференциальной направленной защиты параллельных линий участка ПС Б – ПС В

Окончательное значение уставки **«Тдз 2»** следует принимать равным наибольшему из полученных расчетных значений.

Проверку чувствительности второй ступени ДЗ и ее согласование с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих участках, следует выполнять так же, как для защиты одиночных линий в соответствии с 6.4.4.12, для режима работы одной из параллельных линий рассматриваемого участка. При этом для ДЗ, включенной на сумму токов параллельных линий, определение чувствительности следует производить по режиму работы одной из параллельных линий рассматриваемого участка.

6.4.6 Расчет уставок первой и второй ступеней дистанционной защиты одиночных и параллельных линий 6-35 кВ с ответвлениями

6.4.6.1В настоящем подразделе определяются расчетные значения сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ одиночных и параллельных линий с ответвлениями, задаваемые уставками **«ДЗ 1 Zср»** и **«ДЗ 2 Zср»**, а также выдержки времени, задаваемые уставками **«Тдз 1»** и **«Тдз 2»**.

6.4.6.2Определение сопротивлений срабатывания первой $Z_{сз1}^{I}$ и второй $Z_{сз1}^{II}$ ступеней ДЗ линий с ответвлениями, а также определение коэффициентов чувствительности этой защиты следует производить с учетом токораспределения на отдельных участках линии.

В обозначениях $Z_{сз1}^{I}$ и $Z_{сз1}^{II}$ индекс «сз» означает сопротивление срабатывания, нижний цифровой индекс «1» – принадлежность к рассматриваемой защите 1, верхние индексы I и II – соответственно первую и вторую ступени ДЗ.

Значение $Z_{сз1}^{I}$ задается уставкой **«ДЗ 1 Zср»**, $Z_{сз1}^{II}$ задается уставкой **«ДЗ 2 Zср»**.

Значение коэффициента токораспределения $K_{ток}$ следует принимать для наихудшего для соответствующего расчета режима сети:

- при расчете сопротивлений срабатывания принимается реально возможный режим, при котором значение $K_{ток}$ максимально, т.е. отношение $Z_{расч}/k_{ток}$ минимально;
- при расчете коэффициента чувствительности принимается режим, при котором значение $K_{ток}$ минимально, т.е. отношение $Z_{расч}/k_{ток}$ максимально.

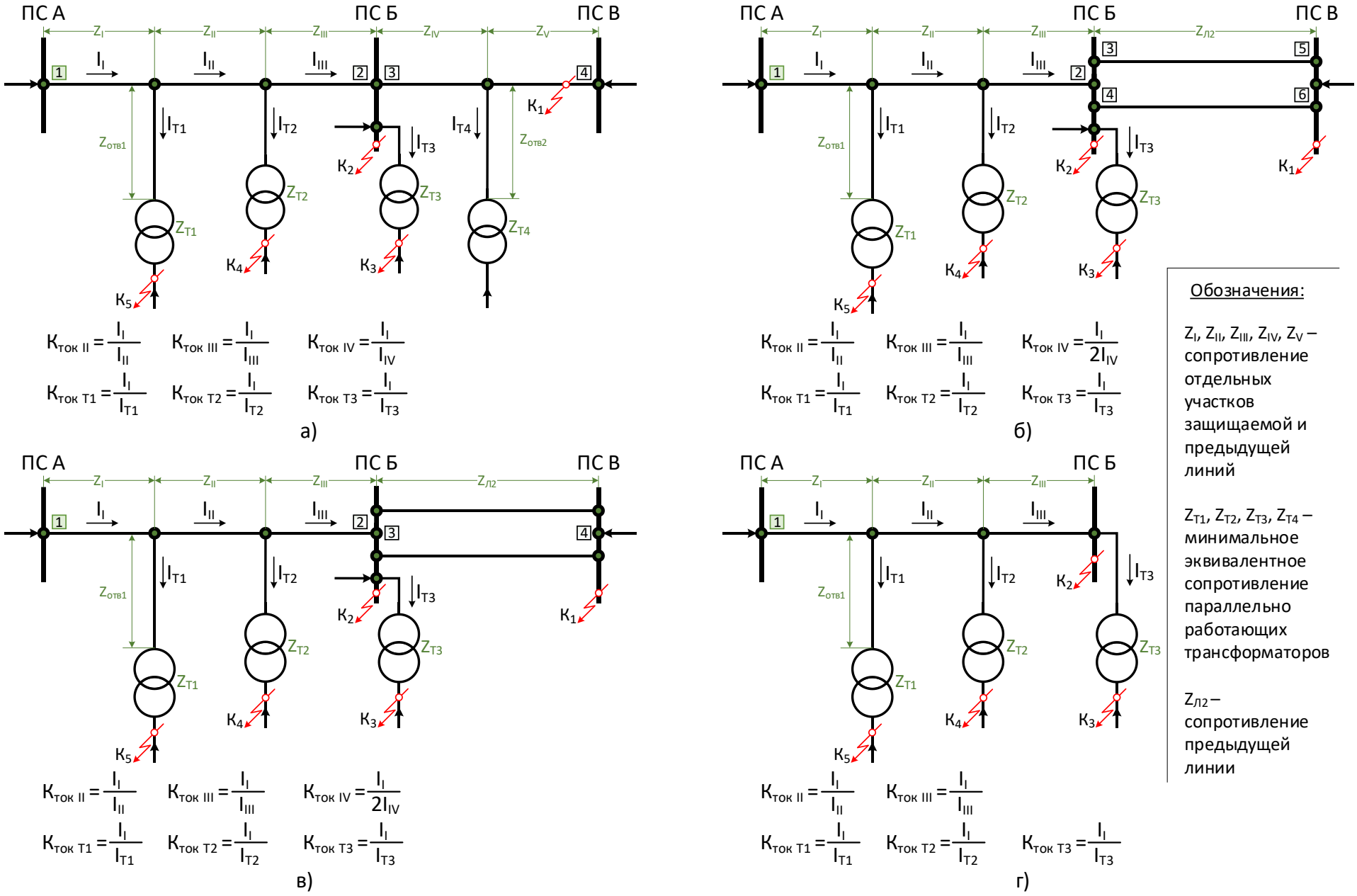


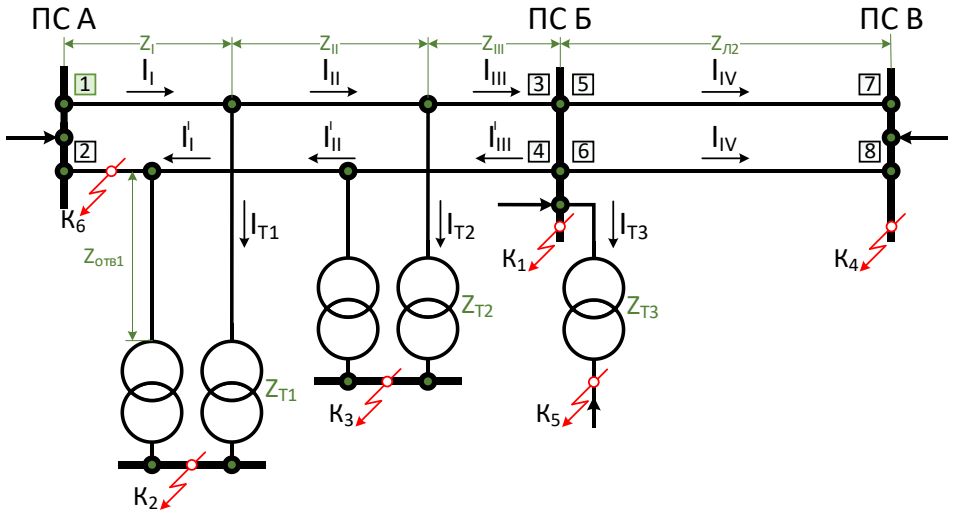
Рисунок 6.9. Примеры одиночных линий с ответвлениями

Таблица 6.9. Формулы для расчета сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ одиночных линий с ответвлениями

№ п/п	Ступень защиты	Исходная схема 6.9	Расчетное условие	Расчетные выражения: В общем виде		При принятых значениях коэффициентов (см. примечание 2)	
1	I	а, б, в	Отстройка от КЗ на шинах ПС, примыкающей к противоположному концу линии	$Z^{I}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}}{1+\beta+\delta}$	(6.50)	$Z^{I}_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}\right)$	(6.51)
2		г	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z^{I}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{Z_{Т3}}{k_{ток\ III}}}{1+\beta+\delta}$	(6.52)	$Z^{I}_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}+Z_{Т3}}{k_{ток\ III}}\right)$	(6.53)
3	I и II	а, б, в, г	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях	$Z_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{отв1}+Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}}{1+\beta+\delta}$	(6.54)	$Z_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{отв1}+Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}\right)$	(6.55)
4				$Z_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{Т2}}{k_{ток\ Т2}}}{1+\beta+\delta}$	(6.56)	$Z_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{Т2}}{k_{ток\ Т2}}\right)$	(6.57)
5		а	Согласование с первой ступенью защиты 3	$Z^{II}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{1-\alpha}{k_{ток\ IV}} \cdot Z_{IV} + \frac{1-\alpha}{k_{ток\ V}} \cdot (Z^{I}_{сз3} - Z_{IV})}{1+\beta+\delta}$	(6.58)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}\right) + 0{,}78 \cdot \left(\frac{Z_{IV}}{k_{ток\ IV}} + \frac{Z^{I}_{сз3}}{k_{ток\ V}} - \frac{Z_{IV}}{k_{ток\ V}}\right)$	(6.59)
6	II	б, в	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б — ПС В	$Z^{II}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{0{,}5 \cdot Z_{Л2}}{k_{ток\ IV}}}{1+\beta+\delta}$	(6.60)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}\right) + \frac{0{,}43}{k_{ток\ IV}} Z_{Л2}$	(6.61)
7		а, б, в	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z^{II}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{Z_{Т3}}{k_{ток\ Т3}}}{1+\beta+\delta}$	(6.62)	$Z^{II}_{сз1} \cong 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{Z_{Т3}}{k_{ток\ Т3}}\right)$	(6.63)

Примечания:

1) В таблице формулы даны для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 одиночных линий с ответвлениями по схемам рисунка 6.9.
2) Принятые обозначения и значения коэффициентов даны на рисунке 6.9 и в примечании 2 к таблице 6.7.
3) Расчетное выражение п. 6 таблицы приведено для случая равенства сопротивлений параллельных линий участка ПС Б — ПС В

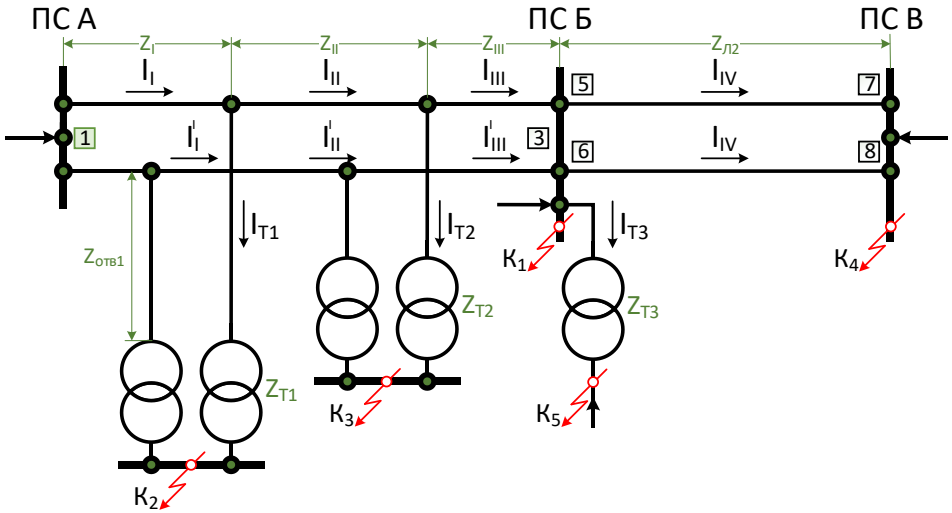


$K_{ток\ I} = 1$ $\quad K_{ток\ II} = \frac{I_I}{I_{II}}$ $\quad K_{ток\ III} = \frac{I_I}{I_{III}}$ $\quad K_{ток\ IV} = \frac{I_I}{2I_{IV}}$

$K_{ток\ T1} = \frac{I_I}{I_{T1}}$ $\quad K_{ток\ T2} = \frac{I_I}{I_{T2}}$ $\quad K_{ток\ T3} = \frac{I_I}{I_{T3}}$

$K'_{ток\ I} = \frac{I_I}{I'_I}$ $\quad K'_{ток\ II} = \frac{I_I}{I'_{II}}$ $\quad K'_{ток\ III} = \frac{I_I}{I'_{III}}$

а)

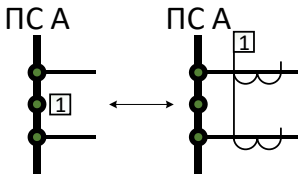


$K_{ток\ I} = \frac{I_I + I'_I}{I_I}$ $\quad K_{ток\ II} = \frac{I_I + I'_I}{I_{II}}$ $\quad K_{ток\ III} = \frac{I_I + I'_I}{I_{III}}$ $\quad K_{ток\ IV} = \frac{I_I + I'_I}{2I_{IV}}$

$K_{ток\ T1} = \frac{I_I + I'_I}{I_{T1}}$ $\quad K_{ток\ T2} = \frac{I_I + I'_I}{I_{T2}}$ $\quad K_{ток\ T3} = \frac{I_I + I'_I}{I_{T3}}$

б)

Обозначения:



Включение защиты 1 на сумму токов двух линий

Рисунок 6.10. Примеры параллельных линий с ответвлениями. Обозначения на рисунке 6.9

Таблица 6.10. Формулы для расчета сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней ДЗ параллельных линий с ответвлениями

№ п/п	СТУПЕНЬ ЗАЩИТЫ	ИСХОДНАЯ СХЕМА 6.10	РАСЧЕТНОЕ УСЛОВИЕ	РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ			
				В общем виде		При принятых значениях коэффициентов (см. примечание 2)	
1	I	а, б	Отстройка от КЗ на шинах противоположного конца линии	$Z^{I}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}}{1+\beta+\delta}$	(6.64)	$Z^{I}_{сз1} \lessapprox 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}\right)$	(6.65)
2	I и II	а, б	Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях	$Z_{сз1} \le \frac{\frac{Z_I}{k_{ток\ Т1}} + \frac{Z_{отв1} + Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}}{1+\beta+\delta}$	(6.66)	$Z_{сз1} \lessapprox 0{,}85 \cdot \left(\frac{Z_I}{k_{ток\ Т1}} + \frac{Z_{отв1} + Z_{Т1}}{k_{ток\ Т1}}\right)$	(6.67)
3				$Z_{сз1} \le \frac{\frac{Z_I}{k_{ток\ I}} + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{Т2}}{k_{ток\ Т2}}}{1+\beta+\delta}$	(6.68)	$Z_{сз1} \lessapprox 0{,}85 \cdot \left(\frac{Z_I}{k_{ток\ I}} + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{Т2}}{k_{ток\ Т2}}\right)$	(6.69)
4	II	а, б	Отстройка от КЗ на шинах ПС В при двух линиях на участке ПС Б – ПС В	$Z^{II}_{сз1} \le \frac{\frac{Z_I}{k_{ток\ I}} + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{0{,}5 \cdot Z_{Л2}}{k_{ток\ IV}}}{1+\beta+\delta}$	(6.70)	$Z^{II}_{сз1} \lessapprox 0{,}85 \cdot \left(\frac{Z_I}{k_{ток\ I}} + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}\right) + \frac{0{,}43}{k_{ток\ IV}} Z_{Л2}$	(6.71)
5			Отстройка от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения ПС Б	$Z^{II}_{сз1} \le \frac{\frac{Z_I}{k_{ток\ I}} + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{Z_{Т3}}{k_{ток\ Т3}}}{1+\beta+\delta}$	(6.72)	$Z^{II}_{сз1} \lessapprox 0{,}85 \cdot \left(\frac{Z_I}{k_{ток\ I}} + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{Z_{Т3}}{k_{ток\ Т3}}\right)$	(6.73)
6		а	Согласование с первой ступенью защиты 4 при каскадном отключении повреждения на параллельной линии	$Z^{II}_{сз1} \le \frac{Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}} + \frac{1-\alpha}{k'_{ток\ III}} \cdot Z_{III} + \ldots \rightarrow}{1+\beta+\delta}$ $\leftarrow \ldots \frac{\frac{1-\alpha}{k'_{ток\ II}} \cdot Z_{II} + \frac{1-\alpha}{k'_{ток\ Т1}} \cdot (Z^{I}_{сз4} - Z_{II} - Z_{III})}{1+\beta+\delta}$	(6.74)	$Z^{II}_{сз1} \lessapprox 0{,}85 \cdot \left(Z_I + \frac{Z_{II}}{k_{ток\ II}} + \frac{Z_{III}}{k_{ток\ III}}\right) +$ $+0{,}78 \cdot \left(\frac{Z_{III}}{k'_{ток\ III}} + \frac{Z_{II}}{k'_{ток\ II}} + \frac{Z^{I}_{сз4} - Z_{II} - Z_{III}}{k'_{ток\ I}}\right)$	(6.75)

Примечания:

1) В таблице формулы даны для определения сопротивлений срабатывания применительно к защите 1 параллельных линий с ответвлениями по схемам рисунка 6.10.
2) Принятые обозначения и значения коэффициентов даны на рисунке 6.10 и в примечании 2 к таблице 6.7.
3) Расчетное выражение п. 6 таблицы приведено для случая равенства сопротивлений параллельных линий участка ПС Б — ПС В

6.4.6.3При определении уставок сопротивлений срабатывания первой $Z_{сз1}^{I}$ и второй $Z_{сз1}^{II}$ ступеней ДЗ одиночных и параллельных линий с ответвлениями, помимо условий, применяемых для линий без ответвлений, следует дополнительно обеспечить отстройку от КЗ на шинах НН (СН) подстанций на ответвлениях. Для этого в расчете рассматривают КЗ за силовыми трансформаторами этих подстанций с наименьшим приведенным к стороне линии расчетным сопротивлением, расположенными наиболее близко к месту установки рассматриваемой защиты. Под «приведенным к стороне линии» понимается пересчет всех участвующих в расчете сопротивлений к уровню напряжения, на котором установлена защита.

6.4.6.4 Первичное сопротивление срабатывания первой $Z_{сз1}^{I}$ и второй $Z_{сз1}^{II}$ ДЗ линий с ответвлениями определяется:

- по формулам таблицы 6.9 — для одиночных линий с ответвлениями (схемы рисунка 6.9);
- по формулам таблицы 6.10 — для параллельных линий с ответвлениями (схемы рисунка 6.10).

В качестве сопротивления срабатывания для первой и второй ступеней защиты принимаются наименьшие из сопротивлений, полученных по приведенным в таблицах 6.9 и 6.10 расчетным условиям.

6.4.6.5 При определении сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней защит одиночных линий (схемы рисунка 6.9), а также защиты, включенной на ток одной из двух параллельных линий (схемы рисунка 6.10, а) по условию отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях (соответственно пп. 3 и 4 табл. 6.9 и пп. 2 и 3 табл. 6.10) должны рассматриваться следующие режимы:

а) часть подстанций на ответвлениях отключена, на других включена реально возможная минимальная подпитка от источников питания;

б) защищаемая линия отключена со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты. Указанный режим должен учитываться, например, если на подстанции, примыкающей к противоположному (по отношению к месту установки рассматриваемой защиты) концу линии, отсутствует обходный выключатель.

Для защиты, включенной на ток одной из двух параллельных линий (схема рис. 6.10, а), в случае параллельной работы трансформаторов подстанций на ответвлениях на стороне низшего (среднего) напряжения дополнительно должен рассматриваться режим, когда параллельная линия отключена, а подключенные к ней в нормальном режиме трансформаторы подстанций на ответвлениях переведены на питание от защищаемой линии.

6.4.6.6 При определении сопротивлений срабатывания защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий (схема рис. 6.10, б), по условию отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанций на ответвлениях необходимо учитывать следующее:

а) отстройка первой ступени защиты должна производиться при отключении одной из параллельных линий, поскольку только в этом режиме вводится в действие первая ступень защиты. При этом, если трансформаторы подстанций на ответвлениях работают параллельно на стороне низшего (среднего) напряжения, то должен учитываться случай, когда трансформаторы подстанций на ответвлениях, приключенные в нормальном режиме ко второй параллельной линии, переведены на питание от защищаемой линии.

б) отстройка второй ступени защиты должна производиться в режимах по п. 6.4.6.5, а и б. При этом в режиме по 6.4.6.5, б в случае параллельной работы трансформаторов подстанций на ответвлениях, должно рассматриваться отключение (со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты) одной из защищаемых линий, а при раздельной работе этих трансформаторов — отключение (со стороны, противоположной месту установки рассматриваемой защиты) той линии, к которой присоединен трансформатор, питающий повреждение.

6.4.6.7При выборе сопротивлений срабатывания первой и второй ступеней защит линий по рисункам 6.9 и 6.10 по другим условиям (таблица 6.9, пп. 1, 2, 5—7 и таблица 6.10, пп. 1, 4—6) необходимо:

- учитывать рекомендации, изложенные в 6.4.4.4, 6.4.5.4 и 6.4.5.5;
- рассматривать режим по п. 6.4.6.5, а.

6.4.6.8 В тех случаях, когда вторая ступень защиты одиночных линий (рисунка 6.9), а также защиты, включенной на ток одной из двух параллельных линий (схема рисунка 6.10, а), рассчитанная по условиям соответственно таблиц 6.9 и 6.10, не удовлетворяет требованию чувствительности, целесообразно ее сопротивление срабатывания и выдержку времени выбирать в соответствии с указаниями 6.4.4.12.

Если же при этом определяющим было условие отстройки от КЗ на шинах низшего (среднего) напряжения подстанции на ответвлении, то указанное условие должно быть заменено согласованием с быстродействующей защитой элементов стороны низшего (среднего) напряжения рассматриваемой подстанции.

6.4.6.9В тех случаях, когда вторая ступень защиты, включенной на сумму токов двух параллельных линий (рисунок 6.10, б), выбранная по условиям селективности в режиме работы обеих линий на участке ПС А — ПС Б (пп. 2—5 таблицы 6.10) не удовлетворяет требованию чувствительности к КЗ в конце защищаемого участка при работе одной линии на участке ПС А — ПС Б, необходимо отдельно рассчитать уставку второй ступени для данного режима работы. Таким образом, для режима работы одной линии на участке ПС А — ПС Б предусматривается отдельная программа уставок. После отключения параллельной линии и перехода на указанный режим необходимо выполнить смену программы уставок в устройстве **«Алтей-БЗП»** или **«Алтей-БЗП2»**. При этом сопротивление срабатывания второй ступени, задаваемое в активной программе уставок, определяется по выражениям таблицы 6.9, пп. 3—7 для расчета защит одиночных линий с ответвлениями.

6.4.6.10Для сетей сложной топологии, где выражения таблиц 6.9 и 6.10 неприменимы, сопротивления срабатывания определяют непосредственно по напряжениям и токам в точке установки защиты при расчетных условиях селективности — по общим соотношениям или с использованием специализированного программного обеспечения.

6.4.6.11Во всем остальном — проверка чувствительности II ступени ДЗ и тока точной работы, согласование II ступени ДЗ с защитами тока и напряжения, установленными на предыдущих линиях, выбор уставок задержек срабатывания **«Тдз 1»** и **«Тдз 2»** I и II ступеней линий и т.д. — расчет выполняется так же, как для защит соответственно одиночных и параллельных линий без ответвлений (см. разделы **6.4.4** и **6.4.5**).

6.4.7 Расчет уставки угла максимальной чувствительности дистанционной защиты

Значение уставки **«ДЗ k Фмч»** для однородной ЛЭП следует принимать равным характеристическому углу линии, что обеспечивает совпадение направления максимальной чувствительности реле сопротивления с направлением расчетного сопротивления линии при металлических междуфазных КЗ на защищаемом участке:

$$\text{ДЗ k Фмч} = \varphi_{л} = \operatorname{arctg}\frac{X_{уд}}{R_{уд}} \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \text{ [град]} \qquad (6.76)$$

где

$X_{уд}$	Ом/км	удельное реактивное сопротивление прямой последовательности защищаемой линии
$R_{уд}$	Ом/км	удельное активное сопротивление прямой последовательности защищаемой линии
$\varphi_{л}$	град	характеристический угол линии

Значение уставки **«ДЗ k Фмч»** для неоднородной ЛЭП, состоящей из участков с различными удельными параметрами, следует определять по эквивалентному углу суммарного сопротивления линии:

$$\text{ДЗ k Фмч} = \varphi_{экв} = \operatorname{arctg}\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} X_{уд.i} \cdot L_i}{\sum_{1}^{m} R_{уд.i} \cdot L_i}\right) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \text{ [град]} \qquad (6.77)$$

где

$X_{уд.i}$	Ом/км	удельное реактивное сопротивление прямой последовательности i-го участка линии
$R_{уд.i}$	Ом/км	удельное активное сопротивление прямой последовательности i-го участка линии
$\varphi_{экв}$	град	эквивалентный угол суммарного сопротивления неоднородной линии
i	—	порядковый номер участка линии с собственными удельными параметрами
m	—	число участков линии с различными удельными параметрами
L_i	км	длина i-го участка линии

6.4.8 Расчет уставок третьей ступени дистанционной защиты 6–35 кВ

Третья ступень ДЗ обеспечивает резервное действие при междуфазных металлических КЗ в пределах защищаемой ЛЭП и может выполнять функции дальнего резервирования защит и выключателей смежных сетевых элементов.

Для третьей ступени ДЗ расчетными являются уставки **«ДЗ 3 Zср»** и **«Тдз 3»**. При использовании четырехугольной характеристики дополнительно выбираются уставки, определяющие форму характеристики: **«ДЗ 3 Rср»**, **«ДЗ 3 Rсм»**, **«ДЗ 3 Zсм»**. При использовании треугольной характеристики дополнительно выбирается уставка **«ДЗ 3 Фтр»**.

В обозначениях $Z_{сз1}^{III}$ индекс «сз» означает сопротивление срабатывания, нижний цифровой индекс «1» — принадлежность к рассматриваемой защите 1, верхний индекс III — соответственно третью ступень ДЗ.

Значение уставки **«ДЗ 3 Zср»** третьей ступени ДЗ следует выбирать по условиям отстройки от нагрузочных режимов и согласования с защитами смежных элементов:

- отстройка от максимального нагрузочного режима с учетом самозапуска двигателей;
- согласование со вторыми ступенями (при невозможности обеспечения чувствительности — с третьими ступенями) защит линий предыдущего участка сети.

Значение уставки **«ДЗ 3 Zср»** по условию отстройки от минимального рабочего сопротивления в месте установки защиты в условиях самозапуска электродвигателей следует определять по формуле:

$$Z_{сз1}^{III} \leq \frac{U_{мин.сзп}}{\sqrt{3} \cdot k_н \cdot k_в \cdot k_{сзп} \cdot I_{\sum нагр.макс} \cdot \cos(\varphi_{мч} - \varphi_{нагр.сзп})} \text{ [Ом]} \quad (6.78)$$

где

$U_{мин.сзп}$	В	минимальное междуфазное напряжение в месте установки защиты в режиме самозапуска, определяется расчетом. При отсутствии расчетных данных ориентировочно принимается из диапазона 0,8–0,9 от минимального рабочего междуфазного напряжения сети
$k_н$	–	коэффициент надежности отстройки, принимается равным 1,2
$k_в$	–	коэффициент возврата третьей ступени ДЗ по уставке **«ДЗ 3 Zср»**. Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует определять в соответствии с таблицей 6.6
$k_{сзп}$	–	коэффициент самозапуска нагрузки, определяется расчетом. При отсутствии расчетных данных допускается принимать согласно указаниям 3.8; для электродвигателей напряжением выше 1 кВ, участвующих в самозапуске — с учетом 5.2
$I_{\sum нагр.макс}$	А	максимальный суммарный рабочий ток нагрузки
$\varphi_{мч}$	град	угол максимальной чувствительности, задается уставкой **«ДЗ 3 Фмч»** и рассчитывается согласно 6.4.7
$\varphi_{нагр.сзп}$	град	угол сопротивления нагрузки в режиме самозапуска, определяется по формуле (6.79)

Значение угла сопротивления нагрузки в режиме самозапуска, исходя из предположения, что подключенная нагрузка на ПС ответвлений осталась равной номинальной, определяется по формуле:

$$\varphi_{нагр.сзп} = \arccos\left(\frac{P_{\sum нагр}}{\sqrt{3} \cdot |\underline{U}_{мин.сз}| \cdot k_{сзп} \cdot |\underline{I}_{\sum нагр.макс}|}\right) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \text{ [град]} \quad (6.79)$$

$$P_{\sum нагр} = S_{\sum нагр} \cdot \cos\varphi_{нагр} \text{ [кВт]} \quad (6.80)$$

где

$S_{\sum нагр}$	кВА	суммарная полная мощность нагрузки ПС ответвлений
$\cos\varphi_{нагр}$	–	коэффициент мощности нагрузки, при отсутствии данных принимается равным 0,8–0,85
$P_{\sum нагр}$	кВт	суммарная активная мощность нагрузки ПС ответвлений
$\lvert\underline{U}_{мин.сзп}\rvert$	кВ	модуль минимального междуфазного напряжения в месте установки защиты в режиме самозапуска, определяется расчетом. При отсутствии расчетных данных ориентировочно принимается из диапазона 0,8–0,9 от минимального рабочего междуфазного напряжения сети
$\lvert\underline{I}_{\sum нагр.макс}\rvert$	А	модуль суммарного максимального рабочего тока нагрузки

Значение уставки **«ДЗ 3 Zср»** по условию отстройки от минимального рабочего сопротивления в условиях самозапуска для круговой характеристики полного сопротивления следует определять по формуле:

$$Z_{сз1}^{III} = \frac{U_{мин.сзп}}{\sqrt{3} \cdot k_н \cdot k_в \cdot k_{сзп} \cdot I_{\sum нагр.макс}} \text{ [Ом]} \quad (6.81)$$

Значение сопротивления срабатывания **«ДЗ 3 Zср»** по условию согласования со вторыми (третьими) ступенями ДЗ линии (линий) предыдущего участка сети следует определять по формуле:

$$Z_{сз1}^{III} \gtrapprox 0{,}85 \cdot Z_{Л1} + \frac{0{,}78}{k_{ток\ II}} \cdot Z_{сз3}^{II(III)} \text{ [Ом]} \quad (6.82)$$

где

$Z_{Л1}$	Ом	полное сопротивление защищаемой линии
$Z_{сз3}^{II(III)}$	Ом	уставка полного сопротивления второй (третьей) ступени ДЗ линии (линий) предыдущего участка сети (защита 3)
$k_{ток\ II}$	–	коэффициент токораспределения в расчетном режиме согласования рассматриваемой третьей ступени ДЗ с защитой предыдущего участка сети. При наличии нескольких расчетных режимов следует принимать значение $k_{ток}$, при котором допустимое по условию согласования значение $Z_{сз1}^{III}$ получается наименьшим

Значения уставки **«Тдз 3»** задержки срабатывания третьей ступени по условию согласования со второй (третьей) ступенью ДЗ предыдущего участка сети следует определять по формуле:

$$Тдз\ 3 = t_{пред}^{II(III)} + \Delta t\ [с] \quad (6.83)$$

где

$t_{пред}^{II(III)}$	с	наибольшая из выдержек времени срабатывания вторых (третьих) ступеней ДЗ защит предыдущего участка сети, с которыми выполняется согласование
Δt	с	ступень селективности, определяемая по таблице 6.3

Проверку чувствительности третьей ступени ДЗ следует выполнять при металлическом КЗ:

- в конце защищаемой ЛЭП — как для ступени, предназначенной для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП;
- в конце зоны дальнего резервирования — как для ступени, выполняющей функции дальнего резервирования.

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.25, пп. 3] коэффициент чувствительности дистанционных органов должен быть:

- около 1,5 — при КЗ в конце защищаемой ЛЭП при отсутствии резервной ступени, обеспечивающей требуемую чувствительность;
- около 1,25 — при КЗ в конце защищаемой ЛЭП при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности около 1,5;
- около 1,2 — при КЗ в конце зоны резервирования.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 14] коэффициенты чувствительности для ступеней ДЗ, предназначенных для действия в пределах всей защищаемой ЛЭП, должны приниматься равными не менее:

- 1,5 — для дистанционных измерительных органов при отсутствии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5;
- 1,25 — для дистанционных измерительных органов при наличии резервной ступени, обеспечивающей коэффициент чувствительности 1,5.

Согласно Приказу Минэнерго России № 546 [**145**, п. 15] коэффициенты чувствительности для ступеней ДЗ, выполняющих функции дальнего резервирования, должны приниматься равными не менее:

- 1,2 — для измерительных органов по сопротивлению срабатывания любых видов защит.

Коэффициент чувствительности третьей ступени ДЗ в конце защищаемой линии следует вычислять по формуле:

$$k_{ч.ДЗ.З} = \frac{Z_{сз1}^{III}}{Z_{Л}} \quad (6.84)$$

где

$Z_{сз1}^{III}$	Ом	сопротивление срабатывания третьей ступени защиты
$Z_{Л}$	Ом	сопротивление защищаемой линии

Коэффициент чувствительности третьей ступени ДЗ в конце зоны резервирования следует вычислять по формуле:

$$k_{ч.ДЗ.З} = \frac{Z_{сз1}^{III}}{\left(Z_{Л} + \frac{Z_{расч}}{k_{ток.мин}}\right)} \quad (6.85)$$

где

$Z_{расч}$	Ом	сопротивление участка зоны резервирования за концом защищаемой ЛЭП, приведенное к стороне установки защиты. Если в расчете используется полное сопротивление от места установки защиты до расчетной точки КЗ, его не следует дополнительно суммировать с $Z_л$
$k_{ток.мин}$	–	минимальный коэффициент токораспределения, определяемый исходя из схемы сети (рисунки 6.3, 6.6, 6.9, 6.10)

Проверку чувствительности третьей ступени ДЗ по току точной работы следует выполнять по формуле (6.31).

Окончательное значение уставки **«ДЗ 3 Zср»** следует принимать с учетом всех условий отстройки, согласования и обеспечения чувствительности. Если одновременное выполнение требований селективности и чувствительности для третьей ступени ДЗ, выполняющей функции дальнего резервирования, невозможно, решение следует принимать с учетом общего положения, приведенного в **6.4.1**.

6.4.9 Смещение круговой и четырехугольной характеристик

В настоящем подразделе рассматривается выбор значения уставки **«ДЗ k Zсм»** полного сопротивления смещения характеристики «за спину» для круговой и четырехугольной характеристик ДЗ.

Значение уставки **«ДЗ k Zсм»** полного сопротивления смещения «за спину» k-й ступени ДЗ при необходимости устранения «мертвой» зоны при КЗ вблизи места установки защиты, а также для повышения надежности срабатывания при близких повреждениях через переходное сопротивление, когда входное сопротивление располагается вблизи активной оси [174], допускается принимать в диапазоне [12]:

$$ДЗ\ k\ Zсм = (0{,}06 - 0{,}12) \cdot ДЗ\ k\ Zср\ [Ом] \quad (6.86)$$

где

ДЗ k Zср	Ом	значение уставки **«ДЗ k Zср»** полного сопротивления срабатывания k-й ступени ДЗ рассматриваемой защиты

При необходимости выполнения круговой характеристики полного сопротивления с центром в начале координат значение уставки следует принимать равным:

$$ДЗ\ k\ Zсм = ДЗ\ k\ Zср\ [Ом] \quad (6.87)$$

При выполнении направленной круговой или четырехугольной характеристики без смещения «за спину» значение уставки следует принимать равным:

$$ДЗ\ k\ Zсм = 0\ [Ом] \quad (6.88)$$

Окончательное значение уставки **«ДЗ k Zсм»** следует принимать в соответствии с выбранным вариантом выполнения характеристики срабатывания и проверять по условиям несрабатывания при КЗ за местом установки защиты, отстройки от нагрузочных режимов и согласования с блокировкой при качаниях.

6.4.10 Ширина и смещение четырехугольной зоны

Четырехугольная зона ДЗ задается уставками **«ДЗ k Zср»**, **«ДЗ k Фмч»**, **«ДЗ k Zсм»**, **«ДЗ k Rср»** и **«ДЗ k Rсм»**.

6.4.10.1 Расчет уставки «ДЗ k Rср»

Уставка **«ДЗ k Rср»** задается для четырехугольной характеристики k-й ступени ДЗ и определяет ширину четырехугольной зоны вправо по оси активной составляющей сопротивления.

Значение уставки **«ДЗ k Rср»** следует выбирать по условиям:

- обеспечения действия k-й ступени ДЗ при КЗ через переходное сопротивление в конце зоны действия ступени;
- отстройки от нагрузочного режима;
- отстройки от режима самозапуска электродвигателей, если защищаемая ЛЭП питает нагрузку, для которой должен учитываться режим самозапуска.

Значение уставки **«ДЗ k Rср»** по условию обеспечения действия при КЗ через переходное сопротивление в конце зоны действия ступени следует определять по формуле:

$$R^{k}_{ср.КЗ} = \frac{k_н}{k_{ток} \cdot k_{кз}} \cdot R^{k}_{д}\ [Ом] \quad (6.89)$$

где

$R^{k}_{ср.КЗ}$ Ом — минимально необходимое значение уставки **«ДЗ k Rср»** по условию обеспечения действия при КЗ через переходное сопротивление

$k_{н}$ – коэффициент надежности, принимается равным 1,2

$k_{ток}$ – коэффициент токораспределения, учитывающий отличие тока, протекающего через защиту, от тока, протекающего через дугу; принимается минимальное значение из значений, определенных для расчетных условий выбора уставки данной ступени ДЗ

$k_{кз}$ – коэффициент учета вида междуфазного КЗ, принимается равным:
- 2 – для двухфазного КЗ
- 3 – для трехфазного КЗ

$R^{k}_{д}$ Ом — расчетное активное сопротивление дуги в месте КЗ в конце зоны действия k-й ступени ДЗ

Расчетное активное сопротивление дуги допускается определять по упрощенной формуле [175]:

$$R^{k}_{д} = \frac{U^{*}_{д} \cdot L^{k}_{д}}{I^{k}_{д}} \text{ [Ом]} \quad (6.90)$$

где

$U^{*}_{д}$ В/м — удельное напряжение дуги. В первом приближении модуль напряжения дуги на единицу длины считается постоянным. Действующее значение принимается в диапазоне 1000…3000 В/м [175]. В [175] для практических расчетов принимается $U^{*}_{д} = 2500$ В/м. Следует отметить, что в [115] принимается $U^{*}_{д} = 1050$ В/м

$L^{k}_{д}$ м — расчетная длина дуги для k-й ступени ДЗ

$I^{k}_{д}$ А — ток, протекающий через дугу при металлическом КЗ в расчетной точке и расчетном режиме

Расчетную длину дуги следует определять по формуле:

$$L^{k}_{д} \approx k^{k}_{д} \cdot D_{ф} \text{ [м]} \quad (6.91)$$

где

$k^{k}_{д}$ – коэффициент, учитывающий увеличение длины дуги за время действия k-й ступени ДЗ; в зависимости от погодных условий принимается равным [115]:
- 2 – в тихую погоду
- 3–4 – при небольшом ветре
- 8–10 – при сильном ветре

$D_{ф}$ м — расстояние между фазными проводами ЛЭП

Для первой ступени ДЗ, действующей без выдержки времени, расчетное увеличение длины дуги следует принимать с учетом фактического времени действия ступени и погодных условий защищаемой ЛЭП. При отсутствии расчетных данных допускается принимать:

$$k^{k}_{д} = 1{,}2 - 2{,}0 \quad (6.92)$$

При отсутствии результатов расчета токов КЗ с учетом переходного сопротивления ток $I^{k}_{д}$ для предварительной оценки допускается определять по формуле:

$$I^{k}_{д} \approx \frac{U_{ном}}{|Z_{с} + Z^{k}_{сз}|} \text{ [А]} \quad (6.93)$$

где

$U_{ном}$ В — первичное междуфазное номинальное напряжение в месте установки защиты

$Z_{с}$ Ом — эквивалентное полное сопротивление системы со стороны шин защищаемой ЛЭП, приведенное к $U_{ном}$

$Z^{k}_{сз}$ Ом — значение уставки срабатывания полного сопротивления k-й ступени ДЗ

Формула (6.93) применяется только для предварительной оценки тока, протекающего через дугу, при отсутствии результатов расчета КЗ. При ее применении $Z_{с}$ и $Z^{k}_{сз}$ должны быть приведены к одной ступени напряжения, а сумма $|Z_{с}+Z^{k}_{сз}|$ должна рассматриваться как приближенное полное расчетное сопротивление контура КЗ, соответствующего току $I^{k}_{д}$. Для линий с двусторонним питанием, сложной конфигурацией сети, ответвлениями, параллельными линиями, а также при необходимости точной оценки влияния переходного сопротивления значение $I^{k}_{д}$ следует определять расчетом КЗ для соответствующего режима и места повреждения.

Для первой и второй ступеней $Z^{k}_{сз}$ следует принимать равным значениям уставок **«ДЗ 1 Zср»** и **«ДЗ 2 Zср»** соответственно, выбранным в соответствии с 6.4.4–6.4.6. Для третьей ступени $Z^{k}_{сз}$ следует принимать равным значению уставки **«ДЗ 3 Zср»**, выбранному в соответствии с 6.4.8.

Значение уставки **«ДЗ k Rср»** по условию отстройки от нагрузочного режима следует определять по формуле:

$$R^{k}_{ср.нагр} = \frac{1}{k_{н} \cdot k_{в}} \cdot \frac{U_{мин}}{\sqrt{3} \cdot I_{\sum нагр.макс}} \cdot \left(\cos \varphi_{нагр} - \frac{\sin \varphi_{нагр}}{\tan \varphi^{k}_{прав}} \right) \text{ [Ом]} \quad (6.94)$$

Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**:

$$\varphi^{k}_{прав} = \varphi^{k}_{мч} - 5° \text{ [град]}$$

где

$R^{k}_{ср.нагр}$	Ом	предельное значение уставки **«ДЗ k Rср»** по условию отстройки от нагрузочного режима
$k_{в}$	–	коэффициент возврата дистанционного органа k-й ступени ДЗ по сопротивлению. Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует определять в соответствии с таблицей 6.6
$U_{мин}$	В	минимальное междуфазное напряжение в месте установки защиты в рабочем режиме; при отсутствии расчетных данных ориентировочно принимается из диапазона (0,8–0,9)·$U_{ном}$
$I_{\sum нагр.макс}$	А	максимальный суммарный рабочий ток нагрузки
$\varphi^{k}_{прав}$	град	угол наклона правой боковой стороны четырехугольной зоны k-й ступени ДЗ, град; для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** принимается на 5° меньше значения уставки **«ДЗ k Фмч»**
$\varphi_{нагр}$	град	угол сопротивления нагрузки в расчетном нагрузочном режиме
$\varphi^{k}_{мч}$	град	угол максимальной чувствительности k-й ступени ДЗ, задаваемый уставкой **«ДЗ k Фмч»**, определяемой по 6.4.7

Если защищаемая ЛЭП питает нагрузку, для которой должен учитываться режим самозапуска электродвигателей, значение уставки **«ДЗ k Rср»** дополнительно следует проверять по условию отстройки от режима самозапуска:

$$R^{k}_{ср.сзп} = \frac{1}{k_{н} \cdot k_{в}} \cdot \frac{U_{мин.сзп}}{\sqrt{3} \cdot k_{сзп} \cdot I_{\sum нагр.макс}} \cdot \left(\cos \varphi_{нагр.сзп} - \frac{\sin \varphi_{нагр.сзп}}{\tan \varphi^{k}_{прав}} \right) \text{ [Ом]} \quad (6.95)$$

где

$R^{k}_{ср.сзп}$	Ом	предельное значение уставки **«ДЗ k Rср»** по условию отстройки от режима самозапуска
$U_{мин.сзп}$	В	минимальное междуфазное напряжение в месте установки защиты в режиме самозапуска; при отсутствии расчетных данных ориентировочно принимается из диапазона (0,8–0,9)·$U_{мин}$
$I_{\sum нагр.макс}$	А	максимальный суммарный рабочий ток нагрузки
$k_{сзп}$	–	коэффициент самозапуска нагрузки, определяется расчетом; при отсутствии расчетных данных допускается принимать согласно указаниям 3.8, для электродвигателей напряжением выше 1 кВ, участвующих в самозапуске – с учетом 5.2
$\varphi_{нагр.сзп}$	град	угол сопротивления нагрузки в режиме самозапуска

Окончательное значение уставки **«ДЗ k Rср»** следует выбирать таким, чтобы выполнялось условие:

$$R^{k}_{ср.КЗ} \le \text{ДЗ k Rср} \le \text{мин}\left(R^{k}_{ср.нагр}; R^{k}_{ср.сзп}\right) \quad (6.96)$$

Если режим самозапуска для рассматриваемой ЛЭП не учитывается, окончательное значение уставки **«ДЗ k Rср»** следует выбирать таким, чтобы выполнялось условие:

$$R^{k}_{ср.КЗ} \le \text{ДЗ k Rср} \le R^{k}_{ср.нагр} \quad (6.97)$$

6.4.10.2 Расчет уставки «ДЗ k Rсм»

Уставка **«ДЗ k Rсм»** задается для четырехугольной характеристики k-й ступени ДЗ и определяет смещение стороны 4 четырехугольной зоны влево по оси активной составляющей сопротивления.

Значение уставки **«ДЗ k Rсм»** следует выбирать при необходимости обеспечения действия k-й ступени ДЗ при близких КЗ через переходное сопротивление с учетом возможных погрешностей измерения и динамических свойств дистанционного органа. При этом чрезмерное смещение стороны 4 четырехугольной зоны влево не рекомендуется, так как это увеличивает область срабатывания ДЗ в левой части комплексной плоскости сопротивлений и может ухудшать отстройку от режимов качаний, асинхронных режимов и переходных процессов.

При отсутствии специального требования к смещению стороны 4 четырехугольной зоны влево значение уставки **«ДЗ k Rсм»** следует принимать равным минимальному значению диапазона задания данной уставки в устройстве:

$$\text{ДЗ 1 Rсм} = 0 \text{ [Ом]} \tag{6.98}$$

$$\text{ДЗ k Rсм} = 0{,}2 \text{ [Ом]}, \text{k} = 2, 3, 4 \tag{6.99}$$

При необходимости смещения стороны 4 четырехугольной зоны влево значение уставки **«ДЗ k Rсм»** следует определять по результатам графической проверки в комплексной плоскости сопротивлений.

Для выполнения проверки следует построить четырехугольную зону k-й ступени ДЗ с учетом выбранных значений уставок **«ДЗ k Zср»**, **«ДЗ k Фмч»**, **«ДЗ k Zсм»** и **«ДЗ k Rср»**. В той же плоскости следует нанести расчетные значения замеряемого сопротивления при КЗ через переходное сопротивление в расчетных точках, для которых проверяется действие k-й ступени ДЗ.

Минимальное значение уставки **«ДЗ k Rсм»** следует определять как наименьшее значение смещения стороны 4 четырехугольной зоны влево, при котором расчетные значения замеряемого сопротивления при КЗ через переходное сопротивление находятся внутри зоны срабатывания k-й ступени ДЗ с учетом принятого расчетного запаса.

При необходимости для предварительного построения четырехугольной зоны допускается принимать ориентировочное значение уставки **«ДЗ k Rсм»**:

$$\text{ДЗ k Rсм} = 0{,}125 \cdot \text{ДЗ k Rср [Ом]} \tag{6.100}$$

Указанное значение не является обязательным расчетным условием и должно уточняться с учетом расчетных замеров при КЗ через переходное сопротивление, требований к направленности действия ступени и диапазона задания уставки **«ДЗ k Rсм»** в устройстве.

Окончательное значение уставки **«ДЗ k Rсм»** следует принимать по результатам графической проверки с учетом диапазона и дискретности задания уставки в устройстве. Если расчетное или ориентировочное значение выходит за пределы диапазона задания, значение уставки следует принимать равным ближайшему допустимому значению с последующей проверкой выполнения требований к действию и несрабатыванию k-й ступени ДЗ.

6.4.11 Угол наклона стороны 2 треугольной характеристики

В настоящем подразделе рассматривается выбор значения уставки **«ДЗ k Фтр»** угла наклона стороны 2 треугольной характеристики ДЗ.

Расчетное значение уставки **«ДЗ k Фтр»** из условия обеспечения действия при КЗ через переходное сопротивление в конце зоны охвата k-й ступени следует определять по формуле:

$$\text{ДЗ k Фтр} = \text{arctg}\left(\frac{Z_{сз}^{k} \cdot \sin \varphi_{мч}^{k}}{Z_{сз}^{k} \cdot \cos \varphi_{мч}^{k} + R_{д}}\right) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) \text{ [град]} \tag{6.101}$$

где

$Z_{сз}^{k}$	Ом	значение сопротивления срабатывания k-й ступени ДЗ, задаваемое уставкой **«ДЗ k Zср»**
$\varphi_{мч}^{k}$	град	угол максимальной чувствительности k-й ступени ДЗ, задаваемый уставкой **«ДЗ k Фмч»**, определяемой по **6.4.7**
$R_{д}$	Ом	активное сопротивление дуги при КЗ в конце зоны охвата k-й ступени, рассчитываемое по формулам (6.90)–(6.93)

Расчет по формуле (6.101) следует выполнять в первичных величинах. Значение сопротивления, соответствующее уставке **«ДЗ k Zср»**, и значение $R_д$ должны быть приведены к одной ступени напряжения.

Окончательное значение уставки **«ДЗ k Фтр»** следует выбирать по результатам проверки в комплексной плоскости сопротивлений. При этом должно обеспечиваться действие k-й ступени ДЗ при КЗ через переходное сопротивление в расчетной точке и несрабатывание k-й ступени ДЗ в расчетных нагрузочных режимах.

Если расчетное значение уставки **«ДЗ k Фтр»** не может быть реализовано из-за ограничения диапазона задания, значение уставки следует принимать равным ближайшему допустимому значению с последующей проверкой выполнения требований к действию и несрабатыванию k-й ступени ДЗ.

Пояснение к определению уставки **«ДЗ k Фтр»** показано на рисунке 6.11.

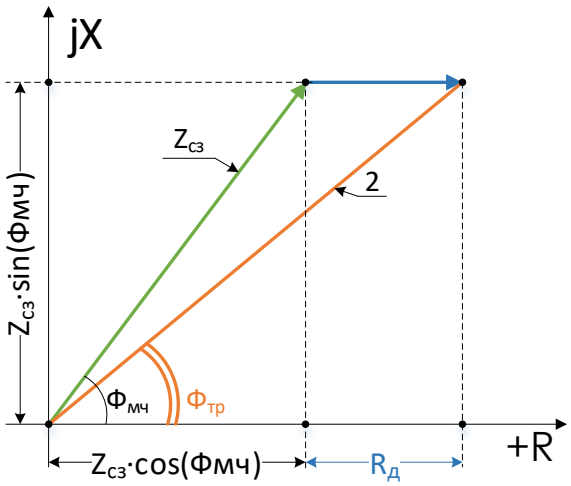


Рисунок 6.11. Пояснение к определению уставки **«ДЗ k Фтр»**. Рисунок не отражает фактическую область срабатывания. Индекс k для определения ступени на рисунке не указан. 2 — соответствующая сторона треугольной характеристики.

6.4.12 Расчет ускоряемых ступеней

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставок ускоряемых ступеней ДЗ: **«ДЗ k Zср»**, **«ДЗ k Zсм»**, **«ДЗ k Фмч»** и **«Тудз»**. Индекс k соответствует номеру ускоряемой ступени ДЗ, k=1, 2, 3, 4.

В устройствах «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2» предусмотрена возможность выполнения автоматического и оперативного ускорения ДЗ.

Ускоренное отключение осуществляется с выдержкой времени **«Тудз»** после пуска выбранных ступеней ДЗ. Ускорение выбранных ступеней вводится программными ключами **«В041»**–**«В044»** и выполняется при наличии сигнала на логическом входе **«Уск. ДЗ»** либо при пуске ДЗ в течение 1 с после включения выключателя и исчезновения сигнала на логическом входе **«РПО»** при введенном программном ключе **«В045»**.

Автоматическое ускорение предусмотрено для всех четырех ступеней ДЗ и предназначено для ускоренной ликвидации КЗ при подаче напряжения на поврежденный элемент энергосистемы после оперативного включения (в режиме ручного опробования путем подачи напряжения на ЛЭП включением выключателя со стороны места установки защиты) или после действия АПВ, что предусматривается согласно ПУЭ [100, п.3.3.4].

При АПВ ЛЭП возможный самозапуск электродвигателей нагрузки ПС на ответвлениях следует учитывать по 6.4.8 применительно к ускоряемой k-й ступени ДЗ.

Оперативное ускорение предусматривается в случае вывода из работы основной быстродействующей защиты, обеспечивающей устойчивость параллельной работы присоединений, например основной быстродействующей защиты ЛЭП, вывода защиты шин смежной ПС и в других случаях, когда требуется уменьшение времени действия резервных защит.

При выводе из работы ДЗШ на ПС, примыкающей к противоположному концу защищаемой ЛЭП, оперативно ускоряемую ступень ДЗ следует выбирать с направлением действия в линию и с надежным охватом всей защищаемой ЛЭП. При выводе из работы ДЗШ на ПС места установки рассматриваемой защиты оперативно ускоряемая ступень ДЗ, при наличии технической возможности, может выполняться с направлением действия к шинам или без контроля направления.

При установке ТН в линии и подаче на нее напряжения включением выключателя защищаемого присоединения следует учитывать возможное отсутствие входных напряжений в первый момент времени после включения выключателя, в том числе при включении на близкое трехфазное КЗ. В этом случае рекомендуется выполнять ускорение при включении выключателя одной или нескольких ступеней ДЗ, характеристики срабатывания которых охватывают всю защищаемую ЛЭП и при необходимости смещены «за спину» в сторону шин подстанции. Указанная настройка позволяет выполнять отключение близких КЗ с малым остаточным напряжением в месте установки защиты.

Для повышения надежности отключения КЗ, возникающих при подаче напряжения на поврежденное присоединение, в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** дополнительно может применяться МТЗ, вводимая автоматически на ограниченное время после включения выключателя, а также ускорение действия ступеней МТЗ. Расчет уставок тока срабатывания МТЗ следует выполнять по 3.8.2, расчет выдержки времени ускоренного действия **«Тумтз 1»** или **«Тумтз 2»** — по 3.8.3. При применении грубых ступеней МТЗ расчет их уставок следует выполнять по 3.8.4.

В качестве автоматически ускоряемой ступени, как правило, следует использовать вторую ступень ДЗ с надежным охватом всей защищаемой ЛЭП. При недостаточной чувствительности второй ступени допускается использовать третью ступень ДЗ или отдельную ускоряемую ступень. В качестве оперативно ускоряемой ступени следует выбирать ступень ДЗ с учетом схемы сети, направления действия, условий селективности и требований устойчивости.

Ускорение ДЗ при включении выключателя не следует вводить, если подключаемый элемент энергосистемы уже находится под напряжением[1].

В случае если имеется отдельная ускоряемая ступень k с круговой характеристикой, значение сопротивления срабатывания данной ступени **«ДЗ k Zср»** по условию обеспечения чувствительности при КЗ в конце защищаемой ЛЭП следует определять по формуле:

$$Z_{сз}^{k} = k_{ч.треб} \cdot \frac{Z_{расч}}{\cos\left(\varphi_{мч}^{k} - \varphi_{расч}\right)} \text{ [Ом]} \quad (6.102)$$

где

$k_{ч.треб}$	–	требуемый коэффициент чувствительности для металлического КЗ, принимается равным 1,5 [100, п. 3.2.21, пп. 3], [145, п. 14]. При применении в качестве автоматически ускоряемой ступени второй ступени ДЗ допускается принимать $k_{ч.треб}$=1,25 [85, п. 10.2.2.1]
$Z_{расч}$	Ом	значение полного расчетного сопротивления при двухфазном КЗ в конце защищаемого участка
$\varphi_{расч}$	град	угол расчетного сопротивления
$\varphi_{мч}^{k}$	град	угол максимальной чувствительности k-й ступени ДЗ, задаваемый уставкой **«ДЗ k Фмч»**, определяемой по 6.4.7

Уставку срабатывания **«ДЗ k Zсм»** следует определять согласно 6.4.9.

Для ЛЭП, имеющих в режиме постановки под напряжение подключенные Т на противоположном конце линии, а также для ЛЭП при наличии ответвлений с подключенными Т, следует проверять отстройку автоматически ускоряемой ступени ДЗ от БТН. Проверку отстройки по сопротивлению следует выполнять согласно 6.4.13.

Отстройку по времени от БТН для автоматически ускоряемых ступеней ДЗ следует выполнять для:

- ЛЭП, имеющих в режиме постановки под напряжение подключенные Т на противоположном конце линии;
- ЛЭП при наличии ответвлений в случае, если сопротивление срабатывания не отстроено от БТН.

Значение уставки **«Тудз»** для автоматически ускоряемой ступени ДЗ, сопротивление срабатывания которой отстроено от БТН или не требует такой отстройки, следует принимать из диапазона [85, п. 10.2.2.4]:

$$Тудз = 0{,}05 - 0{,}15 \text{ [с]} \quad (6.103)$$

Если сопротивление срабатывания автоматически ускоряемой ступени ДЗ не отстроено от БТН, отстройку следует выполнять по времени. В этом случае значение уставки **«Тудз»** следует принимать из диапазона [85, п. 10.2.2.4]:

$$Тудз = 0{,}4 - 0{,}5 \text{ [с]} \quad (6.104)$$

Значение уставки **«Тудз»** для оперативно ускоряемой ступени ДЗ (при выводе основной защиты линии, выводе защиты шин смежной ПС и др.) выбирается по условиям:

- обеспечения предельно допустимого времени отключения КЗ, определяемого по условию сохранения устойчивости параллельной работы;
- обеспечения селективности с резервными защитами смежных элементов сети;
- минимизации времени отключения КЗ при соблюдении двух предыдущих условий.

Исходя из перечисленных условий значение уставки **«Тудз»** для оперативно ускоряемой ступени ДЗ следует выбирать так, чтобы выполнялось условие:

$$t_{смеж} + \Delta t \le Тудз \le t_{треб} \text{ [с]} \quad (6.105)$$

где

[1] При необходимости выполнения данного условия в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует использовать программный ключ **«В046»**, блокирующий ускорение при наличии напряжения на подключаемом элементе

$t_{смеж}$	с	выдержка времени смежной защиты; за расчетное значение принимают наибольшую выдержку времени среди всех защит, с которыми выполняется согласование
Δt	с	ступень селективности, определяемая по таблице 6.3
$t_{треб}$	с	предельно допустимое время отключения КЗ, определяемое по условию сохранения устойчивости параллельной работы

Если условие

$$t_{смеж} + \Delta t \le t_{треб}$$

не выполняется, применение оперативного ускорения с одновременным обеспечением селективности и требуемого времени отключения КЗ невозможно. В этом случае решение о вводе оперативного ускорения следует принимать с учетом требований устойчивости, допустимости неселективного действия, состава введенных основных защит и схемы резервирования.

6.4.13 Отстройка ДЗ линий с ответвлениями от БТН

В настоящем подразделе приведен порядок определения предельного значения уставки **«ДЗ k Zср»** автоматически ускоряемой ступени ДЗ по условию отстройки от БТН трансформаторов, возникающего при включении линии с ответвлениями под напряжение [117, приложение VII].

В связи с возможной разновременностью включения фаз выключателя ЛЭП следует рассматривать:

- трехфазное включение – одновременное включение всех трех фаз;
- двухфазное включение – одновременное включение двух фаз с некоторым запаздыванием включения третьей фазы;
- однофазное включение – включение одной фазы с некоторым запаздыванием включения двух других фаз.

Расчетным режимом для определения предельного значения сопротивления срабатывания ступени ДЗ по условию отстройки от БТН трансформаторов на ответвлениях является двухфазное включение.

Предельное значение сопротивления срабатывания ступени ДЗ по условию отстройки от БТН следует определять по формуле:

$$Z_{сз.БТН} = C_б \cdot \left(X_{с1} + X^{(1)}_{Т.экв}\right) - X_{с1}\ [Ом] \qquad (6.106)$$

где

$Z_{сз.БТН}$	Ом	предельное значение сопротивления срабатывания автоматически ускоряемой ступени ДЗ по условию отстройки от БТН трансформаторов на ответвлениях при включении линии под напряжение
$C_б$	–	расчетный коэффициент броска тока, принимается равным:
		для ЛЭП напряжением 110 кВ:
	1,75 –	для Т (АТ) из холоднокатаной стали;
	2,65 –	для Т (АТ) из горячекатаной стали;
		для ЛЭП напряжением 220 кВ:
	1,55 –	для Т (АТ) из холоднокатаной стали;
	2,5 –	для Т (АТ) из горячекатаной стали;
$X_{с1}$	Ом	реактивное сопротивление прямой последовательности энергосистемы со стороны ПС, с которой производится включение ЛЭП, «за спиной» защиты
$X^{(1)}_{Т.экв}$	Ом	эквивалентное реактивное сопротивление Т (АТ) и участков ЛЭП в условиях насыщения магнитопроводов трансформаторов при однофазном включении, приведенное к одной ступени напряжения с $X_{с1}$

Значения коэффициента $C_б$ приведены по [117, приложение VII] для условий расчета защит ЛЭП 110–220 кВ. При применении для сетей 6–35 кВ указанные значения следует рассматривать как ориентировочные с учетом принятого запаса и последующей проверки по результатам ПНР или эксплуатации.

При наличии на линии одного Т (АТ) эквивалентное реактивное сопротивление следует определять по формуле:

$$X^{(1)}_{Т.экв} = X_{л1} + X^{(1)}_{Т}\ [Ом] \qquad (6.107)$$

где

$X_{л1}$	Ом	реактивное сопротивление прямой последовательности участка ЛЭП от ПС, с которой производится включение, до шин ПС, на которой установлен рассматриваемый Т (АТ)
$X^{(1)}_{Т}$	Ом	реактивное сопротивление Т (АТ) в условиях насыщения магнитопровода при однофазном включении

Реактивное сопротивление Т (АТ) $X^{(1)}_{Т}$ следует определять по формуле:

$$X_{Т}^{(1)} = \frac{X_{Т\%}^{(1)} \cdot U_{ном}^{2}}{100 \cdot S_{ном}} \text{ [Ом]} \quad (6.108)$$

где

$X_{Т\%}^{(1)}$	%	реактивное сопротивление Т (АТ) в условиях насыщения магнитопровода при однофазном включении, %, принимаемое по таблице 6.11
$U_{ном}$	кВ	номинальное напряжение стороны Т (АТ), к которой приводится сопротивление при расчете уставки ДЗ
$S_{ном}$	МВА	номинальная мощность Т (АТ)

Значения сопротивлений Т (АТ) для трехфазного $X_{Т\%}^{(3)}$ и однофазного $X_{Т\%}^{(1)}$ включения рассчитываются по выражениям из таблицы 6.11.

Верхний индекс (1) в обозначениях $X_{Т}^{(1)}$, $X_{Т.экв}^{(1)}$, $X_{Т\%}^{(1)}$ соответствует однофазному включению Т (АТ) под напряжение; верхний индекс (3) в обозначении $X_{Т\%}^{(3)}$ соответствует трехфазному включению Т (АТ) под напряжение.

Таблица 6.11. Расчетные выражения для определения сопротивления Т (АТ) при включении под напряжение

ВКЛЮЧАЕМЫЙ ЭЛЕМЕНТ	МОЩНОСТЬ $S_{ном}$, МВА	РАСЧЕТНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ	
		$X_{Т\%}^{(3)}$, %	$X_{Т\%}^{(1)}$, %
Трансформатор	6,3 – 60	$12{,}7 + u_k$	$\frac{12{,}7 + u_k}{1{,}35}$
	80	$21{,}4 + u_k$	$\frac{21{,}4 + u_k}{1{,}35}$
Автотрансформатор	125	$25{,}7 + u_k$	$\frac{25{,}7 + u_k}{1{,}3}$
	200	$35 + u_k$	$\frac{35 + u_k}{1{,}28}$

Примечание – u_k, % – напряжение КЗ Т (АТ); при наличии РПН принимается для среднего положения РПН

При наличии на линии нескольких Т (АТ) эквивалентное сопротивление следует определять путем эквивалентного преобразования участков ЛЭП и подключенных трансформаторов.

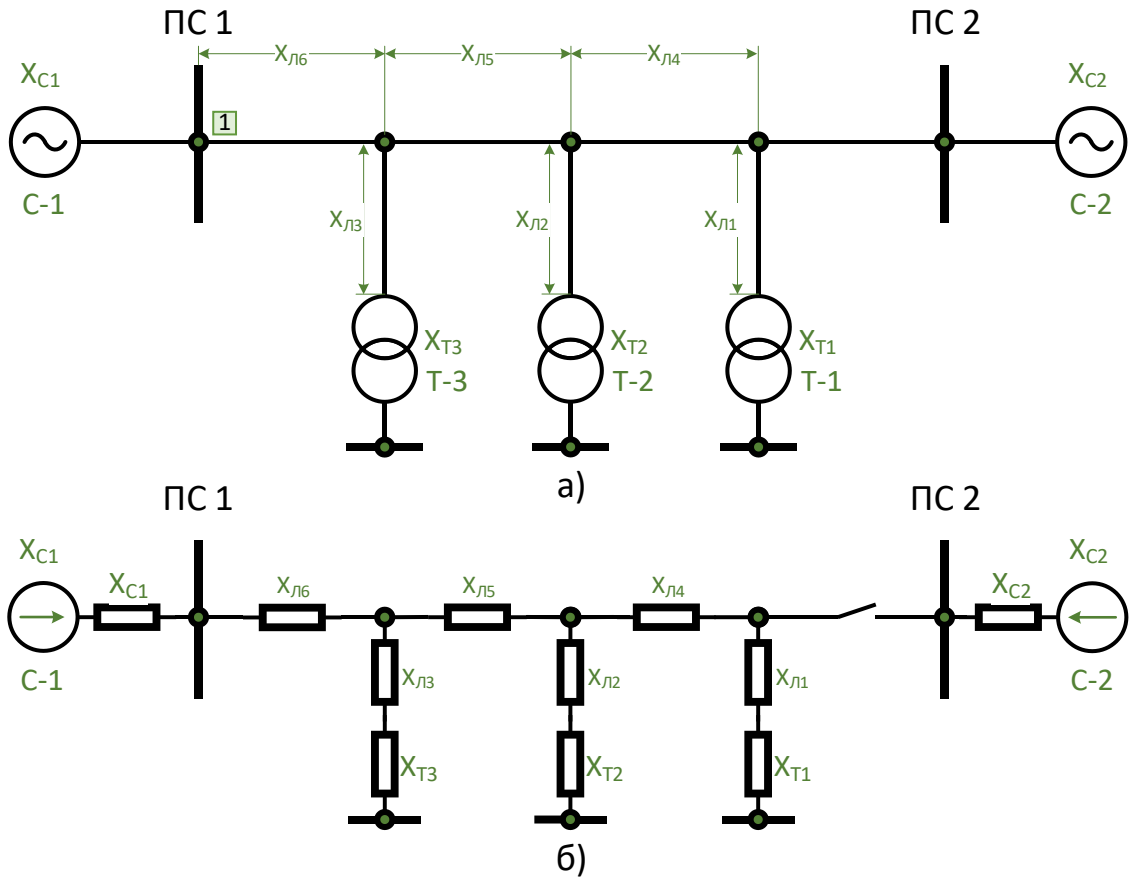


Рисунок 6.12. Исходная схема (а) и схема замещения (б) для определения $X_{Т.экв}^{(1)}$

Для схемы на рисунке 6.12 эквивалентное сопротивление $X_{Т.экв}^{(1)}$ рассчитывается по выражению:

$$X_{Т.экв}^{(1)} = \left(\left[\left(X_{Т1}^{(1)} + X_{Л1} + X_{Л4}\right) \| \left(X_{Т2}^{(1)} + X_{Л2}\right)\right] + X_{Л5}\right) \| \left(X_{Т3}^{(1)} + X_{Л3}\right) + X_{Л6}\ [Ом] \quad (6.109)$$

где

$X_{Т1}^{(1)}, X_{Т2}^{(1)}, X_{Т3}^{(1)}$	Ом	реактивные сопротивления трансформаторов в условиях насыщения магнитопроводов при однофазном включении
$X_{Л1}, X_{Л2}, X_{Л3}, X_{Л4}, X_{Л5}, X_{Л6}$	Ом	реактивные сопротивления участков ЛЭП
$\|\|$	–	знак параллельного соединения ветвей при определении эквивалентного сопротивления

Проверку отстройки автоматически ускоряемой ступени ДЗ от БТН по сопротивлению следует выполнять по условию:

$$ДЗ\ k\ Zcp \le Z_{сз.БТН}\ [Ом] \quad (6.110)$$

где

ДЗ k Zcp	Ом	расчетное значение сопротивления, соответствующее уставке **«ДЗ k Zcp»** полного сопротивления срабатывания k-й ступени ДЗ рассматриваемой защиты, приведенное к одной ступени напряжения с $Z_{сз.БТН}$

Если условие (6.110) выполняется, автоматически ускоряемая ступень ДЗ считается отстроенной от БТН по сопротивлению. Значение уставки **«Тудз»** в этом случае следует выбирать согласно **6.4.12** для ступени ДЗ, сопротивление срабатывания которой отстроено от БТН или не требует такой отстройки.

Если условие (6.110) не выполняется, сопротивление срабатывания автоматически ускоряемой ступени ДЗ следует считать не отстроенным от БТН. В этом случае отстройку от БТН следует выполнять по времени согласно **6.4.12**.

Окончательное значение уставки **«ДЗ k Zcp»** для автоматически ускоряемой ступени ДЗ следует выбирать с учетом условий обеспечения чувствительности по **6.4.12** и условия отстройки от БТН по настоящему подразделу. Если одновременно обеспечить требуемую чувствительность и отстройку от БТН по сопротивлению невозможно, решение о вводе автоматически ускоряемой ступени ДЗ и выборе выдержки времени **«Тудз»** следует принимать с учетом расчетов КЗ, результатов ПНР и опыта эксплуатации.

Следует учитывать, что методика, указанная в [117], по отстройке реле сопротивления от бросков тока намагничивания разработана для электромеханических устройств и силовых трансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше. При проведении расчетов для ЛЭП и трансформаторов 6–35 кВ с применением устройств **«Алтей-БЗП»** или **«Алтей-БЗП2»** указанные рекомендации следует рассматривать как ориентировочные.

6.4.14 Некоторые варианты применения четвертой ступени ДЗ

Учитывая, что три ступени ДЗ могут быть задействованы для защиты присоединения, четвертая ступень ДЗ может применяться для:

- запрета АПВ на ЛЭП при наличии кабельной вставки;
- резервирования защиты шин;
- резервирования защит трансформаторов на ответвительных и/или тупиковых ПС;
- обеспечения дальнего резервирования присоединений.

Приведенный перечень применений четвертой ступени ДЗ не является исчерпывающим. Конкретное назначение ступени, направленность действия, действие на отключение, сигнализацию, ускорение или запрет АПВ следует принимать с учетом схемы защищаемого присоединения и состава смежных защит.

6.4.14.1 Запрет АПВ на ЛЭП при наличии кабельной вставки

При наличии кабельной вставки на защищаемой ЛЭП четвертая ступень ДЗ может быть использована для формирования сигнала запрета АПВ при КЗ на данном участке.

При использовании четвертой ступени ДЗ для запрета АПВ должен быть сформирован сигнал запрета АПВ от срабатывания ДЗ 4. Направленность данной ступени следует принимать «в линию», если контролируемый кабельный участок расположен в направлении защищаемой ЛЭП от места установки защиты.

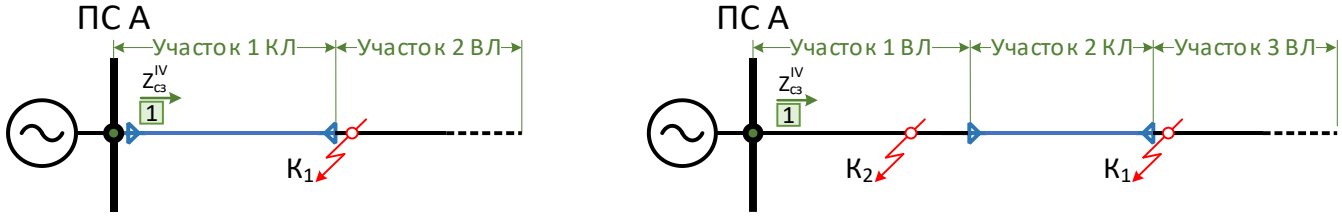
Значение выдержки времени **«Тдз 4»** при использовании четвертой ступени ДЗ для формирования запрета АПВ следует принимать минимальным, как правило равным 0 с, если иное не обосновано проектными решениями в части действия АПВ и смежных защит.

Значение уставки срабатывания **«ДЗ 4 Zср»** следует выбирать исходя из обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ в конце кабельного участка (точка $К_1$, рисунок 6.13) по формуле (6.102). Значение требуемого коэффициента чувствительности следует принимать равным 1,25–1,5.

Значение уставки **«ДЗ 4 Фмч»** следует определять по 6.4.7, по формуле (6.77).

Уставки по активному сопротивлению **«ДЗ 4 Rср»** и **«ДЗ 4 Rсм»** для четырехугольной характеристики следует определять по 6.4.10. Уставку **«ДЗ 4 Фтр»** для треугольной характеристики следует определять по 6.4.11.

При этом следует учитывать, что в случае, когда кабельная вставка находится в середине ЛЭП, возможен запрет АПВ при КЗ на начальном участке ВЛ (точка $К_2$, рисунок 6.13, б). Если запрет АПВ при КЗ на начальном воздушном участке ЛЭП недопустим, применение четвертой ступени ДЗ для указанной цели должно быть дополнительно обосновано расчетом или заменено другим техническим решением.



а) б)

Рисунок 6.13. Кабельная вставка на ЛЭП: а) в начале ЛЭП; б) в середине ЛЭП.

6.4.14.2 Резервирование защиты шин

Для линий с двусторонним питанием четвертая ступень ДЗ может быть направлена «к шинам» для резервирования действия защиты шин (ДЗШ, ЛЗШ) при КЗ в зоне действия защиты шин.

При применении четвертой ступени ДЗ для резервирования защиты шин направленность четвертой ступени ДЗ следует принимать «к шинам»[1].

На рисунке 6.14 при КЗ на шинах ПС А и отключении выключателя действием четвертой ступени ДЗ защиты 1 питание трансформаторов ответвительных ПС сохраняется и осуществляется от ПС Б.

Значение уставки срабатывания **«ДЗ 4 Zср»** следует выбирать исходя из обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ на шинах по формуле (6.102). Значение требуемого коэффициента чувствительности следует принимать равным 1,25–1,5.

Отстройку от нагрузочных режимов и режима самозапуска следует выполнять по 6.4.8.

Окончательное значение уставки **«ДЗ 4 Zср»** при резервировании защиты шин следует принимать не менее значения, определенного по условию обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ на шинах, и не более значений, определенных по условиям отстройки от нагрузочных режимов и режима самозапуска по 6.4.8, а также по условию согласования с резервными защитами присоединений, отходящих от шин, действие защит которых резервируется.

Если указанные условия одновременно не выполняются, применение четвертой ступени ДЗ для резервирования защиты шин должно быть дополнительно обосновано расчетом селективности и чувствительности.

Значение уставки **«ДЗ 4 вид»** следует принимать с учетом выбранного вида характеристики срабатывания по 6.4.2. Значение уставки **«ДЗ 4 Фмч»** следует определять по 6.4.7. Значение уставки **«ДЗ 4 Zсм»** следует определять по 6.4.9. Уставки по активному сопротивлению **«ДЗ 4 Rср»** и **«ДЗ 4 Rсм»** для четырехугольной и треугольной характеристик следует определять по 6.4.10. Уставку **«ДЗ 4 Фтр»** для треугольной характеристики следует определять по 6.4.11.

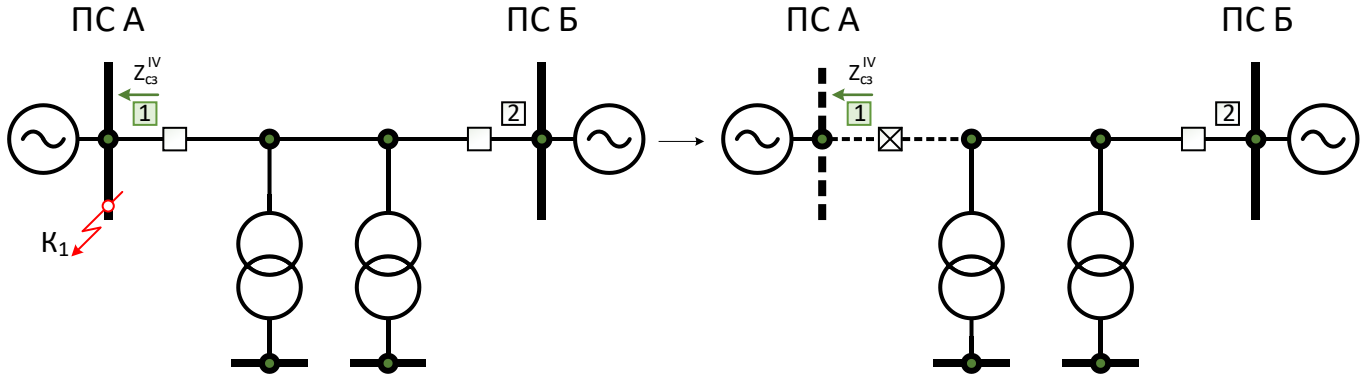


Рисунок 6.14. Действие четвертой ступени ДЗ, направленной «к шинам», при КЗ на шинах ПС А.

6.4.14.3 Резервирование защит трансформаторов ответвительных и/или тупиковых ПС

Четвертая ступень ДЗ может применяться для резервирования защит трансформаторов ответвительных и/или тупиковых ПС.

Если резервируемые трансформаторы расположены в направлении защищаемой ЛЭП от места установки защиты, направленность четвертой ступени ДЗ следует принимать «в линию».

Значение уставки срабатывания **«ДЗ 4 Zср»** следует выбирать исходя из обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ на стороне НН трансформаторов ответвительных и/или тупиковых ПС (точки K_1, K_2, K_3 на рисунке 6.15) с учетом схемы соединения обмоток трансформаторов. Значение требуемого коэффициента чувствительности следует принимать равным 1,25–1,5.

Параметры срабатывания и выдержку времени **«Тдз 4»** следует определять с учетом:

- обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ на стороне НН трансформаторов ответвительных и/или тупиковых ПС с учетом схемы соединения обмоток трансформаторов;
- обеспечения селективности с резервными защитами трансформаторов ответвлений (защиты 3 – 5 на рисунке 6.15) или резервными защитами присоединений стороны НН данных трансформаторов (защиты 6 – 8 на рисунке 6.15);

[1] В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** направленность четвертой ступени ДЗ задается уставкой **«ДЗ 4 – изменение направленности»**

- отстройки от нагрузочных режимов работы и режима самозапуска по 6.4.8;
- условия, чтобы суммарное время отключения внешнего КЗ на стороне НН трансформаторов ответвлений с учетом выдержки времени соответствующей защиты, действия выходной логики и времени отключения выключателя не превышало допустимую продолжительность внешнего КЗ для трансформатора[1].

Окончательное значение уставки **«ДЗ 4 Zср»** следует принимать не менее значения, определенного по условию обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ на стороне НН трансформаторов ответвительных и/или тупиковых ПС, и не более значений, определенных по условиям отстройки от нагрузочных режимов и режима самозапуска по 6.4.8, а также по условиям согласования с резервными защитами трансформаторов или резервными защитами присоединений стороны НН данных трансформаторов.

Значение уставки **«ДЗ 4 вид»** следует принимать с учетом выбранного вида характеристики срабатывания по 6.4.2. Значение уставки **«ДЗ 4 Фмч»** следует определять по 6.4.7. Значение уставки **«ДЗ 4 Zсм»** следует определять по 6.4.9. Уставки по активному сопротивлению **«ДЗ 4 Rср»** и **«ДЗ 4 Rсм»** для четырехугольной и треугольной характеристик следует определять по 6.4.10. Уставку **«ДЗ 4 Фтр»** для треугольной характеристики следует определять по 6.4.11.

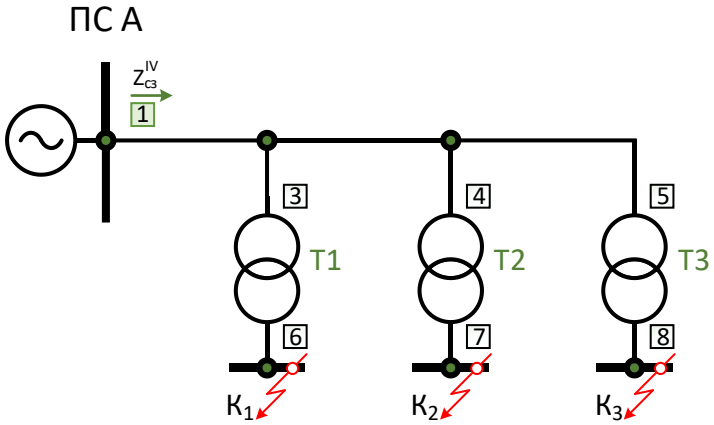


Рисунок 6.15. Резервирование защит трансформаторов ответвительных ПС

6.4.14.4 Обеспечение дальнего резервирования присоединений при КЗ «за спиной» защиты

Четвертая ступень ДЗ может применяться для обеспечения резервирования защит смежных элементов, отходящих от шин ПС, где установлена защита (защита 3 на ПС А, рисунок 6.16), в случае, если защита на противоположном конце ЛЭП (защита 2 на ПС Б, рисунок 6.16) не обеспечивает требуемого коэффициента чувствительности.

Кроме того, четвертая ступень ДЗ может резервировать действие защит смежных присоединений. Например, для схемы сети, указанной на рисунке 6.16, в случае отказа защиты 3 произойдет отключение выключателя защитой 1. При этом линия с ответвлениями со стороны ПС Б будет находиться под напряжением.

Если резервируемые присоединения расположены в направлении защищаемой ЛЭП от места установки защиты, направленность четвертой ступени ДЗ следует принимать «в линию».

[1] Допустимую продолжительность внешнего КЗ для трансформатора следует принимать по ГОСТ 11677-85 [36, п. 3.3.1.9, 3.3.1.10], ГОСТ Р 52719-2007 [35, п. 6.4.1.9, 6.4.1.10], ГОСТ Р 54827-2011 [46, разд. 7] либо по заводской документации на конкретный трансформатор

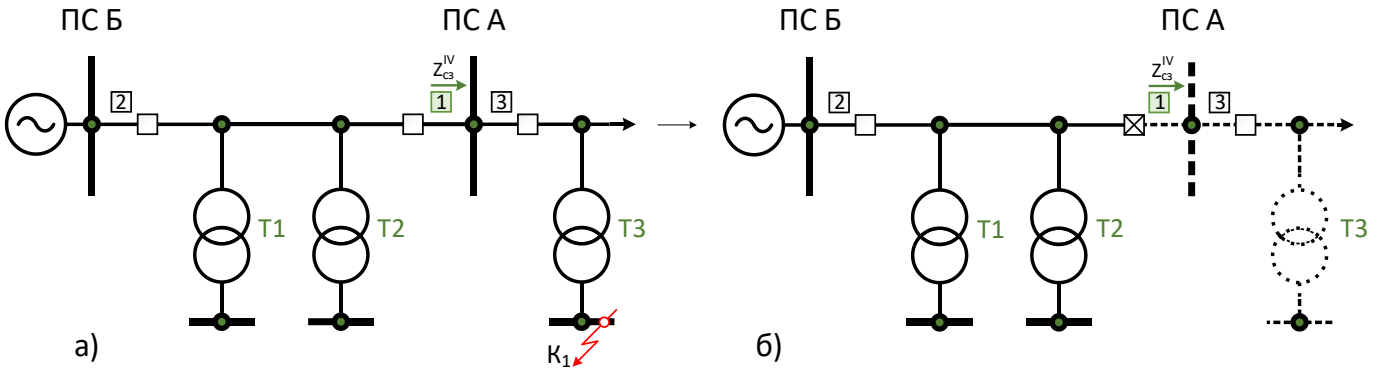


Рисунок 6.16. Обеспечение дальнего резервирования при КЗ «за спиной» защиты

Параметры срабатывания и выдержку времени **«Тдз 4»** следует определять с учетом:

- обеспечения требуемого коэффициента чувствительности при КЗ на стороне НН трансформатора ответвления (точка $К_1$ на рисунке 6.16) с учетом схемы соединения обмоток трансформатора;
- обеспечения селективности с резервными защитами трансформатора ответвления (защита 3 на рисунке 6.16);
- отстройки от нагрузочных режимов работы и режима самозапуска по 6.4.8.

Окончательное значение уставки **«ДЗ 4 Zср»** следует принимать не менее значения, определенного по условию обеспечения требуемого коэффициента чувствительности в зоне дальнего резервирования, и не более значений, определенных по условиям отстройки от нагрузочных режимов и режима самозапуска по 6.4.8, а также по условию согласования с резервными защитами смежных элементов.

Если при обеспечении дальнего резервирования невозможно одновременно выполнить требования чувствительности и селективности, решение о вводе четвертой ступени ДЗ для указанного применения следует принимать с учетом расчетов КЗ, состава ближнего резервирования, наличия УРОВ, действия АПВ и требований эксплуатирующей организации.

Значение уставки **«ДЗ 4 вид»** следует принимать с учетом выбранного вида характеристики срабатывания по 6.4.2. Значение уставки **«ДЗ 4 Фмч»** следует определять по 6.4.7. Значение уставки **«ДЗ 4 Zсм»** следует определять по 6.4.9. Уставки по активному сопротивлению **«ДЗ 4 Rср»** и **«ДЗ 4 Rсм»** для четырехугольной и треугольной характеристик следует определять по 6.4.10. Уставку **«ДЗ 4 Фтр»** для треугольной характеристики следует определять по 6.4.11.

6.5 ДИСТАНЦИОННАЯ ЗАЩИТА ОТ ДВОЙНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

6.5.1 Общие сведения

Дистанционная защита от двойных замыканий на землю (ДЗДВ) применяется для защиты линий 35 кВ в сетях с изолированной нейтралью в случаях, когда необходимо обеспечить селективное отключение одного места повреждения при двойном замыкании на землю в разных точках сети.

Особенности расчета ДЗДВ линий 35 кВ связаны с необходимостью учета двойных замыканий на землю в сетях с малым током замыкания на землю [115, разд. Д, п. 1]. При двойном замыкании на землю в разных точках сети ток нулевой последовательности протекает на участке между точками замыкания. При использовании дистанционных органов с компенсацией тока нулевой последовательности измеряемое сопротивление контуров «фаза–земля» используется для определения удаленности места повреждения от места установки защиты [115, разд. Д, п. 2].

В соответствии с ПУЭ [100, п. 3.2.99] в сетях с изолированной нейтралью защита от двойных замыканий на землю должна, как правило, обеспечивать отключение только одного места повреждения.

Для выполнения указанного требования в алгоритме **«ДЗДВ»** предусмотрены дополнительные задержки срабатывания по контурам **«dТдздв А»**, **«dТдздв В»** и **«dТдздв С»**. Значения указанных задержек следует выбирать с учетом принятого порядка селективного отключения повреждений по фазам во всей рассматриваемой сети.

Алгоритм **«Дистанционная защита от двойных замыканий на землю (ДЗДВ)»** реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**. Алгоритм включает четыре ступени с возможностью изменения направленности действия в линию или к шинам и выбора одного из трех видов характеристик срабатывания: круговой, четырехугольной или треугольной.

Применение алгоритма ДЗДВ возможно при использовании конфигурации цепей напряжения, обеспечивающей измерение фазных напряжений, и при подключении токовых цепей по схеме полной звезды.

В алгоритме ДЗДВ используются комплексные значения полных сопротивлений контуров А0, В0 и С0 с учетом компенсации тока нулевой последовательности. Коэффициент компенсации тока нулевой последовательности задается уставками **«kдздв re»** и **«kдздв im»**.

Условием пуска ступени ДЗДВ является одновременное выполнение следующих условий:

- попадание комплексного значения полного сопротивления соответствующего контура в характеристику срабатывания данной ступени;
- наличие сигнала **«3I0 пуск»** пуска по току нулевой последовательности с регулируемой уставкой срабатывания **«3I0 дзз»**;
- отсутствие сигнала неисправности цепей напряжения (расчет уставок алгоритма контроля цепей напряжения приведен в 12.2).

Виды характеристик срабатывания ступеней ДЗДВ аналогичны видам характеристик срабатывания ДЗ от междуфазных КЗ, приведенным в 6.4.2.

Полное время действия ступени ДЗДВ по соответствующему контуру определяется суммой выдержки времени ступени **«Тдздв k»** и дополнительной задержки срабатывания по фазе **«dTдздв A»**, **«dTдздв B»** или **«dTдздв C»**. При согласовании ДЗДВ смежных присоединений следует учитывать полное время действия защиты с учетом указанных дополнительных задержек.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 6.12.

Таблица 6.12. Уставки алгоритма «Дистанционная защита от двойных замыканий на землю (ДЗДВ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Дистанционная защита от двойных замыканий на землю (ДЗДВ)							
3I0 дзз	А	1	1	100	0,01	0,95	ДЗДВ – тока нулевой последовательности пуска защиты
kдздв re	-	1	0,01	20	0,01	-	ДЗДВ – вещественная часть коэффициента компенсации тока нулевой последовательности
kдздв im	-	1	0,01	20	0,01	-	ДЗДВ – мнимая часть коэффициента компенсации тока нулевой последовательности
dTдздв A	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ – дополнительная задержка срабатывания по фазе А
dTдздв B	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ – дополнительная задержка срабатывания по фазе В
dTдздв C	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ – дополнительная задержка срабатывания по фазе С
Тдздв 1	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ 1 - задержка срабатывания
ДЗДВ 1 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗДВ 1 - вид характеристики (0 – круговая, 1-четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗДВ 1 Zср	Ом	10	0,05	500	0,01	1,05	ДЗДВ 1 – полное сопротивление срабатывания
ДЗДВ 1 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗДВ 1 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗДВ 1 Rср	Ом	5	0,05	415	0,01	1,05	ДЗДВ 1 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗДВ 1 Rсм	Ом	1	0	50	0,01	1,05	ДЗДВ 1 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗДВ 1 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗДВ 1 – угол максимальной чувствительности
ДЗДВ 1 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗДВ 1 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тдздв 2	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ 2 - задержка срабатывания

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
ДЗДВ 2 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗДВ 2 - вид характеристики (0 – круговая, 1-четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗДВ 2 Zср	Ом	10	0,2	500	0,01	1,05	ДЗДВ 2 – полное сопротивление срабатывания
ДЗДВ 2 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗДВ 2 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗДВ 2 Rср	Ом	5	0,2	415	0,01	1,05	ДЗДВ 2 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗДВ 2 Rсм	Ом	1	0,2	50	0,01	1,05	ДЗДВ 2 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗДВ 2 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗДВ 2 – угол максимальной чувствительности
ДЗДВ 2 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗДВ 2 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тдздв 3	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ 3 - задержка срабатывания
ДЗДВ 3 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗДВ 3 - вид характеристики (0 – круговая, 1-четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗДВ 3 Zср	Ом	10	0,2	500	0,01	1,05	ДЗДВ 3 – полное сопротивление срабатывания
ДЗДВ 3 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗДВ 3 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗДВ 3 Rср	Ом	5	0,2	415	0,01	1,05	ДЗДВ 3 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗДВ 3 Rсм	Ом	1	0,2	50	0,01	1,05	ДЗДВ 3 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗДВ 3 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗДВ 3 – угол максимальной чувствительности
ДЗДВ 3 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗДВ 3 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тдздв 4	с	0	0	10	0,01	-	ДЗДВ 4 - задержка срабатывания
ДЗДВ 4 вид	-	0	0	2	1	-	ДЗДВ 4 - вид характеристики (0 – круговая, 1-четырехугольная, 2 – треугольная)
ДЗДВ 4 Zср	Ом	10	0,2	500	0,01	1,05	ДЗДВ 4 – полное сопротивление срабатывания
ДЗДВ 4 Zсм	Ом	0	0	500	0,01	1,05	ДЗДВ 4 – полное сопротивление смещения «за спину»
ДЗДВ 4 Rср	Ом	5	0,2	415	0,01	1,05	ДЗДВ 4 – ширина четырехугольной характеристики
ДЗДВ 4 Rсм	Ом	1	0,2	50	0,01	1,05	ДЗДВ 4 – смещение стороны 4 четырехугольной характеристики
ДЗДВ 4 Фмч	град	45	30	85	1	-	ДЗДВ 4 – угол максимальной чувствительности
ДЗДВ 4 Фтр	град	30	30	85	1	-	ДЗДВ 4 – угол наклона стороны 2 треугольной характеристики
Тудздв	с	0	0	1	0,01	-	ДЗДВ – задержка ускоренного срабатывания

Расчетные значения сопротивлений должны быть приведены к величинам задания устройства с учетом коэффициентов трансформации фазных ТТ и основной обмотки ТН, а уставка **«3I0 дзз»** — с учетом коэффициента трансформации фазных ТТ в соответствии с **2.1**.

Расчет и выбор параметров ДЗДВ линии 35 кВ следует выполнять с учетом следующего функционального назначения ступеней.

Первая ступень ДЗДВ предназначена для действия при двойных замыканиях на землю в пределах части защищаемой ЛЭП. Значение уставки **«Тдздв 1»**, как правило, принимается равным 0 с; полное время действия первой ступени определяется с учетом дополнительной задержки соответствующей фазы.

Вторая ступень ДЗДВ предназначена для надежного охвата всей защищаемой ЛЭП при двойных замыканиях на землю. При необходимости вторая ступень может охватывать шины смежной подстанции и часть смежного участка сети. Вторая ступень ДЗДВ выполняется с выдержкой времени.

Третья ступень ДЗДВ предназначена для выполнения функций дальнего резервирования при двойных замыканиях на землю на защищаемой ЛЭП и/или на смежных участках сети, в том числе при отказе выключателя или защит смежных сетевых элементов. Третья ступень ДЗДВ выполняется с выдержкой времени.

Четвертая ступень ДЗДВ является дополнительной ступенью, которая может использоваться для действия при двойных замыканиях на землю на защищаемой ЛЭП либо в зоне дальнего резервирования. Значения уставок и выдержку времени

четвертой ступени ДЗДВ следует выбирать с учетом ее функционального назначения, требований чувствительности и условий селективности с защитами смежных элементов.

При выборе параметров срабатывания ступеней ДЗДВ следует учитывать их функциональное назначение, условия селективности, требуемую чувствительность и принятую схему питания рассматриваемого участка сети. Если ступень ДЗДВ используется для дальнего резервирования защит или выключателей смежных элементов, выбор ее параметров должен выполняться с учетом требований к чувствительности и селективности в зоне резервирования.

6.5.2 Расчет уставок

Значение уставки **«ДЗДВ k вид»** следует выбирать в соответствии с п. **6.4.2** с учетом требуемой характеристики срабатывания соответствующей ступени ДЗДВ. Индекс k соответствует номеру ступени ДЗДВ, k=1, 2, 3, 4.

Алгоритм **«ДЗДВ»** использует замер полных сопротивлений контуров A0, B0 и C0 с компенсацией тока нулевой последовательности. Поэтому расчет значений уставок **«ДЗДВ k Zср»** следует выполнять по расчетным условиям, приведенным для соответствующих ступеней ДЗ от междуфазных КЗ в п. **6.4**, с заменой наименования уставок ДЗ на ДЗДВ и с учетом особенностей токораспределения при двойных замыканиях на землю.

Расчет значений уставок **«ДЗДВ 1 Zср»** и **«ДЗДВ 2 Zср»** при двойном замыкании на землю следует выполнять по формулам, приведенным:

- таблица 6.7 – для одиночных линий;
- таблица 6.8 – для параллельных линий;
- таблицы 6.9 и 6.10 – для одиночных и параллельных линий с ответвлениями.

Расчетным видом повреждения следует принимать такой вид двойного замыкания на землю, при котором коэффициенты токораспределения принимают наибольшие значения. Для их определения в реально возможном режиме сети предварительно рассчитываются токи двойного замыкания на землю по выражениям из [115, приложение X], после чего коэффициенты токораспределения определяются по полученным токам.

Расчет значения уставки **«ДЗДВ k Фмч»** выполняется согласно п. **6.4.7**.

Расчет значения уставки **«ДЗДВ k Zсм»** выполняется согласно п. **6.4.9**.

Расчет значений уставок **«ДЗДВ k Rср»** и **«ДЗДВ k Rсм»** следует выполнять согласно п. **6.4.10**.

Расчет значения уставки **«ДЗДВ k Фтр»** следует выполнять согласно п. **6.4.11**.

Расчет значения уставки **«Тудздв»** следует выполнять согласно п. **6.4.12**. Расчет значений уставок **«ДЗДВ k Zср»** и **«Тдздв k»** для ускоряемых ступеней ДЗДВ следует выполнять согласно п. **6.4.12**.

Значение уставки **«3I0 дзз»** следует выбирать по условию отстройки от максимального значения тока небаланса, возникающего при металлическом трехфазном КЗ в месте установки рассматриваемой защиты:

$$3I0\ дзз \geq k_н \cdot I_{нб.расч} = k_н \cdot k_{апер} \cdot I_{нб.уст}\ [А] \quad (6.111)$$

где

$k_н$	–	коэффициент надежности отстройки, принимается равным 1,25
$k_{апер}$	–	коэффициент, учитывающий переходный режим и наличие апериодической составляющей тока, принимается равным 2
$I_{нб.расч}$	А	расчетный первичный ток небаланса в нулевом проводе ТТ с учетом переходного режима и наличия апериодической составляющей тока
$I_{нб.уст}$	А	первичный ток небаланса в нулевом проводе ТТ в установившемся режиме при металлическом трехфазном КЗ в месте установки рассматриваемой защиты

Значение $I_{нб.уст}$ допускается определять расчетом по параметрам ТТ или ориентировочно по формуле:

$$I_{нб.уст} = k_{одн} \cdot f_i \cdot I_{расч}\ [А] \quad (6.112)$$

где

$k_{одн}$	–	коэффициент однотипности ТТ, принимается равным из диапазона 0,5–1,0
f_i	–	относительная погрешность ТТ, принимается равной 0,1
$I_{расч}$	А	первичный ток металлического трехфазного КЗ в расчетной точке.

В качестве $I_{расч}$ следует принимать ток металлического трехфазного КЗ в месте установки рассматриваемой защиты. Если на линии предусмотрена токовая отсечка от междуфазных КЗ, в качестве $I_{расч}$ допускается принимать ток металлического трехфазного КЗ в конце зоны действия токовой отсечки.

После выбора уставки **«3I0 дзз»** следует проверить действие пускового органа 3I0 пуск при минимальном расчетном двойном замыкании на землю в зоне действия соответствующей ступени ДЗДВ.

Дополнительно следует проверить, что ток соответствующего контура «фаза–земля» при минимальном расчетном двойном замыкании на землю в зоне действия ступени ДЗДВ превышает ток точной работы[1] дистанционного органа.

Коэффициент компенсации тока нулевой последовательности следует определять по выражению:

$$\underline{k}_{комп}=\frac{\underline{Z}_0-\underline{Z}_1}{3\cdot\underline{Z}_1} \quad (6.113)$$

где

$\underline{Z}_0$ Ом комплексное сопротивление нулевой последовательности защищаемого участка

$\underline{Z}_1$ Ом комплексное сопротивление прямой последовательности защищаемого участка

При

$$\underline{Z}_0=\underline{R}_0+j\underline{X}_0 \text{ и } \underline{Z}_1=\underline{R}_1+j\underline{X}_1$$

значения уставок **«кдздв re»** и **«кдздв im»** следует определять по формулам:

$$кдздв\ re=Re(\underline{k}_{комп})=\frac{R_1\cdot(R_0-R_1)+X_1\cdot(X_0-X_1)}{3\cdot(R_1^2+X_1^2)} \quad (6.114)$$

$$кдздв\ im=Im(\underline{k}_{комп})=\frac{R_1\cdot(X_0-X_1)-X_1\cdot(R_0-R_1)}{3\cdot(R_1^2+X_1^2)} \quad (6.115)$$

где

R_0 Ом активное сопротивление нулевой последовательности защищаемого участка

R_1 Ом активное сопротивление прямой последовательности защищаемого участка

X_0 Ом реактивное сопротивление нулевой последовательности защищаемого участка

X_1 Ом реактивное сопротивление прямой последовательности защищаемого участка

Согласно ПУЭ [**100**, п. 3.2.99] в сетях с изолированной нейтралью защита от двойных замыканий на землю в большинстве случаев должна обеспечивать отключение только одного места повреждения при двойном замыкании на землю в разных точках сети. После отключения одного из присоединений, на котором возникло замыкание на землю, двойное повреждение устраняется, и сеть продолжает работу в режиме однофазного замыкания на землю.

В алгоритме ДЗДВ устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** отключение только одного места повреждения обеспечивается введением дополнительных задержек срабатывания по контурам А0, В0 и С0: **«dTдздв А»**, **«dTдздв В»**, **«dTдздв С»**.

Для корректной работы ДЗДВ значения уставок **«dTдздв А»**, **«dTдздв В»**, **«dTдздв С»** следует выбирать по единому шаблону для всех защит электрически связанной сети. При выборе шаблона необходимо учитывать фактическую фазировку присоединений на всех ПС рассматриваемого участка сети, то есть соответствие фаз А, В, С одноименным фазам на смежных присоединениях.

При принятии приоритета[2] срабатывания контуров ДЗДВ в последовательности А0—В0—С0 значения уставок следует определять по формуле:

$$dTдздв\ A=0\ [с];\ dTдздв\ B=\Delta t\ [с];\ dTдздв\ C=2\cdot\Delta t\ [с] \quad (6.116)$$

где

Δt с ступень селективности, определяемая по таблице 6.3

[1] Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** ток точной работы контура «фаза–земля» ДЗДВ составляет 10 % номинального тока выбранного диапазона измерения: 5 А или 1 А. При проверке в первичных величинах значение тока точной работы следует приводить к первичной стороне через коэффициент трансформации ТТ.

[2] Приоритет срабатывания контуров ДЗДВ задает, какой из контуров А0, В0 или С0 имеет меньшую дополнительную задержку и, следовательно, раньше формирует команду отключения при двойном замыкании на землю. Это не является пофазным отключением выключателя.

При принятии иной последовательности приоритета срабатывания контуров значения 0, Δt и 2 · Δt следует назначать соответствующим контурам в принятой последовательности приоритета.

Полное время действия k-й ступени ДЗДВ по соответствующему контуру определяется суммой выдержки времени ступени и дополнительной задержки по данному контуру:

$$t_{\text{полн.ДЗДВ k.ф}} = \text{Тдздв k} + dT_{\text{ДЗДВ.ф}}\ [\text{с}] \quad (6.117)$$

где

$dT_{\text{ДЗДВ.ф}}$ с дополнительная задержка срабатывания по соответствующей фазе; для контуров А0, В0 и С0 соответствует уставкам **«dТдздв А»**, **«dТдздв В»** и **«dТдздв С»**, определяемым по формуле (6.116)

Значение уставки **«Тдздв k»** следует выбирать по условию согласования с предыдущими защитами:

$$\text{Тдздв k} \geq t_{\text{пред}} + \text{макс}(\text{dТдздв А}, \text{dТдздв В}, \text{dТдздв С}) + \Delta t\ [\text{с}] \quad (6.118)$$

где

Тдздв k с значение уставки **«Тдздв k»** k-й ступени ДЗДВ рассматриваемой защиты

$t_{\text{пред}}$ с наибольшая выдержка времени ступени предыдущей защиты

Δt с ступень селективности, определяемая по таблице 6.3

Если в качестве $t_{\text{пред}}$ используется полное время действия предыдущей защиты с учетом дополнительной фазной задержки, повторно учитывать слагаемое «макс(dТдздв А; dТдздв В; dТдздв С)» в выражении (6.118) не следует.

Для первой ступени ДЗДВ при отсутствии специальных условий согласования значение уставки **«Тдздв 1»** допускается принимать равным нулю. При необходимости обеспечения приоритета действия защиты ответвления или смежного присоединения значение уставки **«Тдздв 1»** защиты питающего присоединения следует выбирать с учетом согласования со второй ступенью предыдущей защиты.

На рисунке 6.17, а) при возникновении двойного замыкания на землю в точках K_1 и K_2, находящихся в зоне действия первых ступеней защиты 1 и 2, произойдет пуск обеих ступеней защит. При этом быстрее сработает защита 2, поскольку при выбранном шаблоне дополнительных задержек по фазам полное время действия защиты 2 меньше полного времени действия защиты 1. Затем произойдет возврат защиты 1 и сеть продолжит работу с однофазным КЗ на линии Л-1. Питание потребителей ПС Б, за исключением потребителей, питающихся по линии Л-2, в этом случае сохраняется (6.17, б)).

В радиальной сети с питанием только со стороны ПС А при двойном замыкании на землю, одно из которых находится в зоне действия первой ступени ДЗДВ защиты питающего присоединения (точка K_1 на рисунке 6.17, а), при неблагоприятном сочетании поврежденных фаз возможно более раннее действие ДЗДВ питающего присоединения. В этом случае отключается Л-1 и теряется питание потребителей, питающихся от нее.

В этом случае возможны следующие варианты:

- принять данный случай как допустимый;
- задать «приоритет ответвления», т.е. на питающем присоединении (защита 1 на линии Л-1, рисунок 6.17) выдержку времени I ступени защиты согласовать по времени со II ступенью предыдущей защиты (защита 2 на линии Л-2, рисунок 6.17). Таким образом, при любых сочетаниях поврежденных фаз в пределах расчетной зоны согласования предыдущая защита (защита «ответвления») сработает раньше, чем защита питающей линии. При этом следует учитывать увеличение времени срабатывания защиты питающей линии.

Точка K_3 на рисунке 6.17, а) показана для случая, когда второе замыкание на землю находится в зоне действия второй ступени ДЗДВ предыдущей защиты. Поэтому при задании «приоритета ответвления» выдержку времени первой ступени ДЗДВ питающего присоединения следует согласовывать со второй ступенью ДЗДВ предыдущей защиты.

Точки K_2 и K_3 на рисунке 6.17, а) показывают альтернативные положения второго замыкания на землю и не рассматриваются как одновременные повреждения.

В случае задания «приоритета ответвления» значение уставки **«Тдздв 1»** первой ступени ДЗДВ защиты питающего присоединения следует выбирать по условию:

$$T^{\text{I}}_{\text{ДЗДВ.пит}} \geq T^{\text{II}}_{\text{ДЗДВ.пред}} + [\max(\text{dТдздв А}, \text{dТдздв В}, \text{dТдздв С}) - \min(\text{dТдздв А}, \text{dТдздв В}, \text{dТдздв С})] + \Delta t\ [\text{с}] \quad (6.119)$$

где

$T^{I}_{ДЗДВ.пит}$ с расчетное значение уставки **«Тдздв 1»** первой ступени ДЗДВ защиты питающего присоединения (защита 1 на рисунке 6.17)

$T^{II}_{ДЗДВ.пред}$ с расчетное значение уставки **«Тдздв 2»** второй ступени ДЗДВ предыдущей защиты; за расчетное принимается наибольшее значение среди всех предыдущих защит, с которыми выполняется согласование (защита 2 на рисунке 6.17)

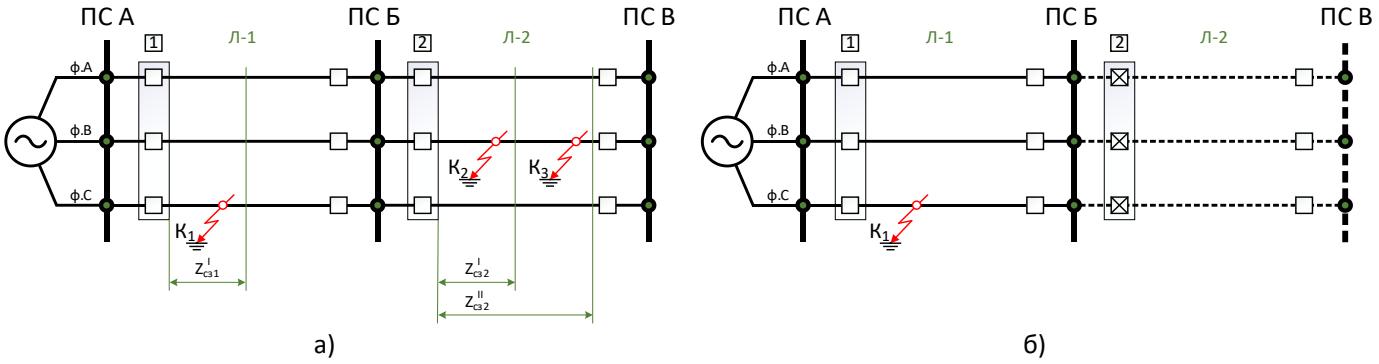


Рисунок 6.17. Действие защиты при появлении двойного замыкания на землю.

7 ВНЕШНИЕ ЗАЩИТЫ И УРОВ

7.1 ЗАЩИТА ЭЛЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

7.1.1 Общие сведения

Алгоритм **«Защита элегазового оборудования (SF6)»** в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** предназначен для приема и обработки предупредительных и аварийных сигналов снижения давления (плотности) элегаза выключателя и трансформаторов тока защищаемого присоединения, формирования предупредительной и аварийной сигнализации, блокирования операций управления выключателем, а также автоматического отключения выключателя в случаях, когда такое отключение допускается принятой схемой управления и условиями эксплуатации элегазового оборудования.

Элегаз SF6 обладает высокими изоляционными и дугогасящими свойствами и применяется в выключателях, комплектных распределительных устройствах с элегазовой изоляцией, трансформаторах тока и другом элегазовом оборудовании. Снижение давления (плотности) элегаза приводит к снижению электрической прочности изоляции и ухудшению дугогасящих свойств оборудования. Поэтому для элегазового оборудования должен быть обеспечен контроль давления (плотности) элегаза, а также своевременное формирование предупредительных, аварийных и блокировочных сигналов.

В соответствии с ГОСТ Р 52565–2006 газовые выключатели должны иметь устройства контроля давления газа, снабженные вспомогательными контактами для подачи предупредительного сигнала при снижении давления до давления сигнализации, а также для блокировки выключателя при снижении давления до давления блокировки. В ТУ и (или) эксплуатационных документах изготовителя выключателя должны быть указаны нормированное давление заполнения, давление срабатывания контактов предупредительной сигнализации утечки газа (газовой смеси), а также давление блокировки выключателя [**44**, п. 6.12.2.3].

Для предотвращения повреждения элегазового оборудования при отключении КЗ из-за снижения давления (плотности) элегаза должна быть выполнена предупредительная и аварийная сигнализация снижения давления (плотности) элегаза. Согласно ПТЭЭС элегазовые выключатели должны быть оборудованы автоматической блокировкой управления выключателем, запрещающей операции его включения и отключения в случае срабатывания аварийной сигнализации [**105**, п. 507].

Согласно ПТЭЭС с элегазового выключателя, у которого автоматической блокировкой управления заблокировано управление, не позднее 3 часов должно быть снято напряжение и выключатель должен быть выведен в ремонт [**105**, п. 508].

Согласно Приказу Минэнерго России № 548 при срабатывании предупредительной сигнализации снижения давления (плотности) элегаза в выключателе, в том числе в отсеке КРУЭ с выключателем, необходимо организовать наблюдение за ним, при этом выполнение операций с выключателем допускается. При сохранении тенденции снижения давления (плотности) элегаза неисправный выключатель необходимо отключить, с последующим его выводом в ремонт. При достижении величины аварийной уставки снижения давления (плотности) элегаза цепи управления выключателем автоматически блокируются, выполнять операции с этим выключателем не допускается [**146**, п. 136].

Согласно Приказу Минэнерго России № 548 при срабатывании предупредительной сигнализации снижения давления (плотности) элегаза в измерительных трансформаторах тока или напряжения, в отсеке КРУЭ с измерительными трансформаторами тока или напряжения, необходимо организовать наблюдение за ним, при этом незамедлительное снятие напряжения с измерительного трансформатора тока или напряжения не требуется. При достижении величины аварийной уставки снижения давления (плотности) элегаза в минимально возможный срок должны быть приняты меры по снятию напряжения с неисправного измерительного трансформатора тока или напряжения с последующим его выводом в ремонт [**146**, п. 143].

Параметры алгоритма **«Защита элегазового оборудования (SF6)»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1. Защита элегазового оборудования

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Двухступенчатый контроль элегаза выключателя	–	+	+	+	+
Блокировка включения выключателя при потере элегаза выключателя	–	+	+	+	+
Блокировка отключения выключателя при потере элегаза выключателя	–	+	+	+	+

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Автоматическое отключение выключателя при потере элегаза выключателя	–	+	+	+	+
Контроль тока при автоматическом отключении выключателя при потере элегаза	–	+	+	+	+
Двухступенчатый контроль элегаза ТТ	–	+	+	+	+
Блокировка включения выключателя при потере элегаза ТТ	–	+	+	+	+
Автоматическое отключение выключателя при потере элегаза ТТ	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 7.2.

Таблица 7.2. Уставки алгоритма «Защита элегазового оборудования (SF6)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита элегазового оборудования (SF6)							
I SF6 блок	A	5	0,1	25	0,01	0,95	Ток блокирования отключения при потере элегаза выключателя
T SF6 откл	c	10	0	60	0,01	-	Задержка на отключение при потере элегаза выключателя
T SF6 ТТ	c	10	0	60	0,01	-	Задержка на отключение при потере элегаза ТТ

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 7.3.

Таблица 7.3. Уставки алгоритма «Защита элегазового оборудования (SF6)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Защита элегазового оборудования (SF6)							
I SF6 блок	A	5	0,1	25	0,01	0.95	Ток блокирования отключения при потере элегаза выключателя
T SF6 откл	c	10	0	60	0,01	-	Задержка на отключение при потере элегаза выключателя
T SF6 ТТ	c	10	0	60	0,01	-	Задержка на отключение при потере элегаза ТТ

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

7.1.2 Расчет уставок

Уставка **«I SF6 блок»** является уставкой тока блокирования отключения при потере элегаза выключателя. При аварийном снижении давления (плотности) элегаза выключателя автоматическое отключение допускается только при токе, не превышающем значение данной уставки. При токе, превышающем значение уставки **«I SF6 блок»**, отключение выключателя блокируется. Поскольку ПТЭЭС [**105**, п. 507] и Приказом Минэнерго России № 548 [**146**, п. 136] предусмотрено блокирование цепей управления выключателем при достижении аварийной уставки снижения давления (плотности) элегаза[1] автоматическое отключение выключателя по сигналу аварийной ступени снижения давления (плотности) элегаза, как правило, не должно предусматриваться. В этом случае значение уставки **«I SF6 блок»** в первичных величинах следует принимать равным минимально допустимому значению, приведенному к первичной стороне ТТ:

$$I\ SF6\ блок = I_{SF6.блок.мин.втор} \cdot k_{TT}\ [A] \quad (7.1)$$

[1] Под блокированием цепей управления выключателем при аварийном снижении давления (плотности) элегаза следует понимать блокирование выполнения как оперативных, так и автоматических команд управления выключателем. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** данная блокировка распространяется в том числе на команды включения выключателя, формируемые алгоритмами АПВ и АВР, поскольку выполнение указанных команд осуществляется через алгоритм управления выключателем

где

$I_{SF6.блок.мин.втор}$ А минимально допустимое вторичное значение уставки **«I SF6 блок»**. Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует определять в соответствии с таблицей 7.2, для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** — в соответствии с таблицей 7.3

k_{TT} — коэффициент трансформации ТТ

В случаях, когда автоматическое отключение выключателя при аварийном снижении давления (плотности) элегаза обосновано документацией организации-изготовителя выключателя и не противоречит требованиям, установленным для конкретного объекта, значение уставки **«I SF6 блок»** следует выбирать не более наибольшего тока, отключение которого допускается выключателем при аварийном снижении давления (плотности) элегаза:

$$I\ SF6\ блок \leq I_{SF6.доп.откл}\ [А] \quad (7.2)$$

где

$I_{SF6.доп.откл}$ А наибольший ток, отключение которого допускается выключателем при аварийном снижении давления (плотности) элегаза согласно документации организации-изготовителя выключателя

При выборе уставки **«I SF6 блок»** следует учитывать, что отключение выключателя алгоритмом защиты элегазового оборудования при токе, превышающем значение данной уставки, блокируется.

Выдержки времени формирования предупредительной сигнализации по сигналам предупредительной и аварийной ступеней снижения давления (плотности) элегаза выключателя и ТТ относятся к алгоритму предупредительной сигнализации и выбираются согласно **13.3**.

Значение уставки выдержки времени автоматического отключения выключателя при аварийном снижении давления (плотности) элегаза — уставки **«T SF6 откл»** для устройств **«Алтей»** и уставки **«T SF6 Q откл»** для устройства **«Лютик-Плюс»** — следует выбирать только в случае, когда такое отключение предусмотрено документацией организации-изготовителя выключателя и принято для конкретного объекта. Окончательное значение соответствующей уставки следует принимать равным наибольшему из следующих значений: выдержки времени, необходимой для отстройки от кратковременных ложных сигналов датчика аварийной ступени и значения уставки предупредительной сигнализации **«Tпс sf6 Q 2»**, выбираемого согласно **13.2.2**.

Значение уставки выдержки времени автоматического отключения выключателя защищаемого присоединения при аварийном снижении давления (плотности) элегаза ТТ — уставки **«T SF6 TT»** для устройств **«Алтей»** и уставки **«T SF6 TT откл»** для устройства **«Лютик-Плюс»** — следует выбирать в случае, когда такое отключение предусмотрено документацией организации-изготовителя ТТ и принято для конкретного объекта. Окончательное значение соответствующей уставки следует принимать равным наибольшему из следующих значений: выдержки времени, необходимой для отстройки от кратковременных ложных сигналов датчика аварийной ступени и значения уставки предупредительной сигнализации **«Tпс sf6 TT 2»**, выбираемого согласно **13.2.2**.

Следует учитывать, что выдержки времени предупредительной сигнализации **«Tпс sf6 Q 2»** и **«Tпс sf6 TT 2»** и соответствующие выдержки времени автоматического отключения **«T SF6 откл»** (**«T SF6 Q откл»**) и **«T SF6 TT»** (**«T SF6 TT откл»**) отсчитываются независимо друг от друга после формирования предусмотренных алгоритмом логических сигналов.

7.2 УСТРОЙСТВО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПРИ ОТКАЗЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

7.2.1 Общие сведения

Устройство резервирования при отказе выключателя предназначено для резервирования отказа выключателя (УРОВ) защищаемого присоединения при действии защит на отключение. При отказе выключателя УРОВ должно обеспечить отключение выключателей, через которые сохраняется питание места повреждения, с минимально возможным числом отключаемых присоединений.

В соответствии с Приказом Минэнерго России № 101 [**143**, п. 81] для каждого выключателя напряжением 110 кВ и выше и выключателей генераторов, установленных на генераторном напряжении 6 кВ и выше, должно предусматриваться УРОВ, обеспечивающее отключение выключателей, через которые сохраняется питание места повреждения, при отказе выключателя защищаемого присоединения. В соответствии с ПУЭ [**100**, п. 3.2.18] функция УРОВ должна быть предусмотрена в электроустановках напряжением 110–500 кВ.

Для электроустановок 6–35 кВ прямое требование об обязательном применении УРОВ для всех выключателей ПУЭ не устанавливается. Вместе с тем функция УРОВ реализована в устройствах РЗА **«Алтей»** и **«Лютик»**, поэтому в сетях 6–35 кВ она может применяться без установки отдельного устройства УРОВ. Ввод УРОВ в работу следует предусматривать для выключателей, при отказе которых дальнее резервирование защит смежных присоединений не обеспечивает требуемые быстродействие и селективность отключения КЗ.

УРОВ реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Устройство резервирования при отказе выключателя»**, основные параметры которого приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4. Устройство резервирования при отказах выключателя

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Пуск УРОВ от внутренних защит	+	+	+	+	+
Пуск УРОВ от внешних защит	+	+	+	+	+
Контроль тока через выключатель	+	+	+	+	+
УРОВ с дублированным пуском[1]	+	+	+	+	+
Ускорение действия УРОВ при аварийном снижении давления элегаза	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 7.5.

Таблица 7.5. Уставки алгоритма «Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)							
Iуров	А	0,5	0,1	5	0,01	0,95	Ток пуска УРОВ
Туров	с	0,2	0,1	1	0,01	-	Задержка срабатывания УРОВ

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 7.6.

Таблица 7.6. Уставки алгоритма «Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)							
Iуров	А	0,5	0,1	5	0,01	0,95	Ток пуска УРОВ
Туров	с	0,2	0,1	1	0,01	-	Задержка срабатывания УРОВ

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 7.7.

Таблица 7.7. Уставки алгоритма «Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ)							
Iуров	А	0,25	0,25	1	0,01	0,90	Ток пуска УРОВ
Туров	с	0,2	0,1	1	0,01	-	Задержка срабатывания УРОВ

[1] Дублированный пуск УРОВ вводится программным ключом **«В302»** и предусматривает дополнительный контроль отсутствия сигнала **«РПВ»** в цепи пуска УРОВ от защит. Цепи управления выключателем должны обеспечивать отсутствие сигнала **«РПВ»** на входе устройства при подаче команды на электромагнит отключения выключателя. Дублированный пуск предназначен для исключения пуска УРОВ в случаях, когда команда на отключение выключателя фактически не подавалась.

Расчет значений уставок по току целесообразно выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставок в устройстве полученные расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

7.2.2 Расчет уставок

В соответствии с Приказом Минэнерго России № 101 [143, п.81] действие УРОВ на отключение смежных присоединений, через которые возможна подача напряжения на участок схемы с отказавшим выключателем, должно осуществляться с выдержкой времени и с контролем тока через отказавший выключатель.

Значение уставки **«Туров»** по условию отстройки от времени отключения исправного выключателя защищаемого присоединения следует определять по формуле:

$$Туров = t_{откл.в} + t_{возвр.УРОВ} + t_{зап}\ [с] \quad (7.3)$$

где

$t_{откл.в}$	с	полное время отключения выключателя защищаемого присоединения от момента подачи команды на отключение до прекращения протекания тока через выключатель. При наличии в цепи отключения выходного промежуточного реле или иного промежуточного аппарата указанное время должно приниматься с учетом времени его срабатывания
$t_{возвр.УРОВ}$	с	максимальное время возврата ИО тока УРОВ; для устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** принимается равным 0,03 с
$t_{зап}$	с	время запаса, учитывающее погрешность таймера устройства и прочие неучтенные задержки; допускается принимать равным 0,1 с [119]

Значение уставки **«Iуров»** следует выбирать по условию надежной фиксации тока, протекающего через отказавший выключатель, и надежного возврата УРОВ при успешном отключении выключателя защищаемого присоединения.

В общем случае значение уставки **«Iуров»** следует принимать минимально возможным, но не менее:

$$Iуров \geq (0{,}05 - 0{,}10) \cdot I_{ном}\ [А] \quad (7.4)$$

где

$I_{ном}$	А	номинальный ток присоединения

В случае необходимости отстройки токового органа УРОВ от погрешности ТТ значение уставки **«Iуров»** следует выбирать по условию:

$$Iуров \geq k_{погр.ТТ} \cdot Iн\ ТТ\ п\ [А] \quad (7.5)$$

где

$k_{погр.ТТ}$	–	коэффициент, учитывающий погрешность ТТ в области малых первичных токов. При отсутствии данных на конкретный ТТ допускается принимать равным 0,10
Iн ТТ п	А	значение уставки **«Iн ТТ п»**, принимаемое равным номинальному первичному току фазных ТТ в соответствии с 2.1, формула (2.1)

При этом значение уставки **«Iуров»** не должно превышать минимального значения уставки токовых защит, действующих на пуск УРОВ:

$$Iуров \leq I_{сз.мин}\ [А] \quad (7.6)$$

где

$I_{сз.мин}$	А	минимальное значение уставки срабатывания токовой защиты, действующей на пуск УРОВ

Если на пуск УРОВ действуют защиты, не имеющие токового пускового органа, либо внешние защиты, для которых ток через отказавший выключатель может быть меньше уставок токовых защит данного устройства, следует дополнительно проверить выполнение условия:

$$Iуров \leq I_{кз.мин.УРОВ}\ [А] \quad (7.7)$$

где

$I_{кз.мин.УРОВ}$	А	минимальный расчетный ток, протекающий через отказавший выключатель при повреждении, для которого должно быть обеспечено действие УРОВ

Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** при применении ускоренного действия УРОВ в случае блокирования отключения выключателя по аварийному снижению давления элегаза отдельная временная уставка не рассчитывается. В указанном случае действие УРОВ выполняется без выдержки времени. Для устройства **«Лютик»** данное условие не применяется.

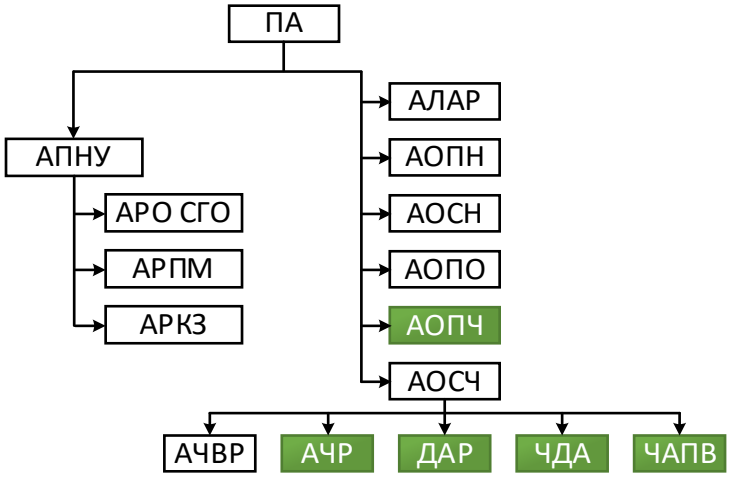
8 ЧАСТОТНАЯ АВТОМАТИКА

К частотной автоматике, рассматриваемой в настоящей Методике, относятся автоматическая частотная разгрузка (АЧР) и дополнительная автоматическая разгрузка (ДАР) (8.1), частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ) (8.2), частотная делительная автоматика (ЧДА) (8.3) и автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ) (8.4). Функции ЧДА и АОПЧ в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** реализуются в составе алгоритма **«Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика»**.

Номинальная частота переменного тока в энергосистемах составляет 50 Гц. Требования к поддержанию частоты в ЕЭС России и технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах установлены ГОСТ Р 55890-2013 [49]. В соответствии с ГОСТ Р 55890-2013 в первой синхронной зоне ЕЭС России должно быть обеспечено поддержание квазиустановившихся значений частоты в пределах (50,00±0,05) Гц при допустимости нахождения значений частоты в пределах (50,0±0,2) Гц с восстановлением частоты до уровня (50,00±0,05) Гц за время не более 15 мин [49, п. 4.3]. Во второй синхронной зоне ЕЭС России, технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, в энергорайонах (энергоузлах), временно выделенных на изолированную работу от первой синхронной зоны ЕЭС России, а также в первой синхронной зоне ЕЭС России при ее работе в вынужденном режиме должно быть обеспечено поддержание квазиустановившихся значений частоты в пределах (50,0±0,2) Гц не менее 95 % времени суток без выхода за величину (50,0±0,4) Гц с восстановлением частоты до указанных значений за время не более 72 мин [49, п. 4.4].

Для изолированных систем электроснабжения, не подключенных к синхронизированным системам передачи электрической энергии и питаемых от автономных генераторных установок, нормы отклонения частоты установлены ГОСТ 32144-2013 [42]. В соответствии с ГОСТ 32144-2013 отклонение частоты в таких системах не должно превышать ±1 Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и ±5 Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю [42].

Классификация видов противоаварийной автоматики по ГОСТ Р 59909-2021 [56] и состав функций автоматики ограничения снижения частоты по ГОСТ Р 55105-2019 [47, п. 6.4.2] приведены на рисунке 8.1. В соответствии с ГОСТ Р 55105-2019 функции автоматики ограничения снижения частоты выполняют устройства АЧВР, АЧР, ДАР, ЧДА и ЧАПВ [47, п. 6.4.2]. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** реализуются алгоритмы АЧР, ЧАПВ и АОПЧ/ЧДА; функция ДАР реализуется в составе алгоритма АЧР. Функция АЧВР в настоящей Методике не рассматривается.



Сокращения:
АОПЧ - автоматика ограничения повышения частоты
АОСЧ - автоматика ограничения снижения частоты
АЧР - автоматическая частотная разгрузка
ДАР - дополнительная автоматическая разгрузка
ПА - противоаварийная автоматика
ЧАПВ - частотное автоматическое повторное включение
ЧДА - частотная делительная автоматика

Рисунок 8.1. Классификация видов противоаварийной автоматики по ГОСТ Р 59909-2021 [56] и состав функций АОСЧ по ГОСТ Р 55105-2019 [47, п. 6.4.2].

Под индивидуальной АЧР или ЧАПВ в настоящей Методике понимается функция, реализуемая в устройстве, установленном на конкретном присоединении. При срабатывании индивидуальной АЧР устройство действует на отключение выключателя данного присоединения. При срабатывании индивидуального ЧАПВ устройство действует на включение выключателя присоединения, ранее отключенного действием АЧР.

Под централизованной АЧР или ЧАПВ в настоящей Методике понимается функция, реализуемая в одном устройстве с формированием управляющих воздействий по нескольким очередям АЧР или ЧАПВ. В устройствах **«Алтей-01»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** централизованная АЧР и централизованное ЧАПВ реализуются в алгоритмах **«Централизованная автоматическая частотная разгрузка»** и **«Централизованное частотное автоматическое повторное включение»**. В указанном случае устройство выполняет функции централизованного устройства частотной автоматики и формирует команды отключения или включения для соответствующих присоединений.

Применяемое в настоящей Методике понятие централизованной АЧР или ЧАПВ относится к реализации многоочередного алгоритма в устройствах **«Алтей-01»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** и не является тождественным понятию централизованной системы противоаварийной автоматики по ГОСТ 34045-2023 [43, п. 2.39]. При выборе уставок централизованной АЧР и ЧАПВ следует учитывать состав алгоритмов, точные наименования уставок, диапазоны и дискретность их задания по РЭ соответствующего устройства.

Возможность реализации функций АЧР и ЧАПВ в микропроцессорном устройстве РЗА предусмотрена ГОСТ Р 59232-2020 [54, п. 1.1]. Понятие очереди АЧР и ЧАПВ приведено в ГОСТ Р 58335-2018 [52, п. 3.1.1]. При совмещении в одном устройстве функций РЗ и ПА должны учитываться требования к предотвращению отказа по общей причине, установленные Приказом Минэнерго России № 101 [146, п. 26].

Алгоритмы частотной автоматики, реализованные в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1. Частотная автоматика устройств «Алтей» и «Лютик»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Индивидуальная АЧР	–	+	+	+	+
Индивидуальное ЧАПВ	–	+	+	+	+
Централизованная АЧР	–	–	+	+	+
Централизованное ЧАПВ	–	–	+	+	+
ДАР в составе АЧР	–	+	+	+	+
АОПЧ/ЧДА	–	+	+	+	+

8.1 ИНДИВИДУАЛЬНАЯ И ЦЕНТРАЛИЗОВАННАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ РАЗГРУЗКА

8.1.1 Общие сведения

АЧР относится к АОСЧ и предназначена для предотвращения недопустимого снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности путем отключения части нагрузки потребителей [52, п. 4.1; 54, п. 4.1; 107]. Действие АЧР должно обеспечивать уменьшение скорости снижения частоты, ограничение величины снижения частоты, сокращение времени работы энергосистемы с недопустимо низким уровнем частоты и увеличение частоты [52, п. 6.1].

Устройства АЧР должны выдавать управляющие воздействия на отключение присоединений при снижении частоты в энергосистеме и достижении заданных уставок по частоте и времени [54, п. 4.2]. ГОСТ Р 59232-2020 устанавливает требования к микропроцессорным устройствам АЧР, в том числе устройствам РЗА с функциями АЧР и ЧАПВ [54, п. 1.1].

Необходимость применения АЧР определяется тем, что при нарушении баланса активной мощности в отделившейся или изолированно работающей части энергосистемы снижение частоты может привести к нарушению устойчивой работы электростанций, электроприемников и дальнейшему развитию аварии. В соответствии с ПУЭ автоматическое ограничение снижения частоты должно выполняться с таким расчетом, чтобы при любом возможном дефиците мощности в энергообъединении, энергосистеме или энергоузле возможность снижения частоты ниже 45 Гц была исключена полностью, время работы с частотой ниже 47 Гц не превышало 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц — 60 с [100, п. 3.3.76].

В соответствии с ПУЭ [100, пп. 3.3.79, 3.3.80], ГОСТ Р 55105-2019 [47, п. 6.4.4], ГОСТ Р 58335-2018 [52] и ГОСТ Р 59232-2020 [54] в составе АЧР предусматриваются следующие подсистемы:

- АЧР-1 — подсистема АЧР, обеспечивающая прекращение снижения частоты. АЧР-1 включает спецочередь АЧР и основной объем АЧР-1, предназначенный для уменьшения скорости и ограничения величины снижения частоты. При реализации АЧР-1 отдельными очередями отключение нагрузки выполняется по различным уставкам срабатывания по частоте; в [107] такая разгрузка называется быстродействующей;
- САЧР — спецочередь АЧР-1, предназначенная для предотвращения срабатывания основного объема АЧР и автоматической или оперативной разгрузки энергоблоков АЭС при снижении частоты ниже 49,0 Гц [47, п. 6.4.4; 52, п. 6.4.4];
- АЧР-2 — подсистема АЧР, предназначенная для ограничения времени работы с пониженным уровнем частоты и для увеличения частоты после действия АЧР-1, а также для ограничения снижения частоты при ее плавном снижении. При реализации АЧР-2 отдельными очередями отключение нагрузки выполняется по одной или нескольким близким уставкам по частоте и различным уставкам по времени; в [107] такая разгрузка называется медленнодействующей.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** отдельный алгоритм с наименованием «САЧР» не выделяется. При необходимости выполнение спецочереди АЧР может быть реализовано соответствующей ступенью или очередью АЧР-1 с уставками, заданными проектными решениями, заданием субъекта оперативно-диспетчерского управления или иными требованиями к конкретному объекту.

Как отмечено в [107], разделение автоматической частотной разгрузки на подсистемы АЧР-1, АЧР-2 и САЧР в сочетании с большим числом малых по мощности очередей обеспечивает самонастройку разгрузки по объему отключаемой нагрузки. Реализованное в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** количество очередей N = 9 для централизованной АЧР позволяет распределить отключаемую нагрузку по нескольким очередям и тем самым способствует более плавному действию разгрузки. Аналогичный подход к увеличению числа очередей АЧР рассматривается в [78], где приведен вариант структуры формирования и настройки системы АЧР–ЧАПВ, содержащий 16 очередей АЧР-1 и АЧР-2.

В соответствии с ПУЭ устройства АЧР следует устанавливать, как правило, на подстанциях энергосистемы; допускается их установка непосредственно у потребителей под контролем энергосистемы. Объем и очередность отключаемой нагрузки должны определяться таким образом, чтобы обеспечить эффективность разгрузки при любых возможных дефицитах мощности и минимизировать ущерб потребителей, при этом работа АЧР должна быть согласована с устройствами АПВ и АВР [100, п. 3.3.79].

В соответствии с ГОСТ Р 58335-2018 в каждой энергосистеме под действие АЧР должен быть подключен объем нагрузки потребителей, составляющий не менее 60 % от прогнозного потребления энергосистемы. Под действие АЧР-1 и специальных очередей АЧР подключают не менее 50 %, а под действие несовмещенной АЧР-2 — не менее 10 % от прогнозного потребления энергосистемы [52, пп. 6.10.2–6.10.4]. Под действие САЧР должен быть подключен объем нагрузки потребителей, составляющий от 3 % до 4 % от прогнозного потребления энергосистемы [52, п. 6.10.1]. Указанные требования относятся к суммарному объему нагрузки, подключаемой под действие АЧР в энергосистеме, и при расчете уставок конкретного устройства должны учитываться как исходные требования к объему и распределению отключаемой нагрузки, а не как расчетные уставки устройства.

Работа АЧР 1, АЧР 2 и ДАР блокируется при снижении контролируемых линейных напряжений ниже значения уставки **«Uблок»**. Блокировка АЧР 1 по скорости снижения частоты применяется для предотвращения излишнего действия АЧР при выбеге электродвигателей и синхронных компенсаторов после аварийного прекращения их электроснабжения. Необходимость такой блокировки соответствует требованию о несрабатывании устройств АЧР при выбеге электродвигателей[1] [52, п. 6.10.12; 54, п. 4.5; 107].

[1] Выбег электродвигателей — снижение скорости вращения электродвигателей, возникающее при аварийном прекращении их электроснабжения и вызывающее изменение частоты электрического тока в обесточенных узлах двигательной нагрузки [54].

В алгоритмах АЧР и ЧАПВ блокирование при глубоком снижении напряжения выполняется сигналом **«Блок. АЧР/ЧАПВ по U»**, формируемым алгоритмом **«Контроль электрических параметров»** по уставке **«Uблок»**. Расчет уставки **«Uблок»** приведен в **2.2.2**. Указанное блокирование используется для исключения излишнего действия частотной автоматики при режимах, в которых измерение частоты по напряжению может быть недостоверным.

Контроль направления мощности применяется для блокирования АЧР при потере внешнего питания секции шин или питающего присоединения, когда снижение частоты обусловлено выбегом двигательной нагрузки, а не дефицитом активной мощности в энергосистеме. Данная блокировка в основном целесообразна при наличии синхронных электродвигателей или синхронных компенсаторов, способных после потери питания кратковременно поддерживать напряжение на шинах. При введенном контроле направления мощности АЧР разрешается только при прямом направлении активной мощности от шин к нагрузке [107].

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** алгоритм АЧР также предусматривает исполнение команды от внешнего устройства АЧР. При поступлении внешней команды устройство действует на отключение выключателя защищаемого присоединения с выдержкой времени, определяемой уставкой **«Тачр (дв)»**. Данная выдержка относится к исполнению внешней команды в устройстве и не должна рассматриваться как полная выдержка времени централизованной АЧР, если выдержка уже реализована во внешнем устройстве. В устройстве **«Лютик»** исполнение такой команды может выполняться назначением соответствующего сигнала на свободный дискретный вход устройства без реализации собственного частотного пуска АЧР.

Индивидуальная АЧР реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Автоматическая частотная разгрузка»**, основные параметры которого приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2. Алгоритм «Автоматическая частотная разгрузка»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	–	АЧР 1, АЧР 2	АЧР 1, АЧР 2	АЧР 1, АЧР 2	АЧР 1, АЧР 2
Ступень дополнительной разгрузки	–	ДАР	ДАР	ДАР	ДАР
Работа по скорости снижения частоты	–	ДАР	ДАР	ДАР	ДАР
Блокировка АЧР по скорости снижения частоты	–	АЧР 1	АЧР 1	АЧР 1	АЧР 1
Блокировка при снижении линейных напряжений	–	+	+	+	+
Контроль направления мощности	–	+	+	+	+
Исполнение команд от внешнего устройства АЧР	+	+	+	+	+
Раздельные и совмещенные входы «АЧР» и «ЧАПВ»	–	+	+	+	+

Работу алгоритма индивидуальной АЧР в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.3.

Таблица 8.3. Уставки алгоритма «Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)							
Тачр (дв)	с	0,5	0	100	0,01	-	Задержка срабатывания АЧР по внешнему сигналу
fачр 1	Гц	48	45	55	0,01	+0,1Гц	АЧР 1 - уставка срабатывания по частоте
Тачр 1	с	0,5	0,1	10	0,01	-	АЧР 1 – задержка срабатывания
dfачр 1	Гц/с	10	1	10	0,1	-	АЧР 1 - уставка блокировки по скорости снижения частоты
fачр 2	Гц	49	45	55	0,01	+ «fачр 2 в»	АЧР 2 - уставка срабатывания по частоте
fачр 2 в	Гц	0,1	0,1	0,5	0,1	-	АЧР 2 - уставка возврат по частоте
Тачр 2	с	5	0,1	100	0,01	-	АЧР 2 – задержка срабатывания
fдар	Гц	49	45	55	0,01	+0,1Гц	ДАР - уставка срабатывания по частоте

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
dfдар	Гц/с	2	1	10	0,1	-	ДАР - уставка срабатывания по скорости снижения частоты
Тдар	с	0,05	0,05	1	0,01	-	ДАР – задержка срабатывания

Работу алгоритма индивидуальной АЧР в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.4.

Таблица 8.4. Уставки алгоритма «Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)							
Тачр (дв)	с	0,5	0,1	100	0,01	-	Задержка срабатывания АЧР по внешнему сигналу
fачр 1	Гц	48	45	55	0,01	+0,1Гц	АЧР 1 - уставка срабатывания по частоте
Тачр 1	с	0,5	0,1	10	0,01	-	АЧР 1 – задержка срабатывания
dfачр 1	Гц/с	10	1	15	0,1	1	АЧР 1 - уставка блокировки по скорости снижения частоты
dfачр 1 в	-	1	0,2	1	1	0,01	Коэффициент возврата органа блокировки по скорости снижения частоты
fачр 2	Гц	49	45	55	0,01	+fачр в	АЧР 2 - уставка срабатывания по частоте
fачр 2 в	Гц	0,1	0,1	0,5	0,01	-	АЧР 2 - уставка возврат по частоте
Тачр 2	с	5	0,1	100	0,01	-	АЧР 2 – задержка срабатывания
fдар	Гц	49	45	55	0,01	+0,1Гц	ДАР - уставка срабатывания по частоте
dfдар	Гц/с	2	1	10	0,1	1	ДАР - уставка срабатывания по скорости снижения частоты
Тдар	с	0,05	0,05	1	0,01	-	ДАР – задержка срабатывания

Централизованная АЧР реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Централизованная автоматическая частотная разгрузка»**, основные параметры которого приведены в таблице 8.5.

Таблица 8.5. Алгоритм «Централизованная автоматическая частотная разгрузка» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

ПАРАМЕТР	АЛТЕЙ-БЗП, АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	АЧР 1, АЧР 2
Ступень дополнительной разгрузки	ДАР
Работа по скорости снижения частоты	ДАР
Блокировка АЧР по скорости снижения частоты	АЧР 1
Блокировка при снижении линейных напряжений	+
Контроль направления мощности	+
Количество очередей АЧР 1	9
Количество очередей АЧР 2	9
Количество очередей ДАР	9

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.6. В таблице через косую черту указаны отличающиеся значения для устройств **«Алтей-БЗП»** / **«Алтей-БЗП2»**.

Таблица 8.6. Уставки алгоритма «Централизованная автоматическая частотная разгрузка» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическая частотная разгрузка (АЧР – N очередей)							
fачр 1 - N	Гц	48	45	55	0,01	+0,1 Гц	АЧР 1 N очередь - уставка срабатывания по частоте
Тачр 1 - N	с	0,5	0,1	10	0,01	-	АЧР 1 N очередь – задержка срабатывания
dfачр 1 - N	Гц/с	10	1	20/10	0,1	-	АЧР 1 N очередь - уставка блокировки по скорости снижения частоты
fачр 2 - N	Гц	49	45	55	0,01	+ «fачр 2 в – N»	АЧР 2 N очередь - уставка срабатывания по частоте

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
fачр 2 в - N	Гц	0,1	0,1	0,5	0,1	-	АЧР 2 N очередь - уставка возврат по частоте
Тачр 2 - N	с	5	0,1	100	0,01	-	АЧР 2 N очередь – задержка срабатывания
fдар - N	Гц	49	45	55	0,01	+0,1 Гц	ДАР N очередь - уставка срабатывания по частоте
dfдар - N	Гц/с	2	1	20/10	0,1	-	ДАР N очередь - уставка срабатывания по скорости снижения частоты
Тдар - N	с	0,05	0,05	1	0,01	-	ДАР N очередь – задержка срабатывания

Диапазоны и дискретность задания уставки блокировки АЧР по скорости снижения частоты принимаются по РЭ соответствующего устройства. При сопоставлении с ГОСТ Р 59232-2020 [54, п. 4.6] следует учитывать, что фактические диапазоны задания данной уставки в устройствах **«Алтей»** могут отличаться от диапазона, указанного в ГОСТ, при сохранении функционального назначения блокировки.

В настоящем подразделе расчет уставок АЧР приведен для обобщенного случая, применимого к индивидуальной и централизованной АЧР. Для централизованной АЧР расчет выполняется для N-й очереди с уставками **«fачр 1 – N»**, **«fачр 2 – N»**, **«fдар – N»** и т.д. Для индивидуальной АЧР расчет выполняется по тем же расчетным условиям, при этом используются соответствующие уставки без индекса очереди: **«fачр 1»**, **«fачр 2»**, **«fдар»** и т.д.

8.1.2 Расчет уставок

Расчет уставок АЧР следует выполнять на основании задания субъекта оперативно-диспетчерского управления, проектных решений или иных требований к настройке частотной автоматики конкретного объекта. Исходными данными для расчета являются состав присоединений, подключаемых под действие АЧР, объем отключаемой нагрузки по очередям, принадлежность очередей к САЧР, АЧР-1, АЧР-2 совмещенной или АЧР-2 несовмещенной, необходимость применения ДАР, а также требования к применению блокировок по напряжению, направлению мощности и скорости снижения частоты.

Уставки по частоте **«fачр 1»**, **«fачр 2»**, **«fдар»** и соответствующие уставки с индексом N задаются непосредственно в герцах. Уставки по скорости снижения частоты **«dfачр 1»**, **«dfдар»** и соответствующие уставки с индексом N задаются в герцах в секунду. Пересчет указанных уставок через коэффициент трансформации ТН не выполняется. Расчет уставки **«Uблок»**, используемой для блокирования АЧР и ЧАПВ при снижении линейных напряжений, приведен в 2.2.2.

В настоящем подразделе обозначение N применяется для очередей централизованной АЧР устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**. При расчете индивидуальной АЧР устройств **«Лютик-Плюс»**, **«Алтей-01»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** расчет выполняется по тем же условиям, но используются уставки без индекса N: **«fачр 1»**, **«Тачр 1»**, **«dfачр 1»**, **«fачр 2»**, **«fачр 2 в»**, **«Тачр 2»**, **«fдар»**, **«dfдар»**, **«Тдар»**.

Значения уставок **«fачр 1 - N»** для очередей САЧР следует принимать равными 49,2 Гц. Значения уставок **«Тачр 1 - N»** для очередей САЧР следует принимать в диапазоне от 0,15 до 0,30 с [52, п. 6.10.5]. При отсутствии в задании на настройку требования о выполнении САЧР соответствующие очереди АЧР-1 не следует использовать как спецочередь.

Значения уставок **«fачр 1 - N»** основного объема АЧР-1 следует выбирать в диапазоне от 48,8 до 47,0 Гц включительно с интервалом по частоте 0,1 или 0,2 Гц [52, п. 6.10.6, с учетом Изм. № 1]. На период до 01.10.2027 допускается применение нижней границы диапазона уставок основного объема АЧР-1 в пределах от 46,5 до 47,0 Гц, если это предусмотрено заданием на настройку или ранее принятыми проектными решениями [52, п. 6.10.6, с учетом Изм. № 1].

Значения уставок **«Тачр 1 - N»** основного объема АЧР-1 следует выбирать в диапазоне от 0,15 до 0,30 с [52, п. 6.10.6]. Несмотря на то, что диапазоны задания уставок устройств **«Алтей»** допускают задание меньших выдержек времени, окончательные значения **«Тачр 1 - N»** следует принимать в пределах нормативного диапазона, если иное не задано субъектом оперативно-диспетчерского управления.

Значение уставки **«dfачр 1 - N»** следует выбирать по условию предотвращения излишнего действия АЧР-1 при выбеге электродвигателей и синхронных компенсаторов после аварийного прекращения их электроснабжения. При наличии расчетных данных значение уставки **«dfачр 1 - N»** следует принимать меньше ожидаемой скорости снижения частоты при выбеге двигательной нагрузки и больше максимальной расчетной скорости снижения частоты при аварийных дефицитах активной мощности, при которых действие АЧР-1 должно сохраняться. При отсутствии расчетных данных значение уставки **«dfачр 1 -**

N» допускается предварительно принимать равным 10 Гц/с с последующим уточнением по результатам расчетов, моделирования или опыта эксплуатации. Для устройств, в которых предусмотрена уставка коэффициента возврата органа блокировки по скорости снижения частоты **«dfачр 1 в»**, значение данной уставки допускается принимать равным значению по умолчанию, если отсутствуют специальные требования к возврату блокировки.

Значения уставок **«fачр 2 - N»** и **«fачр 2 в - N»** для АЧР-2 несовмещенной следует принимать соответственно равными 49,1 Гц и 0,1 Гц. Значения уставок **«Тачр 2 - N»** для АЧР-2 несовмещенной следует выбирать в диапазоне от 5 до 40 с включительно с интервалом по времени не более 5 с [52, п. 6.10.7, с учетом Изм. № 1].

Значения уставок **«fачр 2 - N»** и **«fачр 2 в - N»** для АЧР-2 совмещенной следует принимать соответственно равными 49,1 Гц и 0,1 Гц. Значения уставок **«Тачр 2 - N»** для АЧР-2 совмещенной следует выбирать в диапазоне от 5 до 70 с включительно с интервалом по времени не более 5 с. Возможность увеличения выдержки времени до 90 с определяется субъектом оперативно-диспетчерского управления с учетом возможности мобилизации мощности ГЭС [52, п. 6.10.8, с учетом Изм. № 1].

На период до 01.10.2027 для АЧР-2 совмещенной допускается применение переходных значений уставок по частоте и времени в соответствии с таблицей 1 ГОСТ Р 58335-2018: 49,0 Гц при выдержках 5–20 с; 48,9 Гц при выдержках 20–35 с; 48,8 Гц при выдержках 35–50 с; 48,7 Гц при выдержках 50–70 с. При применении переходных значений уставку **«fачр 2 в - N»** следует принимать равной 0,1 Гц, а при наличии технической возможности допускается принимать значения возврата, указанные в таблице 1 ГОСТ Р 58335-2018 [52, п. 6.10.8, с учетом Изм. № 1].

Значения уставок **«fдар - N»**, **«dfдар - N»** и **«Тдар - N»** следует выбирать при необходимости применения ДАР, определенной заданием на настройку или проектными решениями. В устройствах «Алтей» и «Лютик-Плюс» ДАР реализуется как ступень разгрузки, действующая при одновременном снижении частоты ниже уставки **«fдар - N»** и превышении скорости снижения частоты уставки **«dfдар - N»**. Такое выполнение отличается от основного варианта ДАР по ГОСТ Р 58335-2018, в котором ДАР преимущественно действует по факту отключения ЛЭП, генерирующего или электросетевого оборудования без фиксации снижения частоты [52, п. 8.2].

Значение уставки **«fдар - N»** следует принимать по заданию на настройку с учетом необходимости действия ДАР до начала срабатывания устройств АЧР-1 или в процессе срабатывания первых очередей АЧР-1. При отсутствии специальных требований значение уставки **«fдар - N»** допускается предварительно принимать равным 49,0 Гц с последующим уточнением по результатам расчетов аварийных дефицитов активной мощности.

Значение уставки **«dfдар - N»** следует выбирать по расчетной скорости снижения частоты при аварийном небалансе активной мощности, при котором требуется действие ДАР. При отсутствии расчетных данных значение уставки **«dfдар - N»** допускается предварительно принимать равным 2,0 Гц/с, что соответствует применению ДАР при больших скоростях снижения частоты [52, п. 8.1].

Значение уставки **«Тдар - N»** следует принимать минимально возможным в пределах диапазона задания устройства, если иное не установлено заданием на настройку или проектными решениями. Для устройств **«Алтей»** значение уставки **«Тдар - N»** при отсутствии специальных требований допускается принимать равным 0,05 с.

Значение уставки **«Тачр (дв)»** следует выбирать только при использовании исполнения команды от внешнего устройства АЧР. Если выдержка времени АЧР уже реализована во внешнем устройстве, значение уставки **«Тачр (дв)»** следует принимать минимально допустимым для соответствующего устройства. Если требуется дополнительная задержка исполнения внешней команды в устройстве **«Алтей»** или **«Лютик-Плюс»**, значение уставки **«Тачр (дв)»** следует принимать равным указанной дополнительной задержке. Время от пуска внешней АЧР до формирования команды отключения в устройстве определяется суммой времени действия внешнего устройства АЧР, значения уставки **«Тачр (дв)»** и времени выходных реле и цепей отключения устройства. Полное время до отключения выключателя дополнительно включает собственное время отключения выключателя.

На период до 01.10.2027 допускается применение переходных значений уставок АЧР-2 совмещенной: 49,0 Гц при выдержках 5–20 с; 48,9 Гц при выдержках 20–35 с; 48,8 Гц при выдержках 35–50 с; 48,7 Гц при выдержках 50–70 с [52, п. 6.10.8].

8.2 ИНДИВИДУАЛЬНОЕ И ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ ЧАСТОТНОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

8.2.1 Общие сведения

ЧАПВ относится к функциям АОСЧ и предназначено для автоматического восстановления электроснабжения нагрузки потребителей, отключенной действием АЧР, при восстановлении частоты в энергосистеме [52, п. 7.1; 54, п. 4.1]. Устройства АЧР с функцией ЧАПВ должны выдавать управляющие воздействия на включение присоединений, нагрузка которых отключена действием АЧР, при повышении частоты в энергосистеме и достижении заданных уставок по частоте и времени [54, п. 4.2].

Согласно ПУЭ устройства ЧАПВ используются для уменьшения перерыва питания отключенных потребителей в условиях восстановления частоты в результате реализации резервов генерирующей мощности, ресинхронизации или синхронизации по отключившейся электропередаче [100, п. 3.3.81]. Как правило, очередность включения нагрузки от ЧАПВ должна быть обратной по сравнению с принятой для АЧР [52, п. 7.6].

ЧАПВ следует рассматривать как функцию включения присоединений, нагрузка которых ранее отключена действием АЧР. ЧАПВ не является заменой алгоритма АПВ присоединения после отключения от релейной защиты при повреждении. Включение выключателя от ЧАПВ выполняется через алгоритмы автоматики управления выключателем, поэтому при действии ЧАПВ должны сохраняться предусмотренные в устройстве условия разрешения и блокирования включения выключателя.

Индивидуальное ЧАПВ реализуется в устройствах **«Лютик-Плюс»**, **«Алтей-01»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Частотное автоматическое повторное включение»**. Алгоритм индивидуального ЧАПВ обеспечивает ступень ЧАПВ по измеренной частоте и исполнение команды от внешнего устройства ЧАПВ. По РЭ условием пуска ЧАПВ по измеренной частоте является повышение частоты сети выше значения уставки **«fчапв»**, а срабатывание выполняется с выдержкой времени **«Тчапв»**; контроль наличия напряжения на шинах вводится уставкой **«Uчапв»**; исполнение команды от внешнего устройства ЧАПВ выполняется с выдержкой времени **«Тчапв (дв)»**, при этом работа ЧАПВ по измеренной частоте запрещается.

Индивидуальное ЧАПВ реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Частотное автоматическое повторное включение»**, основные параметры которого приведены в таблице 8.7.

Таблица 8.7. Алгоритм «Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Исполнение команд от внешнего устройства ЧАПВ	+	+	+	+	+
Раздельные и совмещенные входы «АЧР» и «ЧАПВ»	–	+	+	+	+
Контроль наличия напряжения на шинах	–	+	+	+	+
Блокировка при снижении напряжения	–	+	+	+	+

В устройстве **«Лютик»** собственный частотный пуск ЧАПВ не реализуется. При необходимости исполнение команды включения от внешнего устройства ЧАПВ может выполняться назначением соответствующего сигнала на дискретный вход устройства.

Работу алгоритма индивидуального ЧАПВ в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.8.

Таблица 8.8. Уставки алгоритма «Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)							
Тчапв гот	с	12	1	60	0,01	-	Время готовности ЧАПВ
Тчапв (дв)	с	0,5	0	300	0,01	-	Задержка срабатывания ЧАПВ по внешнему сигналу

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
fчапв	Гц	49,4	45	55	0,01	-0,1 Гц	Уставка срабатывания ЧАПВ по частоте
Тчапв	с	10	0,1	300	0,01	-	Задержка срабатывания ЧАПВ по частоте
Uчапв	В	80	80	100	0,1	0,95	Уставка по напряжению разрешения ЧАПВ

Работу алгоритма индивидуального ЧАПВ в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.9.

Таблица 8.9. Уставки алгоритма «Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ)							
Тчапв гот	с	12	1	60	0,01	-	Время готовности ЧАПВ
Тчапв (дв)	с	0,5	0,1	100	0,01	-	Задержка срабатывания ЧАПВ по внешнему сигналу
fчапв	Гц	49,4	49	51	0,01	-0,1 Гц	Уставка срабатывания ЧАПВ по частоте
Тчапв	с	10	0,1	100	0,01	-	Задержка срабатывания ЧАПВ по частоте
Uчапв	В	80	80	100	0,1	0,95	Уставка по напряжению разрешения ЧАПВ

Необходимым условием пуска индивидуального ЧАПВ является отключение выключателя от действия АЧР при условии нахождения его во включенном состоянии до этого момента в течение времени не менее значения уставки **«Тчапв гот»**. Работа ЧАПВ по измеренной частоте блокируется при действии предусмотренных РЭ сигналов вывода или блокирования ЧАПВ, а для устройств, в которых предусмотрен контроль исправности цепей напряжения, также при выявлении неисправности цепей напряжения.

В алгоритмах АЧР и ЧАПВ блокирование при глубоком снижении напряжения выполняется сигналом **«Блок. АЧР/ЧАПВ по U»**, формируемым алгоритмом **«Контроль электрических параметров»** по уставке **«Uблок»**. Расчет уставки **«Uблок»** приведен в 2.2.2. Указанное блокирование используется для исключения излишнего действия частотной автоматики при режимах, в которых измерение частоты по напряжению может быть недостоверным.

Централизованное ЧАПВ реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Централизованное частотное автоматическое повторное включение»**. Алгоритм централизованного ЧАПВ содержит N очередей, при этом литера N в наименованиях уставок и сигналов заменяет порядковый номер соответствующей очереди ЧАПВ. Условием пуска ЧАПВ N-й очереди является повышение частоты сети выше значения уставки **«fчапв - N»**. ЧАПВ N-й очереди срабатывает с выдержкой времени **«Тчапв - N»** и формирует импульсный сигнал **«ЧАПВ сраб. N оч.»** длительностью 0,5 с. Контроль наличия напряжения на шинах для пуска ЧАПВ N-й очереди выполняется по уставке **«Uчапв - N»**. Работа ЧАПВ N-й очереди разрешается после срабатывания соответствующей очереди АЧР и блокируется при сбросе АЧР, сигналом на логическом входе **«Вывод ЧАПВ N оч.»**, а также при действии блокирования при глубоком снижении напряжения.

Централизованное ЧАПВ реализуется в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** в алгоритме **«Централизованное частотное автоматическое повторное включение»**, основные параметры которого приведены в таблице 8.10.

Таблица 8.10. Алгоритм «Централизованное частотное автоматическое повторное включение»

ПАРАМЕТР	АЛТЕЙ-БЗП, АЛТЕЙ-БЗП2
Количество очередей	9
Блокировка по напряжению	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.11.

Таблица 8.11. Уставки алгоритма «Централизованное частотное автоматическое повторное включение» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ – N очередей)							

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
fчапв - N	Гц	49,4	49	51	0,1	-0,1 Гц	Уставка срабатывания ЧАПВ N очереди по частоте
Тчапв - N	с	10	0,1	300	0,01	-	Задержка срабатывания ЧАПВ N очереди по частоте
Uчапв - N	В	80	80	100	0,1	0,95	Уставка по напряжению разрешения ЧАПВ N очереди

В настоящем подразделе расчет уставок ЧАПВ приведен для обобщенного случая, применимого к индивидуальному и централизованному ЧАПВ. Для централизованного ЧАПВ расчет выполняется для N-й очереди с уставками **«fчапв - N»**, **«Тчапв - N»**, **«Uчапв - N»** и т.д. Для индивидуального ЧАПВ расчет выполняется по тем же расчетным условиям, при этом используются соответствующие уставки без индекса очереди: **«fчапв»**, **«Тчапв»**, **«Uчапв»** и т.д. Уставки по частоте **«fчапв»** и **«fчапв - N»** задаются непосредственно в герцах. Расчет уставок по напряжению **«Uчапв»** и **«Uчапв - N»** следует выполнять в первичных величинах с последующим пересчетом в соответствии с **2.1**.

8.2.2 Расчет уставок

Расчет уставок ЧАПВ следует выполнять на основании задания субъекта оперативно-диспетчерского управления, проектных решений или иных требований к настройке частотной автоматики конкретного объекта. Исходными данными для расчета являются состав присоединений, отключаемых действием АЧР и подлежащих включению от ЧАПВ, очередность включения присоединений, ранее отключенных действием АЧР, значения уставок соответствующих очередей АЧР, требования к применению контроля наличия напряжения на шинах, а также требования к исполнению команд от внешнего устройства ЧАПВ.

В настоящем подразделе обозначение N применяется для очередей централизованного ЧАПВ устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**. При расчете индивидуального ЧАПВ устройств **«Лютик-Плюс»**, **«Алтей-01»**, **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** расчет выполняется по тем же условиям, но используются уставки без индекса N: **«fчапв»**, **«Тчапв»**, **«Uчапв»**. Для устройства **«Лютик»** расчет уставок собственного частотного пуска ЧАПВ не выполняется, поскольку данный алгоритм в устройстве не реализован; при необходимости включение выключателя присоединения, ранее отключенного действием АЧР, по команде внешнего устройства ЧАПВ выполняется назначением соответствующего сигнала на дискретный вход.

Значения уставок **«fчапв - N»** следует выбирать в диапазоне от 49,4 до 49,8 Гц [52, п. 7.4]. Окончательные значения уставок **«fчапв - N»** следует принимать по заданию на настройку с учетом очередности включения нагрузки, принятой для ЧАПВ. Как правило, очередность включения нагрузки от ЧАПВ должна быть обратной по сравнению с принятой для АЧР [52, п. 7.6].

При отсутствии специальных требований значения уставок **«fчапв - N»** допускается принимать одинаковыми для всех очередей ЧАПВ. Последовательность включения нагрузки в этом случае обеспечивается различными значениями выдержек времени **«Тчапв – N»**. При применении различных уставок по частоте следует учитывать, что очереди, предназначенные для более позднего включения нагрузки, не должны срабатывать ранее очередей, предназначенных для первоочередного включения присоединений, ранее отключенных действием АЧР.

Значения уставок **«Тчапв – N»** следует выбирать не менее 10 с. Интервал между выдержками времени на срабатывание очередей ЧАПВ должен быть не менее 5 с [52, п. 7.5]. Если номера очередей ЧАПВ соответствуют принятому порядку включения присоединений, ранее отключенных действием АЧР, значения уставок **«Тчапв – N»** допускается предварительно принимать равными 10, 15, 20 с; при этом интервал между смежными очередями ЧАПВ должен составлять не менее 5 с.

Если нумерация очередей ЧАПВ соответствует нумерации очередей АЧР, а включение присоединений, ранее отключенных действием АЧР, должно выполняться в порядке, обратном отключению, значения уставок **«Тчапв – N»** следует назначать не по возрастанию номера N, а в соответствии с заданной очередностью включения присоединений, ранее отключенных действием АЧР. В этом случае первой по времени должна срабатывать очередь ЧАПВ, соответствующая последней по очередности отключения нагрузке АЧР, если иное не установлено заданием на настройку.

При выборе очередности и выдержек времени ЧАПВ должно быть исключено одновременное включение нагрузки потребителей в объеме более 2,5 % от суммарного объема нагрузки потребителей, подключенной под действие АЧР в соответствующей энергосистеме (территориальной, объединенной) [52, п. 7.5]. Выполнение указанного требования следует обеспечивать распределением присоединений по очередям ЧАПВ, назначением различных значений уставок **«Тчапв – N»** и, при необходимости, внешними промежуточными выдержками времени.

При подключении под действие одной очереди ЧАПВ нескольких присоединений на одном объекте электроэнергетики их выключатели должны включаться поочередно с выдержкой времени не менее 1 с, если это необходимо по условиям работы источников оперативного тока [52, п. 7.5]. В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** данное требование следует учитывать при назначении выходных сигналов, схем внешних цепей и промежуточных выдержек времени вне алгоритма одной очереди ЧАПВ.

Значение уставки **«Тчапв гот»** следует выбирать по условию обеспечения готовности привода выключателя к выполнению операции включения присоединения, ранее отключенного действием АЧР. При отсутствии специальных требований расчет допускается выполнять по условию:

$$\text{Тчапв гот} \geq t_{\text{гот.прив}} + t_{\text{зап}} \text{ [с]} \quad (8.1)$$

где обозначения те же, что и в формуле (11.14)

Окончательное значение уставки **«Тчапв гот»** следует принимать не менее значения, определенного по указанному условию, и в пределах диапазона задания соответствующего устройства. Уставка **«Тчапв гот»** определяет условие готовности ЧАПВ и не является выдержкой времени на включение выключателя от ЧАПВ. Выдержка времени на включение выключателя от ЧАПВ определяется уставками **«Тчапв»** или **«Тчапв - N»**.

Значение уставки **«Uчапв - N»** следует выбирать по условию наличия напряжения на шинах, достаточного для разрешения включения выключателя присоединения, ранее отключенного действием АЧР. При отсутствии специальных требований и результатов расчетов устойчивости узла нагрузки значение уставки **«Uчапв - N»** в первичных величинах допускается предварительно принимать равным:

$$\text{Uчапв} - \text{N} = 0{,}85 \cdot U_{\text{ном}} \text{ [В]} \quad (8.2)$$

где

$U_{\text{ном}}$ В номинальное междуфазное напряжение электрической сети

Окончательное значение уставки **«Uчапв - N»** следует принимать с учетом минимального напряжения, при котором допускается включение присоединения, ранее отключенного действием АЧР, и диапазона задания соответствующего устройства.

Применение значения уставки **«Uчапв - N»** менее $0{,}85 \cdot U_{\text{ном}}$ допускается при наличии расчетного обоснования, проектного решения или задания на настройку с учетом устойчивости узла нагрузки и допустимости включения соответствующего присоединения при пониженном напряжении.

Значение уставки **«Uчапв»** индивидуального ЧАПВ следует выбирать по тем же условиям, что и значение уставки **«Uчапв - N»** централизованного ЧАПВ. Если контроль наличия напряжения на шинах не используется, уставка **«Uчапв»** не определяет условие пуска ЧАПВ, однако блокирование ЧАПВ при глубоком снижении напряжения должно учитываться в соответствии с общими сведениями настоящего подраздела и РЭ соответствующего устройства.

Значение уставки **«Тчапв (дв)»** следует выбирать только при использовании исполнения команды от внешнего устройства ЧАПВ. Если выдержка времени ЧАПВ уже реализована во внешнем устройстве, значение уставки **«Тчапв (дв)»** следует принимать минимально допустимым для соответствующего устройства. Если требуется дополнительная задержка исполнения внешней команды в устройстве **«Алтей»** или **«Лютик-Плюс»**, значение уставки **«Тчапв (дв)»** следует принимать равным указанной дополнительной задержке.

Время от пуска внешнего ЧАПВ до формирования команды включения в устройстве определяется суммой времени действия внешнего устройства ЧАПВ, значения уставки **«Тчапв (дв)»** и времени выходных реле и цепей включения устройства. Полное время до включения выключателя дополнительно включает собственное время включения выключателя.

8.3 ЧАСТОТНАЯ ДЕЛИТЕЛЬНАЯ АВТОМАТИКА (ЧДА)

8.3.1 Общие сведения

ЧДА относится к функциям АОСЧ и предназначена для предотвращения полного останова ТЭС при недопустимом снижении частоты в энергосистеме [47, п. 6.4.6.1; 52, п. 9.1]. Действие ЧДА должно обеспечивать сохранение в работе собственных нужд ТЭС при отказе или недостаточной эффективности АЧР путем выделения ТЭС, их частей или отдельных энергоблоков (генераторов) на собственные нужды или на район нагрузки [52, п. 9.2].

Согласно Приказу Минэнерго России № 101 ЧДА должна реализовываться на всех ТЭС установленной мощностью 25 МВт и более с выделением электростанций, их частей или отдельных энергоблоков (генераторов) на собственные нужды; при проектном обосновании допускается выделение на изолированный район нагрузки [146, п. 127].

При выделении энергоблока ТЭС на собственные нужды действием ЧДА должна обеспечиваться его устойчивая работа в течение не менее 30 мин [52, п. 9.3]. Действие устройств ЧДА на выделение ТЭС, энергоблоков или генераторов на изолированный район нагрузки должно обеспечивать баланс активной мощности в указанном районе. Допустимая величина небаланса активной мощности определяется условиями обеспечения устойчивой работы генерирующего оборудования ТЭС с учетом действия АЧР [52, п. 9.4].

ЧДА следует рассматривать как функцию деления электрической схемы при аварийном снижении частоты, а не как функцию отключения нагрузки потребителей. В отличие от АЧР, действие ЧДА направлено на сохранение собственных нужд ТЭС и предотвращение полного останова электростанции. При проектном обосновании допускается выделение электростанции, ее части или отдельных энергоблоков (генераторов) на изолированный район нагрузки [43, п. 6.4.7.3]. Для предварительной подготовки энергорайона, выделяемого действием ЧДА, может осуществляться автоматическое изменение конфигурации электрической сети путем отключения соответствующих коммутационных аппаратов [52, п. 9.6].

Ступени ЧДА по снижению частоты блокируются при снижении контролируемых линейных напряжений ниже значения уставки **«Uблок»** при наличии сигнала **«Блок. АЧР/ЧАПВ по U»**. Блокирование при глубоком снижении напряжения используется для исключения излишнего действия частотной автоматики при режимах, в которых измерение частоты по напряжению может быть недостоверным. Расчет уставки **«Uблок»** приведен в 2.2.2. Для ступеней ЧДА по снижению частоты также предусмотрена возможность блокирования при увеличении скорости снижения частоты до значения, определяемого уставкой **«dfблок»**.

ЧДА реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика»**, основные параметры которого в части, касающейся ЧДА, приведены в таблице 8.12.

Таблица 8.12. Алгоритм «Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика» в части ЧДА

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Число ступеней, работающих по вычисленной частоте сети, с возможностью блокирования по скорости снижения частоты	–	2	2	2	2
Число ступеней, работающих по скорости снижения частоты	–	2	2	2	2
Блокировка при снижении напряжения	–	+	+	+	+

Работу алгоритма **«ЧДА»** в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.13.

Таблица 8.13. Уставки алгоритма «Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика» в части ЧДА для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Частотная делительная автоматика (ЧДА)							
fчда 1	Гц	46,5	40	50,5	0,1	+0,1 Гц	ЧДА 1 – уставка срабатывания
Тчдаf 1	с	0,4	0,1	200	0,01	-	ЧДА 1 – задержка срабатывания
fчда 2	Гц	47,2	40	50,5	0,1	+0,1 Гц	ЧДА 2 – уставка срабатывания
Тчда f 2	с	35	0,1	200	0,01	-	ЧДА 2 – задержка срабатывания
dfблок	Гц/с	5	0	10	0,1	1	ЧДА уставка блокирования по скорости снижения частоты
dfчда 1	Гц/с	1	0	10	0,1	1	ЧДА по df 1 – уставка срабатывания
Тчда df 1	с	0,5	0,1	200	0,01	-	ЧДА по df 1 – задержка срабатывания
dfчда 2	Гц/с	2	0	10	0,1	1	ЧДА по df 2 – уставка срабатывания

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Тчда df 2	с	0,5	0,1	200	0,01	-	ЧДА по df 2 – задержка срабатывания

Работу алгоритма **«ЧДА»** в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.14.

Таблица 8.14. Уставки алгоритма «Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика» в части ЧДА для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Частотная делительная автоматика (ЧДА)							
fчда 1	Гц	46,5	40	55	0,01	+0,1 Гц	ЧДА 1 – уставка срабатывания
Тчда f 1	с	0,4	0,1	200	0,01	-	ЧДА 1 – задержка срабатывания
fчда 2	Гц	47,2	40	55	0,01	+0,1 Гц	ЧДА 2 – уставка срабатывания
Тчда f 2	с	35	0,1	200	0,01	-	ЧДА 2 – задержка срабатывания
dfблок	Гц/с	5	1	10	0,1	1	ЧДА уставка блокирования по скорости снижения частоты
dfчда 1	Гц/с	1	1	10	0,1	1	ЧДА по df 1 – уставка срабатывания
Тчда df 1	с	0,5	0,1	200	0,01	-	ЧДА по df 1 – задержка срабатывания
dfчда 2	Гц/с	2	1	10	0,1	1	ЧДА по df 2 – уставка срабатывания
Тчда df 2	с	0,5	0,1	200	0,01	-	ЧДА по df 2 – задержка срабатывания

Уставки по частоте **«fчда 1»** и **«fчда 2»** задаются непосредственно в герцах. Уставки по скорости снижения частоты **«dfчда 1»**, **«dfчда 2»** и уставка **«dfблок»**, используемая для блокирования ступеней ЧДА по снижению частоты при увеличении скорости снижения частоты, задаются непосредственно в герцах в секунду. Уставки выдержек времени **«Тчда f 1»**, **«Тчда f 2»**, **«Тчда df 1»**, **«Тчда df 2»** задаются непосредственно в секундах. Расчет уставки блокирования по напряжению **«Uблок»** следует выполнять в первичных величинах с последующим пересчетом в соответствии с 2.1.

8.3.2 Расчет уставок

Расчет уставок ЧДА следует выполнять на основании задания субъекта оперативно-диспетчерского управления, проектных решений по схеме выделения ТЭС, ее части или отдельных энергоблоков (генераторов) на собственные нужды или, при проектном обосновании, на изолированный район нагрузки, а также результатов расчетов переходных режимов, моделирования или испытаний. Исходными данными для расчета являются схема выделения, состав выделяемого генерирующего оборудования, нагрузка собственных нужд и (или) района выделения, расчетный небаланс активной мощности после выделения, уставки АЧР-1, а для второй ступени ЧДА также уставки и время реализации управляющих воздействий АЧР-2 несовмещенной и АЧР-2 совмещенной, учитываемых при обеспечении баланса активной мощности в выделяемом районе, а также необходимость применения ступеней ЧДА по скорости снижения частоты и блокировки ступеней ЧДА по снижению частоты по уставке **«dfблок»**.

Расчет выполняется для ступеней ЧДА по снижению частоты с уставками **«fчда 1»**, **«Тчда f 1»**, **«fчда 2»**, **«Тчда f 2»**, а также для ступеней ЧДА по скорости снижения частоты с уставками **«dfчда 1»**, **«Тчда df 1»**, **«dfчда 2»**, **«Тчда df 2»**. Индексы «1» и «2» в наименованиях уставок обозначают номер ступени ЧДА и не являются номерами очередей централизованной автоматики.

Значения уставок **«fчда 1»** и **«Тчда f 1»** для первой ступени ЧДА по снижению частоты следует выбирать в диапазонах:

$$\text{fчда } 1 = 46{,}0–47{,}0\ [\text{Гц}] \quad (8.3)$$

$$\text{Тчда f } 1 = 0{,}5 - 0{,}7\ [\text{с}] \quad (8.4)$$

Значения уставок **«fчда 2»** и **«Тчда f 2»** для второй ступени ЧДА по снижению частоты следует выбирать в диапазонах:

$$\text{fчда } 2 = 47{,}0–47{,}5\ [\text{Гц}] \quad (8.5)$$

$$\text{Тчда f } 2 = 30 - 40\ [\text{с}] \quad (8.6)$$

Указанные диапазоны уставок первой и второй ступеней ЧДА по снижению частоты следует принимать по ГОСТ Р 58335-2018 [52, п. 9.5, табл. 2, с учетом Изм. № 1]. При использовании диапазонов по ГОСТ 34045—2023 [43, п. 6.4.7.6, табл. 2] следует учитывать отличие выдержки времени первой ступени ЧДА от значения, установленного ГОСТ Р 58335-2018 с Изм. № 1.

Первая ступень ЧДА по снижению частоты является ступенью с более низкой уставкой по частоте и меньшей выдержкой времени. Вторая ступень ЧДА по снижению частоты является ступенью с более высокой уставкой по частоте и большей выдержкой времени. При выборе конкретных значений уставок **«fчда 1»**, **«Тчда f 1»**, **«fчда 2»** и **«Тчда f 2»** следует учитывать схему выделения, условия устойчивой работы выделяемого генерирующего оборудования, допустимый небаланс активной мощности после выделения, уставки АЧР-1, а для второй ступени ЧДА — также уставки и время реализации управляющих воздействий АЧР-2 несовмещенной и АЧР-2 совмещенной.

Значения уставок **«dfчда 1»**, **«dfчда 2»**, **«Тчда df 1»** и **«Тчда df 2»** следует выбирать при необходимости применения ступеней ЧДА по скорости снижения частоты, определенной заданием на настройку, проектными решениями или результатами расчетов переходных режимов. Уставки **«dfчда 1»** и **«dfчда 2»** должны обеспечивать пуск соответствующих ступеней ЧДА при скорости снижения частоты, характерной для расчетных аварийных режимов, при которых требуется выделение ТЭС, ее части или отдельных энергоблоков (генераторов) на собственные нужды либо на изолированный район нагрузки.

Значение уставки **«dfблок»** следует выбирать при необходимости блокирования ступеней ЧДА по снижению частоты при увеличении скорости снижения частоты до значения, при котором по проектной логике требуется запретить действие ступеней ЧДА по частоте и использовать предусмотренные проектными решениями ступени ЧДА по скорости снижения частоты либо иные устройства АОСЧ.

Выбранные уставки ЧДА следует проверять по результатам расчетов переходных режимов, моделирования или испытаний. Проверкой должно подтверждаться, что при действии ЧДА обеспечивается устойчивая работа выделяемого генерирующего оборудования и электроснабжение собственных нужд ТЭС либо допустимый режим выделенного изолированного района нагрузки.

8.4 АВТОМАТИКА ОГРАНИЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЧАСТОТЫ (АОПЧ)

8.4.1 Общие сведения

АОПЧ относится к функциям противоаварийной автоматики и предназначена для предотвращения недопустимого по величине и длительности повышения частоты в энергосистеме до уровня, при котором возможно срабатывание автоматов безопасности или технологических защит от повышения частоты вращения турбин тепловых, гидравлических и атомных электростанций [55, п. 4.1].

Необходимость применения АОПЧ возникает при аварийном нарушении баланса активной мощности в отделившейся или изолированно работающей части энергосистемы с избытком генерируемой мощности. В указанном режиме повышение частоты должно ограничиваться за счет выдачи управляющих воздействий, обеспечивающих восстановление допустимого баланса активной мощности.

Согласно ПУЭ АОПЧ должна устанавливаться на ГЭС и ТЭС, работающих совместно, и срабатывать при росте частоты выше 52–53 Гц. АОПЧ должна обеспечивать отключение части генераторов ГЭС и (или) отделение ТЭС с нагрузкой, сопоставимой по величине с их мощностью, чтобы предотвратить недопустимое повышение частоты. В узлах, содержащих только ГЭС или только ТЭС, АОПЧ должна ограничивать соответственно аварийный рост частоты до 60 Гц и длительное превышение частоты до значений, не выводящих нагрузку энергоблоков за пределы их регулировочного диапазона [100, п. 3.3.84].

В соответствии с ГОСТ Р 59373-2021 устройства АОПЧ в зависимости от использованных пусковых факторов могут выполняться с измерительными органами по частоте либо с измерительными органами по частоте и по скорости повышения частоты [55, п. 4.2]. Для реализации функции АОПЧ устройство должно обеспечивать определение частоты электрического тока в месте установки устройства с контролем повышения частоты одновременно в трех фазах [55, п. 4.3].

Пуск ступеней АОПЧ блокируется при снижении контролируемых линейных напряжений ниже значения уставки **«Uблок»** при наличии сигнала **«Блок. АЧР/ЧАПВ по U»**. Блокирование при глубоком снижении напряжения используется для исключения излишнего действия частотной автоматики при режимах, в которых измерение частоты по напряжению может быть недостоверным. Расчет уставки **«Uблок»** приведен в 2.2.2.

АОПЧ реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика»**, основные параметры которого в части, касающейся АОПЧ, приведены в таблице 8.15.

Таблица 8.15. Алгоритм «Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика» в части АОПЧ

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Число ступеней, работающих по вычисленной частоте сети	–	3	3	3	3
Число ступеней, работающих по скорости повышения частоты	–	2	2	2	2
Блокировка при снижении напряжения	–	+	+	+	+

Работу алгоритма **«Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика»** в части АОПЧ в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.16.

Таблица 8.16. Уставки алгоритма «Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика» в части АОПЧ для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ)							
faопч 1	Гц	51	49,5	54,5	0,1	-0,1 Гц	АОПЧ 1 – уставка срабатывания
Таопч f 1	с	1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ 1 – задержка срабатывания
faопч 2	Гц	52	49,5	54,5	0,1	-0,1 Гц	АОПЧ 2 – уставка срабатывания
Таопч f 2	с	0,1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ 2 – задержка срабатывания
faопч 3	Гц	53	49,5	54,5	0,1	-0,1 Гц	АОПЧ 3 – уставка срабатывания
Таопч f 3	с	0,1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ 3 – задержка срабатывания
dfaопч 1	Гц/с	1	0	10	0,1	1	АОПЧ по df 1 – уставка срабатывания
Таопч df 1	с	0,2	0,1	200	0,01	-	АОПЧ по df 1 – задержка срабатывания
dfaопч 2	Гц/с	2	0	10	0,1	1	АОПЧ по df 2 – уставка срабатывания
Таопч df 2	с	0,1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ по df 2 – задержка срабатывания

Работу алгоритма **«Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика»** в части АОПЧ в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 8.17.

Таблица 8.17. Уставки алгоритма «Автоматика ограничения повышения частоты и частотная делительная автоматика» в части АОПЧ для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматика ограничения повышения частоты (АОПЧ)							
faопч 1	Гц	51	49,5	55	0,01	-0,1 Гц	АОПЧ 1 – уставка срабатывания
Таопч f 1	с	1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ 1 – задержка срабатывания
faопч 2	Гц	52	49,5	55	0,01	-0,1 Гц	АОПЧ 2 – уставка срабатывания
Таопч f 2	с	0,1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ 2 – задержка срабатывания
faопч 3	Гц	53	49,5	55	0,01	-0,1 Гц	АОПЧ 3 – уставка срабатывания
Таопч f 3	с	0,1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ 3 – задержка срабатывания
dfaопч 1	Гц/с	1	1	10	0,1	1	АОПЧ по df 1 – уставка срабатывания
Таопч df 1	с	0,2	0,1	200	0,01	-	АОПЧ по df 1 – задержка срабатывания
dfaопч 2	Гц/с	2	1	10	0,1	1	АОПЧ по df 2 – уставка срабатывания

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Таопч df 2	с	0,1	0,1	200	0,01	-	АОПЧ по df 2 – задержка срабатывания

Уставки по частоте **«faопч 1»**, **«faопч 2»** и **«faопч 3»** задаются непосредственно в герцах. Уставки по скорости повышения частоты **«dfaопч 1»** и **«dfaопч 2»** задаются непосредственно в герцах в секунду. Уставки выдержек времени **«Таопч f 1»**, **«Таопч f 2»**, **«Таопч f 3»**, **«Таопч df 1»** и **«Таопч df 2»** задаются непосредственно в секундах.

8.4.2 Расчет уставок

Расчет уставок АОПЧ следует выполнять на основании задания субъекта оперативно-диспетчерского управления, проектных решений по ограничению аварийного повышения частоты, состава генерирующего оборудования, состава и времени реализации управляющих воздействий, а также результатов расчетов переходных режимов, моделирования или испытаний.

Исходными данными для расчета являются схема возможного выделения энергорайона на изолированную работу, состав генерирующего оборудования в выделяемом районе, расчетный избыток активной мощности после выделения, допустимые значения частоты и длительности работы генерирующего оборудования при повышенной частоте, уставки автоматов безопасности и технологических защит от повышения частоты вращения турбин, время реализации управляющих воздействий АОПЧ, а также необходимость применения ступеней АОПЧ по скорости повышения частоты.

Расчет выполняется для ступеней АОПЧ по повышению частоты с уставками **«faопч 1»**, **«Таопч f 1»**, **«faопч 2»**, **«Таопч f 2»**, **«faопч 3»**, **«Таопч f 3»**, а также для ступеней АОПЧ по скорости повышения частоты с уставками **«dfaопч 1»**, **«Таопч df 1»**, **«dfaопч 2»**, **«Таопч df 2»**. Индексы «1», «2» и «3» в наименованиях уставок обозначают номер ступени АОПЧ и не являются номерами очередей централизованной автоматики.

Значения уставок **«faопч 1»**–**«faопч 3»** следует выбирать возрастающими по мере увеличения тяжести режима повышения частоты:

$$\text{faопч } 1 < \text{faопч } 2 < \text{faопч } 3 \tag{8.7}$$

Ступень с меньшим значением уставки по частоте должна обеспечивать выявление начального повышения частоты и может использоваться для предупредительной сигнализации либо для действия, допустимого при соответствующем уровне частоты. При вводе действия алгоритма **«АОПЧ»** на отключение следует учитывать, что отключение может формироваться при срабатывании любой введенной ступени АОПЧ. Ступени с большими значениями уставок по частоте должны обеспечивать действие АОПЧ при более тяжелых режимах, связанных с большим избытком активной мощности и более быстрым повышением частоты.

Значения уставок ступеней АОПЧ, действующих на отключение выключателя или на выдачу управляющего воздействия, следует выбирать с учетом требования ПУЭ о срабатывании АОПЧ при повышении частоты выше 52–53 Гц [**100**, п. 3.3.84], а также требования ГОСТ Р 55105-2019, согласно которому уставки устройств АОПЧ по частоте должны быть ниже уставок автоматов безопасности или технологических защит от повышения частоты вращения и находиться в диапазоне от 50,5 до 53,0 Гц [**47**, п. 6.5.5]. При отсутствии специальных требований значения уставок отключающих ступеней допускается предварительно принимать равными:

$$\text{faопч } 2 = 52{,}0 \text{ [Гц]} \tag{8.8}$$

$$\text{faопч } 3 = 53{,}0 \text{ [Гц]} \tag{8.9}$$

Значения уставок выдержек времени **«Таопч f 1»**–**«Таопч f 3»** следует выбирать с учетом допустимой длительности работы генерирующего оборудования при соответствующем уровне частоты, времени срабатывания выходных реле, времени действия цепей отключения, собственного времени отключения выключателей и времени реализации управляющего воздействия.

Уставка выдержки времени **«Таопч f k»**, где k = 1, 2, 3 — номер ступени АОПЧ по частоте, определяет задержку срабатывания соответствующей ступени АОПЧ в устройстве и не является полным временем реализации управляющего воздействия. Полное время реализации управляющего воздействия следует определять как сумму выдержки времени соответствующей ступени АОПЧ, времени выходных реле и цепей отключения устройства, времени действия промежуточных цепей и исполнительных устройств, а при действии на отключение выключателя — также собственного времени отключения выключателя.

Значения уставок **«dfаопч 1»** и **«dfаопч 2»** следует выбирать при необходимости применения ступеней АОПЧ по скорости повышения частоты, определенной заданием на настройку, проектными решениями или результатами расчетов переходных режимов. Уставки **«dfаопч 1»** и **«dfаопч 2»** должны обеспечивать пуск соответствующих ступеней АОПЧ при скорости повышения частоты, характерной для расчетных аварийных режимов с избытком активной мощности, при которых требуется ускоренное действие АОПЧ.

При применении ступеней АОПЧ по скорости повышения частоты их действие должно резервироваться ступенями АОПЧ по частоте [47, п. 6.5.6].

Значения уставок **«dfаопч 1»** и **«dfаопч 2»** следует отстраивать от скоростей изменения частоты, возможных при нормальном регулировании частоты, допустимых переходных процессах и внешних возмущениях, при которых действие АОПЧ не требуется.

Выбранные уставки АОПЧ следует проверять по результатам расчетов переходных режимов, моделирования или испытаний. Проверкой должно подтверждаться отсутствие излишнего действия АОПЧ при нормальных и допустимых переходных режимах, коротких замыканиях, неисправностях цепей напряжения и потере напряжения, а также срабатывание требуемых ступеней АОПЧ при расчетных аварийных режимах, сопровождающихся избытком активной мощности и недопустимым повышением частоты.

9 АВТОМАТИКА ПО НАПРЯЖЕНИЮ

К автоматике по напряжению, рассматриваемой в настоящей Методике, относятся функции автоматической разгрузки по снижению напряжения (АРСН) и автоматического повторного включения по напряжению (АПВН). Указанные функции предназначены для отключения части нагрузки при недопустимом снижении напряжения в контролируемом узле сети и последующего восстановления электроснабжения ранее отключенных присоединений после восстановления напряжения до заданного значения.

Состав алгоритмов автоматики по напряжению, реализованных в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведен в таблице 9.1.

Таблица 9.1. Автоматика по напряжению устройств «Алтей» и «Лютик»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Автоматическая разгрузка по снижению напряжения	–	+	+	–	–
Автоматическое повторное включение по напряжению	–	+	+	–	–

Следует отметить, что в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** алгоритмы АРСН и АПВН не реализованы; при необходимости пользовательская логика с аналогичным назначением может быть разработана средствами гибкой логики.

9.1 АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАЗГРУЗКА ПО СНИЖЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЯ (АРСН)

9.1.1 Общие сведения

Автоматическая разгрузка по снижению напряжения (АРСН) предназначена для автоматического отключения части нагрузки при недопустимом по величине и длительности снижении напряжения в контролируемом узле сети.

Основной задачей АРСН является предотвращение нарушения устойчивости нагрузки и развития «лавины напряжения». В соответствии с ПУЭ устройства автоматического ограничения снижения напряжения должны предусматриваться для исключения нарушения устойчивости нагрузки и возникновения лавины напряжения; указанные устройства могут действовать, в том числе, на отключение потребителей при наличии соответствующего технико-экономического обоснования [100, п.3.3.85].

Применение АРСН целесообразно в узлах нагрузки с высокой долей электродвигательной нагрузки, а также в распределительных сетях крупных городов и мегаполисов. В [75] отмечено, что развитие аварий в энергосистемах мегаполисов может сопровождаться глубоким снижением напряжения при неизменной частоте в начальной стадии аварийного процесса, что не позволяет предотвратить дальнейшее развитие аварии средствами автоматики, пуск которых осуществляется по факту снижения частоты. При этом глубокое снижение напряжения может привести к лавине напряжения, связанной с опрокидыванием асинхронных двигателей и нарушением устойчивости параллельной работы электростанций.

Рассматриваемый алгоритм по назначению относится к функциям автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН). В соответствии с ГОСТ Р 70411-2022 устройством АОСН является микропроцессорное устройство противоаварийной автоматики, реализующее функцию АОСН, в том числе выполненное в виде микропроцессорного устройства РЗА [58, п.3.1.2]. При этом алгоритм АРСН, реализованный в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, является индивидуальной функцией разгрузки присоединения по напряжению и не подменяет системные устройства или комплексы АОСН, необходимость применения которых определяется проектными решениями и расчетами устойчивости энергосистемы. Расчетные положения ГОСТ Р 70411-2022 и СТО 59012820.29.020.004-2025 в настоящем подразделе используются как методическая основа выбора уставок; наличие в устройстве алгоритмов АРСН и АПВН не следует рассматривать как подтверждение соответствия устройства всем требованиям, предъявляемым указанными документами к устройствам АОСН.

АРСН реализуется в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Автоматическая разгрузка по снижению напряжения»**, основные параметры которого приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2. Алгоритм «Автоматическая разгрузка по снижению напряжения» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	–	1	1	–	–

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль положения выключателя	–	+	+	–	–
Контроль направления мощности	–	+	+	–	–
Контроль исправности цепей напряжения	–	+	+	–	–

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 9.3.

Таблица 9.3. Уставки алгоритма «Автоматическая разгрузка по снижению напряжения (АРСН)» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Автоматическая разгрузка по напряжению (АРСН)							
Uарсн	В	80	50	120	0,1	1,05	АРСН – уставка срабатывания по напряжению
Тарсн	с	1	0,1	100	0,01	-	АРСН – задержка срабатывания
U2 арсн	В	10	1	50	0,1	0,95	АРСН – уставка блокирования АРСН по напряжению обратной последовательности

Расчет уставки **«Uарсн»** следует выполнять в первичных величинах по линейному напряжению контролируемого узла. При задании уставки в устройстве расчетное значение должно быть приведено ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**.

Уставка **«U2 арсн»** используется для блокирования АРСН при несимметричных режимах и задается во вторичных величинах.

9.1.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Uарсн»** следует выбирать по условию выявления недопустимого снижения напряжения в контролируемом узле нагрузки.

При отсутствии данных о минимально допустимом напряжении в узле нагрузки значение уставки **«Uарсн»** следует определять по формуле [**136**]:

$$Uарсн = 1{,}1 \cdot 0{,}7 \cdot U_{ном}\ [В] \quad (9.1)$$

где

$U_{ном}$ В номинальное линейное напряжение электрической сети, в которой расположен узел, характеризующийся наибольшим снижением напряжения

При наличии данных о минимально допустимом напряжении в узле нагрузки и допустимой длительности снижения напряжения значение уставки **«Uарсн»** следует выбирать с учетом соотношения допустимой длительности снижения напряжения у потребителя и времени ликвидации повреждения. Если ($t_{защ} + t_{зап}$) > $T_{потр}$, значение уставки **«Uарсн»** следует определять по формуле (9.1). Если ($t_{защ} + t_{зап}$) ≤ $T_{потр}$, значение уставки **«Uарсн»** следует определять по формуле (9.2). При наличии данных о минимально допустимом напряжении в узле нагрузки и отсутствии информации о допустимой длительности снижения напряжения значение уставки **«Uарсн»** также следует определять по формуле [**136**]:

$$Uарсн = макс\left(1{,}1 \cdot 0{,}7 \cdot U_{ном};\ 1{,}1 \cdot U_{потр}\right)\ [В] \quad (9.2)$$

где

$U_{потр}$ В величина допустимого напряжения в узле нагрузки, предоставленная потребителем электрической энергии

$T_{потр}$ с допустимая длительность снижения напряжения у потребителя электрической энергии

Выбранное значение уставки **«Uарсн»** следует проверять по условию возврата измерительного органа напряжения при восстановлении напряжения до минимально допустимого значения в нормальном нагрузочном режиме:

$$U_{н.гр} \geq Uарсн \cdot k_{в}\ [В] \quad (9.3)$$

где

$U_{н.гр}$ В наименьшее междуфазное напряжение в контролируемом узле, допустимое в нормальном нагрузочном режиме

$k_в$ – коэффициент возврата уставки **«Uарсн»**; принимается по таблице 9.3

Если условие (9.3) не выполняется, значение уставки **«Uарсн»** следует уменьшить либо уточнить допустимые режимы напряжения и расчетные условия применения АРСН. При невозможности одновременного выполнения условий (9.1) или (9.2) и условия (9.3) необходимость применения АРСН и значение уставки должны определяться по результатам расчетов устойчивости.

В Сборнике [119] для автоматики ограничения снижения напряжения указывается ориентировочное напряжение срабатывания, равное примерно 0,85·$U_{ном}$. Указанное значение допускается использовать как предварительную оценку при отсутствии расчетных данных, при этом окончательное значение уставки **«Uарсн»** следует выбирать с учетом условий (9.1)–(9.3) и требований к устойчивости нагрузки.

Значение уставки **«Тарсн»** по условию отстройки от времени действия релейной защиты следует определять по формуле:

$$Тарсн > t_{защ} + t_{зап}\ [с] \quad (9.4)$$

где

$t_{защ}$ – с – время действия основной защиты, а при невыполнении основной защиты – резервной защиты с максимальной выдержкой времени, КЗ на сетевом элементе которой приводит к снижению напряжения в месте установки АРСН до значения уставки **«Uарсн»**;

$t_{зап}$ – с – время запаса; при отсутствии специальных требований значение $t_{зап}$ для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** допускается принимать из диапазона 0,1–0,2

Если АРСН использует замер напряжения в электрической сети напряжением 6–35 кВ, значение $t_{защ}$ для резервных защит следует принимать равным наибольшей из выдержек времени срабатывания максимальных токовых защит сетевых элементов, отходящих от систем или секций шин, к которым подключено устройство АРСН. Указанное значение следует принимать по данным, предоставленным собственником или иным законным владельцем соответствующего объекта электроэнергетики [136].

Если в рассматриваемой сети предусматривается действие АПВ или АВР, способных восстановить напряжение в контролируемом узле до отключения нагрузки действием АРСН, значение уставки **«Тарсн»** дополнительно следует выбирать по условию:

$$Тарсн > t_{защ1} + макс(t_{АВР}; t_{АПВ}) + t_{зап}\ [с] \quad (9.5)$$

где

$t_{защ1}$ – с – время действия защиты сетевого элемента, отключение которого приводит к снижению напряжения в месте установки АРСН до значения уставки **«Uарсн»**;

$t_{АВР}$ – с – время действия АВР в питающей сети или на смежном объекте, если действие АВР может восстановить напряжение в контролируемом узле;

$t_{АПВ}$ – с – время от момента отключения поврежденного элемента до повторного включения действием АПВ

Действие автоматического регулирования напряжения трансформаторов при выборе уставки **«Тарсн»** в общем случае не учитывается. Учет действия таких устройств допускается только при наличии расчетного обоснования для конкретного объекта и при условии, что это не снижает эффективность АРСН по предотвращению нарушения устойчивости нагрузки и развития лавины напряжения.

При наличии расчетных данных о допустимой длительности снижения напряжения в контролируемом узле выбранное значение уставки **«Тарсн»** следует проверять по условию обеспечения действия АРСН до нарушения устойчивости нагрузки или развития лавины напряжения. Если выбранное по условиям отстройки значение уставки **«Тарсн»** не обеспечивает указанное требование, необходимость применения АРСН, значение уставки **«Тарсн»** и объем отключаемой нагрузки должны определяться по результатам расчетов устойчивости нагрузки и анализа допустимости отключения нагрузки данного присоединения.

Окончательное значение уставки **«Тарсн»** следует принимать равным ближайшему большему значению, определенному по условиям (9.4) и (9.5).

В Сборнике [119] для ограничения медленных снижений напряжения указываются выдержки времени 5–15 с при условии отстройки от действия устройств сетевой автоматики, способных нормализовать напряжение. Указанный диапазон может использоваться только как справочная оценка для медленнодействующих ступеней АОСН и не должен приниматься без проверки допустимой длительности снижения напряжения в контролируемом узле.

Значение уставки **«U2 арсн»** следует выбирать во вторичных величинах по условию отстройки от напряжения небаланса фильтра напряжений обратной последовательности и естественной несимметрии напряжений в нормальном нагрузочном режиме. При отсутствии данных о значении небаланса и несимметрии значение уставки **«U2 арсн»** допускается принимать во вторичных величинах по минимальной уставке фильтра-реле напряжения обратной последовательности, приведенной в [118, п.10.4.2], равной 6 В. С учетом начального значения уставки, в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, при отсутствии специальных расчетных данных рекомендуется принимать:

$$U2\ арсн = 10\ [В] \tag{9.6}$$

При наличии повышенной естественной несимметрии напряжений в нормальном режиме или повышенного небаланса измерительных цепей значение уставки **«U2 арсн»** следует уточнять по результатам измерений или расчетов с учетом диапазона задания уставки в устройстве.

9.2 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ПО НАПРЯЖЕНИЮ (АПВН)

9.2.1 Общие сведения

Автоматическое повторное включение по напряжению (АПВН) предназначено для автоматического повторного включения потребителей, ранее отключенных действием АРСН, после восстановления уровня напряжения до заданного значения [58, п. 3.1.1].

В составе автоматики ограничения снижения напряжения АПВН выполняет функцию восстановления электроснабжения нагрузки после нормализации режима. В отличие от автоматического повторного включения, рассматриваемого в 11.3, АПВН не предназначено для повторного включения присоединения после отключения повреждения действием релейной защиты. Действие АПВН должно рассматриваться совместно с действием АРСН, поскольку условием готовности АПВН является предшествующее отключение присоединения действием АРСН.

АПВН реализуется в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** в алгоритме **«Автоматическое повторное включение по напряжению»**, основные параметры которого приведены в таблице 9.4.

Таблица 9.4. Алгоритм «Автоматическое повторное включение по напряжению (АПВН)»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество ступеней	–	1	1	–	–

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 9.5.

Таблица 9.5. Уставки алгоритма «Автоматическое повторное включение по напряжению (АПВН)»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическое повторное включение по напряжению (АПВН)							
Uапвн	В	90	50	120	0,1	0,95	АПВН – уставка срабатывания по напряжению
Тапвн	с	0,5	0,1	100	0,01	-	АПВН – задержка срабатывания
Тапвн гот	с	12	1	60	0,01	-	Время готовности к АПВН

Расчет уставки **«Uапвн»** следует выполнять в первичных величинах. Перед вводом в устройство значение уставки следует привести ко вторичным величинам с учетом коэффициента трансформации ТН в соответствии с 2.1.

9.2.2 Расчет уставок

Расчет уставок АПВН следует выполнять для каждого присоединения, отключаемого действием АРСН, с учетом схемы электроснабжения, состава отключаемой и повторно включаемой нагрузки, а также расчетных схемно-режимных условий, принятых при выборе уставок АРСН.

Значение уставки **«Uапвн»** следует выбирать по условию исключения повторного срабатывания АРСН после действия АПВН, с учетом изменения напряжения при повторном включении нагрузки:

$$Uапвн \geq Uарсн + \Delta U_{апвн} + 0{,}05 \cdot U_{ном}\ [В] \tag{9.7}$$

где

$U_{арсн}$	В	значение уставки **«Uарсн»**, определяемое в соответствии с 9.1
$\Delta U_{апвн}$	В	максимальная величина изменения напряжения в месте установки АПВН при включении присоединения, ранее отключенного действием АРСН. Значение ΔUапвн следует определять по результатам расчета установившихся и/или переходных режимов, обусловленных включением данного присоединения
$U_{ном}$	В	номинальное линейное напряжение электрической сети, в которой расположен узел, характеризующийся наибольшим снижением напряжения

При отсутствии результатов расчета режимов значение $\Delta U_{апвн}$ допускается использовать для предварительной оценки по данным аналогичных объектов или по результатам оценки изменения напряжения при включении рассматриваемой нагрузки. Окончательное значение $\Delta U_{апвн}$ следует уточнять по результатам расчета установившихся и/или переходных режимов, обусловленных включением рассматриваемого присоединения. Окончательное значение уставки **«Uапвн»** следует принимать не менее значения, определенного по условию (9.7), с учетом допустимого уровня напряжения для повторного включения нагрузки.

Значение уставки **«Тапвн»** следует выбирать по условию обеспечения устойчивого восстановления напряжения выше уставки **«Uапвн»** и отстройки от кратковременных колебаний напряжения в месте установки АПВН.

При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тапвн»** для первого повторно включаемого присоединения следует принимать минимально возможным исходя из технических характеристик устройства и рекомендаций организации-производителя, но не менее [136, п. 8.3]:

$$Тапвн > 1{,}0 \ [с] \tag{9.8}$$

При необходимости поочередного включения нескольких присоединений, ранее отключенных действием АРСН, значения уставок **«Тапвн»** следует выбирать ступенчато. Для второго и последующих включаемых присоединений значение уставки **«Тапвн»** следует принимать по условию:

$$Тапвн\ k \geq Тапвн\ k\text{-}1 + t_{вкл.полн.k-1} + t_{зап} \ [с] \tag{9.9}$$

где

$Тапвн\ k$	с	значение уставки **«Тапвн»** для k-го включаемого присоединения
$Тапвн\ k\text{-}1$	с	значение уставки **«Тапвн»** для предыдущего включаемого присоединения
$t_{вкл.полн.k-1}$	с	полное время включения предыдущего присоединения, включающее время от формирования команды АПВН на включение до фактического включения выключателя
$t_{зап}$	с	время запаса; при отсутствии специальных требований значение $t_{зап}$ для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует принимать равным 0,1 с [136, п. 8.5]
k	–	порядковый номер повторно включаемого присоединения, начиная со второго

Окончательное значение уставки **«Тапвн»** следует принимать не менее значений, определенных по условиям (9.8) и (9.9). При наличии нескольких устройств АПВН, расположенных на разных объектах электроэнергетики одного энергорайона, выдержки времени их срабатывания должны быть согласованы между собой с учетом полного времени включения нагрузки потребителей от АПВН предшествующего устройства и времени запаса.

Значение уставки **«Тапвн гот»** следует выбирать по условию обеспечения готовности привода выключателя к выполнению операции включения присоединения, ранее отключенного действием АРСН. При отсутствии специальных требований расчет допускается выполнять по условию, аналогичному условию (8.1):

$$Тапвн\ гот \geq t_{гот.прив} + t_{зап} \ [с] \tag{9.10}$$

где те же, что и в формуле (11.14)

10 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА (АВР) И ВОССТАНОВЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА (ВНР)

В настоящем разделе рассматриваются алгоритмы автоматического включения резерва (АВР) и восстановления нормального режима после АВР (ВНР), реализуемые в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**. Основные алгоритмы автоматики, рассматриваемые в данном разделе, приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1. АВР и ВНР в устройствах «Алтей» и «Лютик»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
АВР	+	+	+	+	+
ВНР	+	+	+	+	+
АВР для пунктов секционирования	–	+	+	–	–

10.1 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА

10.1.1 Общие сведения

Согласно ГОСТ Р 59909-2021 [56] АВР относится к средствам сетевой автоматики.

Автоматическое включение резерва предназначено для восстановления питания потребителей путем автоматического присоединения резервного источника питания при отключении рабочего источника питания, приводящем к обесточиванию электроустановок потребителя, а также для автоматического включения резервного оборудования при отключении рабочего оборудования, приводящем к нарушению нормального технологического процесса [100, п. 3.3.30].

Устройства АВР могут устанавливаться на трансформаторах, линиях, секционных и шиносоединительных выключателях, электродвигателях и других элементах электроустановок [100, п. 3.3.30]. В настоящей Методике расчет уставок АВР рассматривается для типовой схемы распределительного устройства 6–35 кВ с двумя секциями шин, двумя выключателями вводов и секционным выключателем.

Устройство АВР, как правило, должно обеспечивать возможность действия при исчезновении напряжения на шинах питаемого элемента, вызванном любой причиной, в том числе КЗ на этих шинах, если иное не предусмотрено проектными решениями и схемой АПВ шин [100, п. 3.3.31]. При отключении выключателя рабочего источника питания устройство АВР должно включать выключатель резервного источника питания, как правило, без дополнительной выдержки времени, при этом должна быть обеспечена однократность действия устройства [100, п. 3.3.32].

Для обеспечения действия АВР при обесточении питаемого элемента вследствие исчезновения напряжения со стороны рабочего источника питания, а также при отключении выключателя с приемной стороны, в схеме АВР должен предусматриваться пусковой орган напряжения. Указанный пусковой орган при исчезновении напряжения на питаемом элементе и наличии напряжения со стороны питания резервного источника должен действовать с выдержкой времени на отключение выключателя рабочего источника питания с приемной стороны [100, п. 3.3.33].

Пусковой орган АВР по напряжению не следует отождествлять с защитой минимального напряжения. Защита минимального напряжения рассматривается в **4.1** и предназначена для выполнения защитных или технологических функций, тогда как пусковой орган АВР по напряжению используется для выявления условий, при которых должно быть выполнено восстановление питания от резервного источника.

Минимальный элемент напряжения пускового органа АВР должен быть отстроен от режима самозапуска электродвигателей и от снижения напряжения при удаленных КЗ. Напряжение срабатывания элемента контроля напряжения на шинах резервного источника пускового органа АВР должно выбираться по возможности исходя из условия самозапуска электродвигателей [100, п. 3.3.35].

Если при использовании пуска АВР по напряжению время его действия может оказаться недопустимо большим, например при наличии в составе нагрузки значительной доли синхронных электродвигателей, рекомендуется применять дополнительно к пусковому органу напряжения пусковые органы других типов, в том числе реагирующие на исчезновение тока, снижение частоты или изменение направления мощности [100, п. 3.3.36].

При выполнении устройств АВР следует проверять условия перегрузки резервного источника питания и самозапуска электродвигателей. Если при действии АВР имеет место чрезмерная перегрузка резервного источника питания или не обеспечивается самозапуск электродвигателей, должна предусматриваться разгрузка, например отключение части менее ответственных, а в отдельных случаях — и части ответственных электродвигателей [100, п. 3.3.38].

При действии АВР не допускается включение потребителей, отключенных устройствами АЧР [100, п. 3.3.39]. Если при действии АВР возможно включение выключателя на КЗ, должно предусматриваться ускорение действия защиты этого выключателя с принятием мер против отключения резервного питания по цепи ускорения защиты за счет бросков тока включения [100, п. 3.3.40].

При наличии на секции СД опасность представляет несинхронное включение секционного выключателя или резервного питания после действия АВР: при неснятом возбуждении двигатели переходят в генераторный режим, на их выводах возникает встречное (остаточное) напряжение, и токи несинхронного включения могут превышать ток прямого пуска и вызывать срабатывание токовых отсечек питающих элементов [122]. Для предотвращения таких режимов в алгоритме АВР устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** используются уставки контроля остаточного напряжения и выдержки времени (см. таблицу 10.3), задающие допустимый уровень напряжения и временную задержку включения секционного выключателя на группу возбужденных двигателей [9, 122].

При наличии в составе нагрузки синхронных электродвигателей выбор уставок АВР следует выполнять совместно с выбором уставок защиты от потери питания по 4.3 и принятой схемой гашения поля СД. Пуск АВР в таких схемах следует рассматривать как часть комплекса мероприятий по обеспечению самозапуска электродвигателей и предотвращению несинхронного включения возбужденных СД.

АВР реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Автоматическое включение резерва»**, основные параметры которого приведены в таблице 10.2.

Таблица 10.2. Алгоритм «Автоматическое включение резерва»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Пуск при снижении всех линейных напряжений	–	+	+	+	+
Пуск при снижении одного из линейных напряжений	–	–	–	+	+
Пуск при снижении частоты	–	+	+	+	+
Пуск при самопроизвольном отключении выключателя	+	+	+	+	+
Пуск по внешнему сигналу	+	+	+	+	+
Пуск после действия ЗПП на отключение выключателя	–	+	+	+	+
Контроль остаточного напряжения перед включением СВ	–	+	+	+	+

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** контроль остаточного напряжения перед включением СВ может применяться совместно с задержкой **«Таврсв»**. В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** предусмотрен контроль остаточного напряжения **«Uост»** перед включением СВ. В устройстве **«Лютик»** контроль напряжения для АВР выполняется внешними реле напряжения в соответствии с принятой схемой.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.3.

Таблица 10.3. Уставки алгоритма «Автоматическое включение резерва» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Автоматическое включение резерва (АВР)							
Uавр	В	90	20	380	0,1	1,05	АВР – напряжение пуска
Тавр	с	0,5	0,1	60	0,01	-	АВР – задержка срабатывания
Тпаузы	с	120	1	120	0,01	-	АВР – минимальная пауза между АВР
fавр	Гц	48	45	50	0,01	+0,1 Гц	АВР – частота пуска

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Uост	В	40	5	80	0,1	1,05	АВР – остаточное напряжение
Таврсв	с	0	0	1	0,01	-	Задержка срабатывания АВР СВ

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-01»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.4.

Таблица 10.4. Уставки алгоритма «Автоматическое включение резерва» для «Алтей-01»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическое включение резерва (АВР)							
Uавр	В	90	20	400	0,1	1,05	АВР – напряжение пуска
Тавр	с	0,5	0,1	60	0,01	-	АВР – задержка срабатывания
Тпаузы авр	с	120	1	120	0,01	-	АВР – минимальная пауза между АВР
fавр	Гц	48	45	50	0,01	+0,1 Гц	АВР – частота пуска
Uост	В	40	5	80	0,1	1,05	АВР – остаточное напряжение

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.5.

Таблица 10.5. Уставки алгоритма «Автоматическое включение резерва» для «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическое включение резерва (АВР)							
Uавр	В	90	20	100	0,1	1,05	АВР – напряжение пуска
Тавр	с	0,5	0,1	60	0,01	-	АВР – задержка срабатывания
Тпаузы авр	с	120	1	120	0,01	-	АВР – минимальная пауза между АВР
fавр	Гц	48	45	55	0,01	+0,1 Гц	АВР – частота пуска
Uост	В	40	5	80	0,1	1,05	АВР – остаточное напряжение

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.6.

Таблица 10.6. Уставки алгоритма «Автоматическое включение резерва» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическое включение резерва (АВР)							
Тавр	с	0,5	0,1	60	0,01	-	АВР – задержка срабатывания
Тпаузы авр	с	120	1	120	0,01	-	АВР – минимальная пауза между АВР

Расчет уставок АВР следует выполнять в первичных величинах с последующим пересчетом во вторичные величины в соответствии с **2.1**. Уставки по напряжению задаются с учетом принятой схемы подключения цепей ТН и используемых измерительных величин. Для устройств, использующих встречное напряжение, должны быть заданы коэффициенты трансформации ТН линии или соседней секции в соответствии с **2.1**.

10.1.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Uавр»** по условию отстройки от снижения напряжения при КЗ за реакторами, трансформаторами и другими элементами сети, а также от снижения напряжения при самозапуске электродвигателей следует выбирать по формуле [**2**, **13**, **161**, **162**]:

$$Uавр \leq мин\left(\frac{U_{ост.кз}}{k_{отс}}; \frac{U_{сзп}}{k_{отс}}\right) \text{ [В]} \qquad (10.1)$$

где

$U_{ост.кз}$ В наименьшее расчетное значение остаточного линейного напряжения на шинах секции (в месте установки ТН) при КЗ за трансформатором, реактором или другим элементом, в зоне действия защит которого снижение напряжения может вызвать пуск АВР (точки $К_1$–$К_3$ на рисунке 10.1)

$U_{сзп}$ В наименьшее расчетное значение остаточного линейного напряжения на шинах секции (в месте установки ТН) в начале самозапуска двигательной нагрузки, определяемое по результатам компьютерного моделирования процесса выбега и самозапуска узла нагрузки либо аналитического расчета по методикам, приведенным в [74, 120, 162, 178, 179]

$k_{отс}$ – коэффициент отстройки, принимается равным 1,2–1,3

При отсутствии детальных расчетов остаточного напряжения и самозапуска электродвигателей значение уставки **«Uавр»** допускается ориентировочно принимать по формуле [2, 13, 161, 162]:

$$Uавр=(0{,}25-0{,}4)\cdot U_{ном}\ [В] \qquad (10.2)$$

где

$U_{ном}$ В номинальное междуфазное напряжение электрической сети

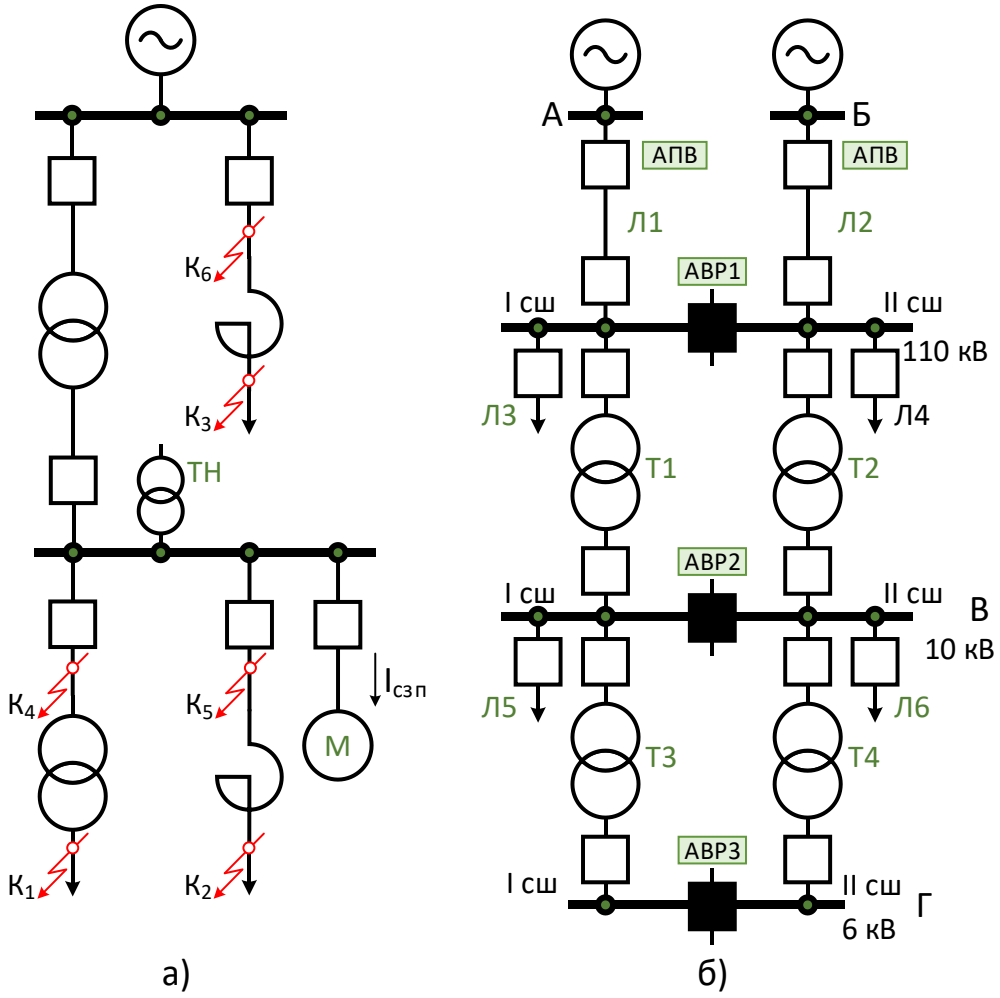


Рисунок 10.1. К выбору уставок АВР.
а) расчетные точки $К_1$–$К_3$ при определении наименьшего остаточного напряжения на шинах секции; дополнительные точки $К_4$–$К_6$ приведены для иллюстрации возможных мест повреждения в смежных элементах сети;
б) схема нормально разомкнутой распределительной сети с несколькими устройствами местных АВР[1] двустороннего действия и АПВ линий

Значение уставки контроля наличия напряжения на резервном источнике питания, используемой для формирования готовности АВР, следует выбирать в составе уставок алгоритма **«КЭП»** по 2.2.2. При выборе указанной уставки следует руководствоваться условиями (2.30) и (2.31), а также учитывать необходимость обеспечения самозапуска электродвигателей после действия АВР.

[1] Местным АВР в [161, 162] называют устройство, все элементы которого установлены на одной подстанции и действия которого не выходят за пределы этой подстанции или распределительного устройства

Значение уставки **«Тавр»** по условию отстройки от времени срабатывания защит, в зоне действия которых КЗ могут вызывать снижение напряжения ниже принятого значения уставки **«Uавр»**, следует определять по формуле [13, 161, 162]:

$$T_{авр} \geq \max\left(t_{защ.1} + \Delta t; t_{защ.2} + \Delta t\right) [с] \quad (10.3)$$

где

$t_{защ.1}$ с наибольшее время срабатывания защит присоединений шин высшего напряжения подстанции (например, защиты линий Л3 или Л4 при выборе уставок АВР2 в схеме на рисунке 10.1, б), в зоне действия которых КЗ приводят к снижению напряжения на шинах секции ниже уставки **«Uавр»**

$t_{защ.2}$ с наибольшее время срабатывания защит присоединений, подключенных к шинам той секции, для которой реализована функция АВР (например, защиты линий Л5, Л6 или трансформаторов Т3, Т4 при выборе уставок АВР2 в схеме на рисунке 10.1, б)

Δt с ступень селективности по времени между АВР и вышеперечисленными защитами, принимается равной:

- 1,5–2,0 — при использовании электромеханических реле времени АВР со шкалой до 20 с
- 0,6 — при использовании электромеханических реле времени АВР со шкалой до 9 с
- 0,4–0,5 — для микропроцессорных устройств

Если пуск АВР выполняется после действия ЗПП, ЗМН или внешнего устройства, имеющих собственную выдержку времени, значение уставки **«Тавр»** допускается принимать минимальным по диапазону задания устройства либо определять по условию обеспечения корректного выполнения операций отключения выключателя ввода и включения секционного выключателя. При этом отстройка от КЗ, кратковременных провалов напряжения и переходных режимов должна обеспечиваться выдержкой времени ЗПП, ЗМН или внешнего устройства, от действия которого выполняется пуск АВР.

Значение уставки **«Тавр»** по условию согласования действия АВР с другими устройствами автоматики питающей сети следует определять по формуле [161, 162]:

$$Тавр \geq t_{защ} + t_{АПВ1} + t_{защ.уск} + t_{АПВ2} + t_{зап} [с] \quad (10.4)$$

где

$t_{защ}$ с время действия ступени защиты питающей линии, надежно защищающей всю линию (например, Л1 и Л2 при выборе уставок АВР2 в схеме на рисунке 10.1, б)

$t_{защ.уск}$ с время действия защиты, ускоряемой после АПВ (например, Л1 и Л2 при выборе уставок АВР2 в схеме на рисунке 10.1, б)

$t_{АПВ1}$ с выдержка времени первого цикла АПВ питающей линии

$t_{АПВ2}$ с выдержка времени второго цикла АПВ питающей линии

$t_{зап}$ с время запаса, принимается из диапазона 2,5–3,5

Значение уставки **«Тавр»** по условию ожидания действия устройства АВР, расположенного ближе к источнику питания, следует определять по формуле [161, 162]:

$$Тавр \geq t_{АВР.выш} + t_{зап} [с] \quad (10.5)$$

где

$t_{АВР.выш}$ с время действия устройства АВР, расположенного ближе к источнику питания (например, на рисунке 10.1, б) это время действия АВР1 при выборе уставки АВР2)

$t_{зап}$ с время запаса, принимается из диапазона 1,0–2,0

При наличии устройства АВР, расположенного дальше от источника питания, должна быть проверена возможность обеспечения требуемой очередности действия по условию [161, 162]:

$$Тавр \leq t_{АВР.ниж} - t_{зап} [с] \quad (10.6)$$

где

$t_{АВР.ниж}$ с время действия устройства АВР, расположенного дальше от источника питания (например, на рисунке 10.1, б) это время действия АВР3 при выборе уставки АВР2)

$t_{зап}$ с время запаса, принимается из диапазона 1,0–2,0

Окончательное значение уставки **«Тавр»** при использовании пуска АВР по напряжению следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (10.3)–(10.5), с проверкой условия (10.6) при наличии нижестоящего устройства АВР.

В ряде случаев выполнение условий (10.4) и (10.5), особенно ожидание второго цикла АПВ питающей линии, приводит к чрезмерной задержке восстановления электроснабжения (выдержка времени до второго цикла двукратного АПВ может достигать порядка 20 с). В целях ускорения действия местного АВР допускается не ожидать успешного действия второго, а

при соответствующем обосновании — и первого цикла АПВ питающей линии, и выбирать значение уставки **«Тавр»** только по условию (10.3). Такой порядок выбора допускается при условии, что схемные решения устройств АВР и ВНР обеспечивают автоматическое восстановление нормального режима в соответствии с [100, п. 3.3.42].

При использовании пуска АВР по частоте для ускорения восстановления питания секции с синхронными электродвигателями значение уставки **«fавр»** рекомендуется принимать равным уставке частотного пуска ЗПП [9], вычисляемой по формуле (4.30):

$$f_{авр} = 48{,}5 \text{ [Гц]} \tag{10.7}$$

В более общем случае для местных АВР распределительных сетей диапазон значений уставки частотного пускового органа АВР рекомендуется принимать [13, 161, 162]:

$$f_{авр} = (48{,}0 - 48{,}5) \text{ [Гц]} \tag{10.8}$$

Конкретное значение уставки **«fавр»** выбирается с учетом уставок действующих в данном фрагменте сети устройств АЧР/АОПЧ, приоритета восстановления питания технологически ответственных нагрузок (например, секций с крупными СД), а также фактического диапазона и длительности колебаний частоты, определенных по результатам расчетов и компьютерного моделирования, и уточняется по результатам совместного моделирования работы устройств частотной автоматики и опыта эксплуатации конкретного объекта.

Уставку контроля наличия частоты на резервном источнике питания следует выбирать в составе уставок контроля электрических параметров по 2.2.2, формула (2.39), с учетом выбранного значения уставки **«fавр»** и принятой логики формирования готовности АВР.

Очередность действия устройств АВР может выбираться исходя из требований технологического процесса (важности и особенностей питаемой нагрузки): на какое РП (подстанцию) электроснабжение должно быть восстановлено первым, вторым и т.д.

Значение уставки «Тавр» при использовании пуска АВР по частоте рекомендуется принимать минимальным, обеспечивающим устойчивую фиксацию снижения частоты и отстройку от кратковременных переходных процессов [122, 161, 162]:

$$Т_{авр} = 0{,}3 - 0{,}5 \text{ [с]} \tag{10.9}$$

Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставка **«Тавр»** является общей выдержкой времени для пуска АВР по снижению напряжения и по снижению частоты. Поэтому при одновременном вводе пуска АВР по напряжению и по частоте окончательное значение уставки **«Тавр»** следует выбирать с учетом всех введенных пусковых условий.

Значение уставки **«Тпаузы авр»** (**«Тпаузы»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»**) следует выбирать по условию исключения многократного действия АВР при неустойчивом режиме внешней сети, восстановления технологического режима после самозапуска двигательной нагрузки, а также при возможной неустойчивой работе внешней сети (серия кратковременных провалов и перерывов питания и т.п.) и готовности выключателей к повторным операциям:

$$Т_{паузы\ авр} \geq макс\left(t_{сзп} + t_{техн} + t_{зап}; t_{гот.прив} + t_{зап}\right) \text{ [с]} \tag{10.10}$$

где

- $t_{сзп}$ с — максимальная расчетная продолжительность самозапуска двигательной нагрузки секции шин от момента включения по АВР до окончания самозапуска
- $t_{техн}$ с — ориентировочное время выхода технологического процесса на установившееся состояние после самозапуска (стабилизация напряжений в узлах внутреннего электроснабжения предприятия, возможные переключения в технологическом оборудовании и т.д.)
- $t_{зап}$ с — технологический запас, учитывающий разброс длительности самозапуска, возможные колебания напряжения со стороны внешней сети, а также необходимость обеспечить оперативному персоналу необходимое время для оценки сложившейся ситуации и принятия решений до очередной автоматической попытки восстановления питания и т.д.
- $t_{гот.прив}$ с — время готовности привода выключателя к выполнению операции включения, принимаемое по 11.3.2; соответствует одноименной величине в формуле (11.14)

При отсутствии детальных расчетов самозапуска и времени выхода контролируемого фрагмента сети на установившийся режим значение уставки **«Тпаузы авр»** допускается ориентировочно принимать:

$$Т_{паузы\ авр} \approx 120 \text{ [с]} \tag{10.11}$$

Время, рассчитанное по формуле (10.11) как правило, существенно превышает характерные времена выбега и самозапуска двигательной нагрузки, типичные времена переходных процессов и действия устройств автоматики во внешней сети и

тем самым позволяет избежать частых повторных включений при неустойчивом режиме после первого цикла АВР и при серии кратковременных нарушений питания. Значение уставки **«Тпаузы авр»** уточняется по результатам расчетов, пуско-наладочных испытаний и опыта эксплуатации конкретного объекта электроснабжения.

Значение уставки **«Uост»** следует выбирать при необходимости контроля остаточного напряжения перед включением секционного выключателя на секцию с синхронными электродвигателями. Уставка **«Uост»** задает предельно допустимый уровень остаточного напряжения, при не превышении которого допускается включение секционного выключателя по АВР.

Значение уставки **«Uост»** следует выбирать по условию ограничения тока и электромагнитного момента при несинхронном включении СД, а также по условию исключения излишнего действия токовых отсечек и других токовых защит питающих элементов при включении СВ по АВР. Согласно [122], гашение поля СД до допустимого значения сверхпереходной ЭДС обеспечивает ограничение тока и электромагнитного момента при несинхронном включении уровнем не выше допустимого. Для большинства практических случаев достаточно обеспечить снижение напряжения на выводах двигателей примерно до $(0{,}5–0{,}6)\cdot U_{ном}$.

В [122] также показано, что для исключения излишнего действия токовых отсечек и других токовых защит питающих элементов ток включения при АВР с учетом встречного[1] (остаточного) напряжения не должен превышать ток прямого пуска двигателей от полного напряжения сети. При повышенном остаточном напряжении на выводах возбужденных, продолжающих вращаться СД, включение секционного выключателя может сопровождаться токами, приводящими к его отключению собственными защитами, что дополнительно обосновывает необходимость применения уставки **«Uост»**.

С учетом вышеизложенного и практических рекомендаций [9, 122] ориентировочно для сетей 6–10 кВ с крупной двигательной нагрузкой при наличии СД и контроле остаточного напряжения в алгоритме АВР значение уставки **«Uост»** допускается принять:

$$Uост = (0{,}5 - 0{,}6) \cdot U_{ном} \quad В \tag{10.12}$$

где

$U_{ном}$ В номинальное линейное напряжение электрической сети

Значение уставки **«Uост»**, полученное по формуле (10.12), в дальнейшем уточняется по результатам расчетов или компьютерного моделирования выбега и самозапуска нагрузки [74, 120, 162, 178, 179]; расчета токов включения при АВР по формулам, приведенным в [122]; анализа работы токовых защит по записям осциллограмм аварийных и пусковых режимов.

Если по результатам расчета или моделирования установлено, что при действии АВР возможно недопустимое несинхронное включение синхронных электродвигателей, должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие такое включение: контроль остаточного напряжения, гашение поля, отключение части синхронной нагрузки, замедление АВР или иное решение в соответствии с [100, п. 3.3.41].

При отключении питающей линии или питающего трансформатора после ликвидации КЗ СД с неснятым возбуждением переходят в генераторный режим и на их выводах начинается процесс восстановления напряжения. Как отмечено в [122], сразу после отключения КЗ напряжение на двигателях может быть достаточно низким для разрешения действия АВР (по уставке **«Uост»**), но за время включения выключателя оно успевает возрасти до опасной величины (порядка $0{,}7U_{ном}$); в этих условиях включение секционного выключателя на группу возбужденных двигателей может привести к недопустимым токам несинхронного включения и даже к его отключению токовыми защитами. Поэтому одного контроля уровня остаточного напряжения по уставке **«Uост»** недостаточно: уставки **«Uост»** и **«Таврсв»** должны работать «совместно»[2], причем выдержка **«Таврсв»** обеспечивает временную задержку, за время которой уровень напряжения на выводах СД может стать выше **«Uост»**.

Значение уставки **«Таврсв»** следует выбирать по условию проверки устойчивого снижения остаточного напряжения ниже уставки **«Uост»** и исключения включения секционного выключателя в интервале возможного повторного восстановления напряжения на выводах возбужденных синхронных электродвигателей:

---

[1] Термин «встречное» используется в [122] для обозначения остаточного напряжения на выводах СД, создаваемого за счет ЭДС двигателя при неснятом возбуждении и учитываемого при оценке тока несинхронного включения.

[2] Под «совместной» работой уставок **«Uост»** и **«Таврсв»** понимается, что в алгоритме АВР секционного выключателя одновременно используются обе уставки: задана (введена) выдержка времени **«Таврсв»** и задана уставка по остаточному напряжению **«Uост»**, причем команда на включение секционного выключателя формируется только при одновременном выполнении всех условий действия АВР, в том числе условий по **«Таврсв»** и **«Uост»**

$$Т_{авр.св} \geq t_{восст.Uост} + t_{зап}\ [с] \quad (10.13)$$

где

$t_{восст.Uост}$ с расчетное или определенное по результатам моделирования время от момента выполнения условия снижения остаточного напряжения ниже уставки **«Uост»** до возможного повторного повышения остаточного напряжения до значения уставки **«Uост»** при неснятом возбуждении синхронных электродвигателей

$t_{зап}$ с технологический запас, учитывающий разброс переходных параметров СД, погрешность расчетов и т.д., принимаемый ориентировочно из диапазона 0,1–0,2

Согласно данным [122] для СД переходная постоянная времени такова, что за интервал порядка 0,5 с напряжение может возрасти от 0 до величины порядка $0{,}7U_{ном}$; поэтому при отсутствии детальных расчетов и моделирования значение уставки **«Таврсв»** допускается ориентировочно принимать:

$$Т_{авр.св} \approx 0{,}5\ [с] \quad (10.14)$$

Значение уставки **«Таврсв»** также учитывается при выборе уставки **«Твнр бп»** для ВНР с предварительным отключением секционного выключателя в соответствии с 10.2.2.

Значение уставки **«Таврсв»** уточняется по результатам моделирования переходных процессов (выбег, генераторный режим, восстановление напряжения и т.д.) и опыту эксплуатации конкретного объекта. При такой выдержке времени в случае неснятого возбуждения СД за время **«Таврсв»** напряжение успевает восстановиться до уровня выше уставки **«Uост»**, что приведет к блокировке действия АВР СВ по уставке **«Uост»**; при наличии схем быстрого гашения поля, напротив, за время **«Таврсв»** напряжение успевает уменьшиться ниже **«Uост»**, и формируется разрешение на подачу команды на включение секционного выключателя.

10.2 ВОССТАНОВЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА

10.2.1 Общие сведения

Согласно ПУЭ [100, п. 3.3.42] после успешного действия устройств АПВ или АВР должно, как правило, обеспечиваться возможно более полное автоматическое восстановление схемы доаварийного режима, в том числе отключение включенного при действии АВР секционного выключателя.

ВНР является составной частью комплекса АВР и, следовательно, согласно ГОСТ Р 59909-2021 [56] относится к средствам сетевой автоматики.

В настоящей Методике расчет уставок ВНР рассматривается для типовой схемы распределительного устройства 6–35 кВ с двумя секциями шин, двумя выключателями вводов и секционным выключателем. ВНР предназначено для автоматического восстановления исходной схемы электроснабжения после действия АВР и перевода нагрузки на рабочий источник питания при восстановлении напряжения со стороны рабочего ввода.

Функция ВНР позволяет сократить длительность работы распределительного устройства в послеаварийной схеме, уменьшить перераспределение нагрузки между источниками питания, а также снизить объем ручных оперативных переключений.

ВНР реализуется в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** в алгоритме **«Восстановление нормального режима после АВР»**, основные параметры которого приведены в таблице 10.7.

Таблица 10.7. Алгоритм «Восстановление нормального режима после АВР»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль готовности к ВНР	+	+	+	+	+
Контроль успешности АВР при формировании готовности ВНР	–	+	+	+	+
Контроль напряжения до выключателя ввода	–	+	+	+	+
Пуск по внешнему логическому сигналу	+	–	–	+	+
ВНР с кратковременной параллельной работой двух секций	+	+	+	+	+
ВНР с предварительным отключением СВ и паузой без питания	+	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.8.

Таблица 10.8. Уставки алгоритма «Восстановление нормального режима после АВР» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Восстановление нормального режима после АВР (ВНР)							
Uвнр	В	100	80	240	0,1	0,95	ВНР – напряжение пуска
Твнр	с	0,5	0,1	60	0,01	-	ВНР – задержка срабатывания
Твнр гот	с	12	1	60	0,01	-	ВНР – время готовности
Твнр бп	с	0	0	10	0,01	-	ВНР – длительность паузы без питания
Тпаузы внр	с	120	1	120	0,01	-	ВНР – минимальная пауза между ВНР

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-01»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.9.

Таблица 10.9. Уставки алгоритма «Восстановление нормального режима после АВР» для «Алтей-01»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Восстановление нормального режима после АВР (ВНР)							
Uвнр	В	100	40	400	0,1	0,95	ВНР – напряжение пуска
Твнр	с	0,5	0,1	600	0,01	-	ВНР – задержка срабатывания
Твнр гот	с	12	1	60	0,01	-	ВНР – время готовности
Твнр бп	с	0	0	10	0,01	-	ВНР – длительность паузы без питания
Тпаузы внр	с	120	1	120	0,01	-	ВНР – минимальная пауза между ВНР

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.10.

Таблица 10.10. Уставки алгоритма «Восстановление нормального режима после АВР» для «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Восстановление нормального режима после АВР (ВНР)							
Uвнр	В	100	40	240	0,1	0,95	ВНР – напряжение пуска
Твнр	с	0,5	0,1	60	0,01	-	ВНР – задержка срабатывания
Твнр гот	с	12	1	60	0,01	-	ВНР – время готовности
Твнр бп	с	0	0	10	0,01	-	ВНР – длительность паузы без питания
Тпаузы внр	с	120	1	120	0,01	-	ВНР – минимальная пауза между ВНР

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.11.

Таблица 10.11. Уставки алгоритма «Восстановление нормального режима» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Восстановление нормального режима после АВР (ВНР)							
Твнр	с	3	1	60	0,01	-	ВНР – задержка срабатывания
Твнр бп	с	0,05	0	60	0,01	-	ВНР – длительность паузы без питания
Твнр гот	с	12	1	60	0,01	-	ВНР – время готовности
Тпаузы внр	с	120	1	120	0,01	-	ВНР – минимальная пауза между ВНР

Уставка по напряжению **«Uвнр»** задается с учетом принятой схемы подключения цепей ТН и используемых измерительных величин. Для устройств, использующих контроль напряжения до выключателя ввода, должны быть заданы коэффициенты трансформации соответствующего ТН в соответствии с **2.1**.

10.2.2 Расчет уставок

Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** значение уставки **«Uвнр»** следует выбирать по условию наличия напряжения на рабочем источнике питания до выключателя ввода, достаточного для выполнения восстановления нормального режима после АВР. При использовании в устройстве **«Алтей-БЗП»** внешнего сигнала **«Uвст есть – внеш.»** для контроля восстановления напряжения до выключателя ввода значение уставки внешнего реле напряжения следует выбирать по условиям (10.15), (10.16). Для **«Алтей-БЗП2»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** контроль восстановления напряжения до выключателя ввода выполняется по измеренному напряжению **«Uвст»** и уставке **«Uвнр»**.

Значение уставки **«Uвнр»** по условию отстройки от минимального рабочего напряжения рабочего источника питания следует определять по формуле [2, 12, 161, 162]:

$$Uвнр = \frac{U_{раб.мин}}{k_{отс} \cdot k_{в}} \quad В \tag{10.15}$$

где

$U_{раб.мин}$	В	минимальное рабочее напряжение на рабочем источнике питания до выключателя ввода в точке подключения органа контроля напряжения, при котором должно сохраняться разрешение на выполнение ВНР
$k_{отс}$	–	коэффициент отстройки, принимается равным 1,1–1,2
$k_{в}$	–	коэффициент возврата, принимается по таблицам 10.8–10.10 для устройств, в которых предусмотрена встроенная уставка **«Uвнр»**; при использовании внешнего реле напряжения коэффициент возврата следует принимать по данным указанного реле

Значение $U_{раб.мин}$ следует принимать для той же измерительной величины, по которой выполняется контроль восстановления напряжения: линейного либо фазного напряжения в зависимости от схемы подключения ТН, ТСН или внешнего органа напряжения. При расчете уставки во вторичных величинах $U_{раб.мин}$ следует принимать как соответствующее минимальное напряжение на вторичной стороне ТН или ТСН, подключенной к входам устройства или внешнего органа напряжения; при расчете в первичных величинах полученное значение уставки следует пересчитывать во вторичные величины в соответствии с 2.1. Для цепей контроля, выполненных от ТСН, в качестве базового напряжения следует использовать напряжение той обмотки ТСН, от которой фактически формируется сигнал наличия напряжения до выключателя ввода: фазное напряжение 220/230 В либо линейное напряжение 380/400 В.

При отсутствии результатов детального расчета режимов после восстановления напряжения на рабочем источнике значение уставки **«Uвнр»** допускается предварительно принимать по условию [2, 12, 122]:

$$Uвнр = (0{,}8 - 0{,}9) \cdot U_{ном} \ [В] \tag{10.16}$$

где

$U_{ном}$	В	номинальное напряжение в точке подключения органа контроля напряжения до выключателя ввода, принятое для той же измерительной величины, по которой определяется $U_{раб.мин}$ в формуле (10.15): линейного либо фазного напряжения в зависимости от схемы подключения ТН, ТСН или внешнего органа напряжения

При использовании внешнего сигнала наличия напряжения до выключателя ввода **«Uвст есть»** значение уставки внешнего органа контроля напряжения следует выбирать по условиям (10.15), (10.16) с учетом его коэффициента возврата и погрешности. При использовании для формирования указанного сигнала алгоритма **«КЭП»** значение уставки контроля наличия встречного напряжения **«Uвст макс»** следует выбирать в соответствии с 2.2.2 по формуле (2.33), с учетом условий (10.15), (10.16). Условия (2.30) и (2.31) следует применять только для сигналов контроля наличия напряжения на шинах **«Uш есть»**.

Для объектов предприятий нефтегазового сектора при наличии двигательной нагрузки, в том числе АД и СД, значение уставки **«Uвнр»** следует принимать равным:

$$Uвнр = 0{,}95 \cdot U_{ном} \ [В] \tag{10.17}$$

Условие (10.17) является специальным условием выбора уставки **«Uвнр»** для указанных объектов и применяется вместо предварительного диапазона, определяемого по формуле (10.16).

Значение уставки **«Tвнр»** следует выбирать по условию устойчивого восстановления напряжения на рабочем источнике питания и завершения переходных процессов после действия АВР:

$$Tвнр \geq макс\left(t_{перех.авр}, t_{контр.ист}\right) \ [с] \tag{10.18}$$

где

$t_{перех.авр}$ с минимальное время, необходимое для завершения переходных процессов после действия АВР, включая самозапуск электродвигателей, стабилизацию напряжения на секциях шин и завершение действия смежных устройств автоматики

$t_{контр.ист}$ с минимальное время, необходимое для контроля устойчивого восстановления напряжения на рабочем источнике питания до выключателя ввода

Значение уставки **«Твнр»** рекомендуется принимать минимальным из значений, обеспечивающих выполнение условия (10.18), с учетом необходимости сокращения времени работы распределительного устройства в послеаварийной схеме. При значительной доле двигательной нагрузки значение уставки **«Твнр»** следует уточнять по результатам расчета или моделирования переходных процессов после действия АВР, а также с учетом условий самозапуска электродвигателей по **5.2.5**.

При использовании ВНР с кратковременной параллельной работой двух секций шин включение выключателя ввода собственной секции должно выполняться только при допустимости параллельной работы источников питания. При необходимости контроля синхронизма уставки алгоритма **«КЭП»**, используемые для формирования признака синхронных напряжений, следует выбирать по **2.2.2**, а уставку **«Ткс»** алгоритма **«Включение выключателя»** – по **11.1**.

При отсутствии данных о времени завершения переходных процессов после действия АВР значение уставки **«Твнр»** допускается ориентировочно принимать в пределах, рекомендуемых для включения рабочего выключателя после восстановления напряжения на рабочем источнике в типовой схеме АВР [161, 162]:

$$Твнр \geq 14 - 15 \text{ [с]} \tag{10.19}$$

Указанное значение соответствует типовой схеме АВР, в которой включение выключателя рабочего питания после восстановления напряжения на рабочем источнике выполняется с выдержкой времени, необходимой для контроля исправности рабочего источника. Для объектов предприятий нефтегазового сектора при наличии двигательной нагрузки, в том числе АД и СД, значение уставки **«Твнр»** допускается принимать:

$$Твнр = 8 - 10 \text{ [с]} \tag{10.20}$$

Условие (10.20) следует применять при контроле восстановления напряжения до выключателя ввода не ниже значения, определяемого по формуле (10.17). Окончательные значения уставок **«Uвнр»** и **«Твнр»** следует принимать с учетом принятой схемы ВНР, состава нагрузки, условий самозапуска электродвигателей, требований эксплуатирующей организации и применимых отраслевых документов.

Значение уставки **«Твнр гот»** следует выбирать по условию обеспечения готовности привода выключателя к выполнению операции включения по команде ВНР. При отсутствии специальных требований расчет допускается выполнять по условию, аналогичному условию (11.14):

$$Твнр\ гот \geq t_{гот.прив} + t_{зап} \text{ [с]} \tag{10.21}$$

где обозначения те же, что и в формуле (11.14)

Уставка **«Твнр гот»** определяет условие готовности ВНР и не является выдержкой времени на включение выключателя ввода по ВНР. Выдержка времени на пуск ВНР определяется уставкой **«Твнр»**.

В случае, если допускается кратковременная параллельная работа источников питания, значение уставки **«Твнр бп»** следует принимать равным минимальному значению, поскольку при данном режиме ВНР перерыв питания секции шин отсутствует:

$$Твнр\ бп = 0 \text{ [с]} \tag{10.22}$$

Если кратковременная параллельная работа источников питания не допускается, восстановление нормального режима должно выполняться с предварительным отключением секционного выключателя и паузой без питания. В этом случае значение уставки **«Твнр бп»** следует выбирать с учетом допустимой длительности перерыва питания электроприемников.

При ВНР с предварительным отключением секционного выключателя уставка **«Твнр бп»** отсчитывается после появления сигнала отсутствия напряжения на шинах собственной секции **«Uш нет»**, формируемого алгоритмом **«КЭП»** в соответствии с **2.2.2**. Полная длительность кратковременного перерыва электроснабжения секции шин определяется уставкой **«Твнр бп»** и временем включения выключателя ввода:

$$t_{ВНР.бп} = Твнр\ бп + t_{вкл.ВВ} \text{ [с]} \tag{10.23}$$

где

$t_{ВНР.бп}$ с расчетная длительность перерыва питания секции шин при ВНР с предварительным отключением секционного выключателя

$t_{вкл.ВВ}$ с собственное время включения выключателя ввода с учетом длительности команды включения и времени срабатывания выключателя

Значение уставки **«Твнр бп»** следует выбирать по условию:

$$t_{ВНР.бп} \leq t_{доп.бп} \text{ [с]} \quad (10.24)$$

где

$t_{доп.бп}$ с допустимая длительность перерыва питания секции шин, определяемая по условиям работы электроприемников и технологического процесса

Из условий (10.23), (10.24) допустимое значение уставки **«Твнр бп»** определяется по формуле:

$$Твнр\ бп \leq t_{доп.бп} - t_{вкл.ВВ} \text{ [с]} \quad (10.25)$$

При наличии на секции шин синхронных электродвигателей значение уставки **«Твнр бп»** и уставки контроля отсутствия напряжения на шинах в алгоритме **«КЭП»** следует выбирать совместно с уставками защиты от потери питания по **4.3**, условиями гашения поля СД и уставками **«Uост»**, **«Таврсв»** по **10.1.2**. При отсутствии расчетов и моделирования переходных процессов ориентировочное значение выдержки, необходимой для исключения несинхронного включения возбужденных СД, допускается принимать по условию:

$$Твнр\ бп \geq Таврсв \text{ [с]} \quad (10.26)$$

где

Таврсв с значение уставки **«Таврсв»** задержки срабатывания АВР СВ, определяемой по **10.1.2**, формула (10.14)

Если условия (10.24), (10.26) не могут быть выполнены одновременно, режим ВНР с предварительным отключением секционного выключателя следует проверять расчетом переходных процессов. При невозможности обеспечения допустимых условий включения восстановление нормального режима должно выполняться с контролем синхронизма, с изменением последовательности переключений либо с участием оперативного персонала. Уставки контроля синхронизма **«КС dU»**, **«КС df»**, **«КС dФ»**, а также уставки приведения встречного напряжения **«КС kUвст»** и **«КС Фвст»** следует выбирать по **2.2.2**. Уставку **«Ткс»** алгоритма **«Включение выключателя»** следует выбирать по **11.1**. Для устройства **«Лютик»** встроенный контроль синхронизма в алгоритме включения выключателя не предусмотрен; при необходимости контроль допустимости включения выключателя ввода при ВНР должен выполняться внешним устройством.

При использовании ВНР с кратковременной параллельной работой секций шин для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** при необходимости может быть введен контроль синхронизма напряжений с двух сторон от выключателя ввода.

Значение уставки **«Тпаузы внр»** следует выбирать по условию исключения повторных циклов ВНР при неустойчивом восстановлении рабочего источника питания, неуспешном включении выключателя ввода или повторных нарушениях режима после первого цикла ВНР. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тпаузы внр»** допускается выбирать по аналогии с уставкой **«Тпаузы авр»** по **10.1.2**:

$$Тпаузы\ внр = Тпаузы\ авр \text{ [с]} \quad (10.27)$$

При отсутствии детальных расчетов и имитационного моделирования переходных процессов ориентировочное значение уставки **«Тпаузы внр»** допускается принимать:

$$Тпаузы\ внр \approx 120 \text{ [с]} \quad (10.28)$$

Окончательное значение уставки **«Тпаузы внр»** следует принимать с учетом диапазона задания соответствующего устройства, результатов расчетов, пусконаладочных испытаний и опыта эксплуатации конкретного объекта электроснабжения.

Для устройства **«Лютик»** уставка **«Uвнр»** не задается; контроль восстановления напряжения до выключателя ввода следует выполнять внешним органом напряжения, уставки которого выбираются по условиям настоящего подраздела.

10.3 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ РЕЗЕРВА ДЛЯ ПУНКТОВ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ

10.3.1 Общие сведения

Алгоритм **«Автоматическое включение резерва для пунктов секционирования (АВР ПС)»** в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** представляет собой специализированный алгоритм автоматического включения выключателя пункта секционирования, применяемый в составе комплекса сетевого АВР совместно с устройствами автоматического секционирования, АПВ и делительной автоматики.

Автоматическое секционирование воздушных линий 6(10) кВ применяется для быстрого отделения поврежденного участка от остальной линии и повышения надежности электроснабжения потребителей [160]. Для вдольтрассовых ВЛ 6(10) кВ магистральных газопроводов указанная задача имеет повышенное значение вследствие значительной протяженности линий, малого уровня токов КЗ в конце линии, малой установленной мощности линейных потребителей, неравномерного распределения нагрузок по длине ВЛ и большого числа секционирующих пунктов [76].

Вдольтрассовые ВЛ 6(10) кВ магистральных газопроводов выполняются, как правило, с двусторонним питанием, при этом автоматическое секционирование применяется в сочетании с сетевым АВР. При такой схеме поврежденный участок может быть автоматически отделен с двух сторон, а неповрежденные участки продолжают получать питание от одного из центров питания. Пример схемы вдольтрассовой ВЛ 6(10) кВ с последовательным секционированием и устройством сетевого АВР приведен на рисунке 10.2 [76, 106].

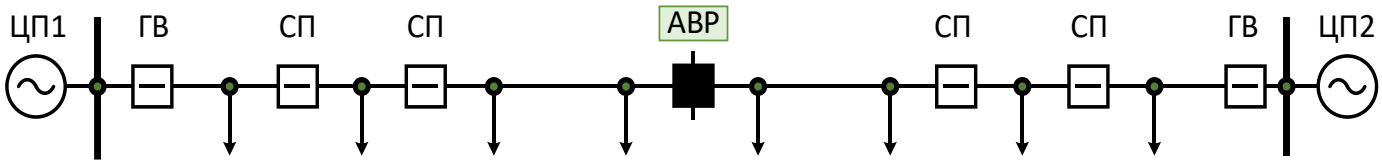


Рисунок 10.2. Схема вдольтрассовой ВЛ 6(10) кВ с последовательным секционированием и устройством сетевого АВР.
ГВ – головной выключатель; СП – секционирующий пункт; ЦП – центр питания

Надежность систем электроснабжения линейных потребителей магистральных газопроводов является одним из факторов стабильного и безаварийного функционирования газотранспортных систем. Поэтому для вдольтрассовых объектов применение автоматического секционирования и сетевого АВР следует рассматривать как одно из технических решений, направленных на сокращение зоны и длительности нарушения электроснабжения [106].

В распределительных сетях с сетевым АВР может применяться делительная защита минимального напряжения (ДЗН), действующая до срабатывания сетевого АВР[1]. В схеме на рисунке 10.3 приведена схема сетевого АВРс двустороннего действия: при исчезновении напряжения на одной из сторон питания при наличии напряжения на другой стороне производится автоматическое включение выключателя в пункте секционирования, обеспечивающее питание линии Л3 от оставшегося в работе источника (ячейка линии Л3 на ПС Б в этом случае является отходящей линией ПС Б). В схеме предусмотрена делительная защита минимального напряжения (ДЗН), действующая до срабатывания сетевого АВРс для исключения опасных перегрузок и включения на удаленные КЗ. ДЗН установлена на ПС Г и предотвращает подпитку неустранившегося КЗ в точке $К_1$ на питающей линии высшего напряжения Л1 через сеть низшего напряжения от источника А после срабатывания сетевого АВРс, а также может использоваться для предотвращения перегрузки источника А, если присоединение нагрузки от ПС Г приводит к превышению допустимой мощности этого источника. Кроме того, на схеме показан местный АВРм на ПС Б, функционирующий независимо от сетевого АВРс и приведенный на рисунке для полноты представления общей структуры применяемой автоматики; выбор уставок и параметров местного АВРм выполняется в подразделе 10.1.2.

[1] Термин «сетевое АВР» используется в [161, 162] и означает комплекс согласованных между собой устройств (АВР, делительная автоматика, автоматика изменения уставок РЗА и др.), расположенных в разных точках распределительной сети и при этом согласованных по уставкам и принципам действия. Эти устройства без использования каналов связи совместно обеспечивают предварительное отключение нужных участков и последующее включение нормально отключенного выключателя

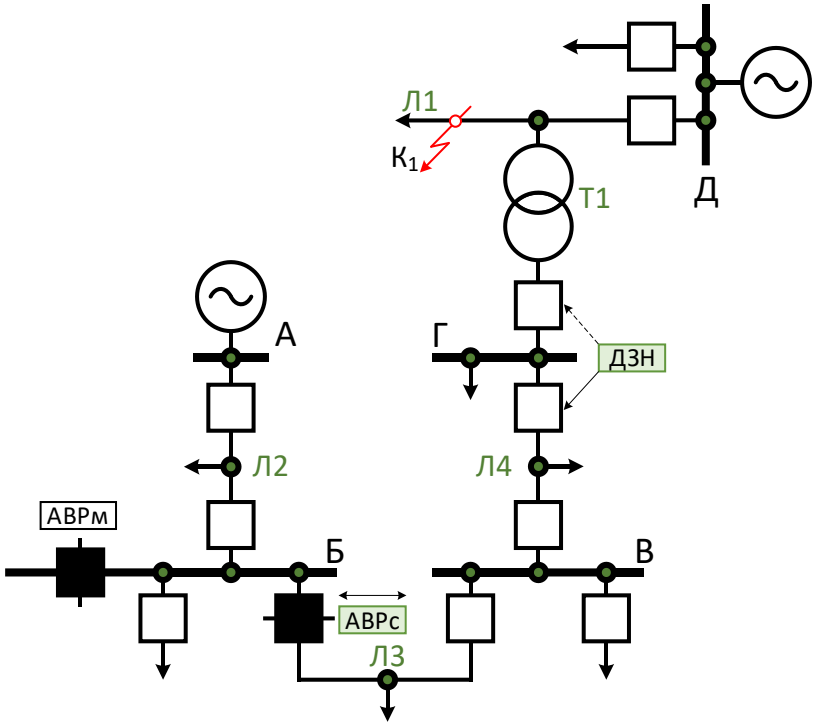


Рисунок 10.3. Схема распределительной сети с сетевым АВРс двустороннего действия и делительной защитой минимального напряжения (ДЗН), действующей перед АВР в сторону подстанции Г во избежание включения на КЗ в сети высшего напряжения на линии Л1

Основные параметры алгоритма **«Автоматическое включение резерва для пунктов секционирования (АВР ПС)»**, реализуемого в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, приведены в таблице 10.12.

Таблица 10.12. Алгоритм «Автоматическое включение резерва для пунктов секционирования»

ПАРАМЕТР	АЛТЕЙ-01, ЛЮТИК-ПЛЮС
Контроль напряжения с двух сторон пункта секционирования	+
Разные выдержки времени для действия АВР в одну и в другую сторону	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 10.13.

Таблица 10.13. Уставки алгоритма «Автоматическое включение резерва для пунктов секционирования»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Автоматическое включение резерва для пунктов секционирования (АВР ПС)							
Uавр пс 1	В	90	20	100	0,1	1,05	АВР ПС – напряжение пуска со стороны 1
Тавр пс 1	с	0,5	0,1	60	0,01	-	АВР ПС – задержка срабатывания со стороны 1
Uавр пс 2	В	90	20	100	0,1	1,05	АВР ПС – напряжение пуска со стороны 2
Тавр пс 2	с	0,5	0,1	60	0,01	-	АВР ПС – задержка срабатывания со стороны 2

Расчет уставок **«Uавр пс 1»** и **«Uавр пс 2»** следует выполнять в первичных величинах. При задании уставок в устройстве расчетные значения должны быть приведены ко вторичным величинам в соответствии с **2.1**.

10.3.2 Расчет уставок

При выборе уставок **«Uавр пс 1»** и **«Uавр пс 2»** под стороной 1 пункта секционирования понимается сторона, на которой контролируются линейные напряжения **«Uab»**, **«Ubc»**, **«Uca»** для пуска по уставке **«Uавр пс 1»**. Под стороной 2 понимается сторона, на которой контролируется встречное напряжение **«Uвст»** для пуска по уставке **«Uавр пс 2»**. Для схемы, приведенной на рисунке 10.3, при установке устройства АВРс на пункте секционирования со стороны ПС Б контролируются линейные напряжения, а со стороны линии Л3 — встречное напряжение.

Значения уставок **«Uавр пс 1»** и **«Uавр пс 2»** следует выбирать по условиям отстройки от минимального остаточного напряжения при КЗ в сети, а также от снижения напряжения при самозапуске электродвигателей. Расчет следует выполнять раздельно для каждой стороны пункта секционирования по формуле, аналогичной выражению (10.1):

$$\text{Uавр пс k} \leq \text{мин}\left(\frac{U_{\text{ост.кз.k}}}{k_{\text{отс}}}; \frac{U_{\text{сзп.k}}}{k_{\text{отс}}}\right) \text{ [В]} \quad (10.29)$$

где

$U_{\text{ост.кз.k}}$	В	наименьшее расчетное значение остаточного линейного напряжения со стороны k пункта секционирования при КЗ в сети, питаемой с указанной стороны
$U_{\text{сзп.k}}$	В	наименьшее расчетное значение остаточного линейного напряжения со стороны k пункта секционирования в начале самозапуска двигательной нагрузки при питании сети с указанной стороны
$k_{\text{отс}}$	–	коэффициент отстройки, принимается равным 1,2–1,3
k	–	номер стороны пункта секционирования: k = 1 — для уставок **«Uавр пс 1»**, **«Тавр пс 1»**; k = 2 — для уставок **«Uавр пс 2»**, **«Тавр пс 2»**

Для уставки **«Uавр пс 1»** в качестве расчетных напряжений следует использовать остаточные линейные напряжения в узле пункта секционирования при питании сети со стороны 1. Для уставки **«Uавр пс 2»** в качестве расчетных напряжений следует использовать остаточные напряжения, определенные при питании сети со стороны 2.

При отсутствии детальных расчетов остаточного напряжения и самозапуска электродвигателей значения уставок **«Uавр пс 1»** и **«Uавр пс 2»** допускается ориентировочно принимать по формуле, аналогичной выражению (10.2):

$$\text{Uавр пс k} = (0{,}25 - 0{,}4) \cdot U_{\text{ном.k}} \text{ [В]} \quad (10.30)$$

где

$U_{\text{ном.k}}$	В	номинальное линейное напряжение электрической сети со стороны k пункта секционирования

Значения уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** следует выбирать раздельно для каждой стороны пункта секционирования. Выдержка времени АВР ПС должна быть отстроена от времени действия защит, АПВ, делительной автоматики и других устройств автоматики питающей сети, действие которых должно завершиться до включения выключателя пункта секционирования. При применении АПВ реклоузеров вдольтрассовых ВЛ и пунктов секционирования проверку согласования уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** с неуспешным циклом АПВ следует выполнять по **11.3.7**.

Для пунктов секционирования, не работающих по алгоритму «разборка–сборка сети»[1], значения уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** следует выбирать аналогично выбору уставки **«Тавр»** местного АВР по формулам (10.3)–(10.5), но раздельно для каждой стороны пункта секционирования.

Дополнительно значения уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** по условию ожидания срабатывания делительных защит минимального напряжения, действующих перед АВР, следует выбирать по условию [**161**, **162**]:

$$\text{Тавр пс k} \geq t_{\text{дзн.k}} + \Delta t \text{ [с]} \quad (10.31)$$

где

Тавр пс k	с	значение уставки выдержки времени АВР ПС для стороны k
$t_{\text{дзн.k}}$	с	время срабатывания делительной защиты минимального напряжения, действующей перед сетевым АВР по соответствующему направлению; определяется по принятой схеме делительной автоматики и условиям ожидания действия АПВ линии основного питания или АВР в питающей сети
Δt	с	ступень селективности по времени между делительной защитой минимального напряжения и АВР ПС, принимаемая по формуле (10.3)

При наличии в сети нескольких устройств АВР, действующих последовательно по отношению к источнику питания, значения уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** следует дополнительно согласовывать с выдержками времени вышестоящих и нижестоящих устройств АВР по условию (10.5). При этом для каждой стороны пункта секционирования следует учитывать фактическую очередность восстановления питания, принятую в схеме сетевого АВР.

В качестве отдельного варианта для линий с сетевым АВР, реализуемым на реклоузерах и работающим по алгоритму «разборка–сборка сети» по схеме, приведенной на рисунке 10.2, ориентировочное значение уставки **«Тавр пс k»** следует выбирать [**76**, **159**]:

[1] В работах [**76**, **159**] «разборка–сборка сети» – совокупность автоматических операций по отключению элементов для выделения поврежденного участка (разборка) и последующему включению необходимых реклоузеров и действию АВР для восстановления питания неповрежденных участков (сборка)

$$Т_{авр\ пс\ k} \geq 2 \cdot t_{мтз} + 2 \cdot t_{откл} + t_{апв1} + t_{апв2} + 2 \cdot t_{вкл.гв} + N_k \cdot \left(t_{змн.апв} + t_{вкл.рекл}\right) + \Delta t\ [с] \quad (10.32)$$

где

$t_{мтз}$	с	наибольшее время срабатывания селективной ступени МТЗ головного выключателя питающей линии
$t_{откл}$	с	время отключения реклоузера или выключателя пункта секционирования
$t_{апв1}$	с	выдержка времени первого цикла АПВ питающей линии
$t_{апв2}$	с	выдержка времени второго цикла АПВ питающей линии
$t_{вкл.гв}$	с	время включения головного выключателя питающей линии
N_k	шт	число реклоузеров или пунктов секционирования на рассматриваемом участке сети от питающего источника до пункта сетевого АВР по соответствующему направлению; для уставки **«Тавр пс 1»** принимается N_1, для уставки **«Тавр пс 2»** – N_2
$t_{змн.апв}$	с	время срабатывания делительной ЗМН, действующей в паузу АПВ перед сетевым АВР; при применении делительной ЗМН реклоузеров вдольтрассовых ВЛ значение $t_{змн.апв}$ следует определять по 11.3.7
$t_{вкл.рекл}$	с	время включения реклоузера при сборке сети
Δt	с	время запаса, принимаемое по условиям селективности и надежного завершения операций автоматики.

Формулу (10.32) следует применять только при наличии в проектной схеме алгоритма «разборка–сборка сети». При отсутствии такого алгоритма значения уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** следует выбирать по условиям (10.3)–(10.5) и (10.31).

Окончательное значение уставки **«Тавр пс k»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям согласования с защитами и АПВ питающей линии, с АВР питающей сети, с делительной автоматикой минимального напряжения и, при применении алгоритма «разборка–сборка сети», с временем разборки и последующей сборки участка сети до пункта сетевого АВР.

Если расчетное значение уставки **«Тавр пс k»** превышает максимальное значение, допускаемое устройствами **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, значение уставки не может быть введено непосредственно в алгоритм **«АВР ПС»**; в этом случае должны быть пересмотрены схема согласования автоматики, последовательность действия делительной автоматики и АПВ либо применено иное проектное решение.

11 АВТОМАТИКА УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ

Автоматика управления выключателем предназначена для формирования команд управления выключателем присоединения, контроля условий разрешения управления и ограничения длительности управляющих импульсов на электромагниты управления выключателя. Расчет уставок алгоритма включения выключателя приведен в 11.1; расчет уставок алгоритма отключения выключателя приведен в 11.2; расчет уставок автоматического повторного включения — в 11.3.

Алгоритмы, относящиеся к автоматике управления выключателем, реализованные в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1. Автоматика управления выключателем в устройствах «Алтей» и «Лютик»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Включение выключателя	+	+	+	+	+
Отключение выключателя	+	+	+	+	+
Автоматическое повторное включение	+	+	+	+	+

11.1 ВКЛЮЧЕНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

11.1.1 Общие сведения

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** алгоритм имеет наименование «Включение выключателя». В устройствах **«Алтей-01»**, **«Лютик-Плюс»** и **«Лютик»** в таблицах уставок применяется наименование **«Включение»**. Далее в настоящей Методике для указанных устройств применяется обобщенное наименование **«Включение выключателя»**, если не требуется указать точное наименование алгоритма по РЭ конкретного устройства.

Алгоритм **«Включение выключателя»** предназначен для формирования команды на включение выключателя по командам оперативного управления, при действии функций автоматики, а также по командам от внешних устройств при отсутствии блокирующих условий. Алгоритм обеспечивает ограничение длительности импульса включения, возврат команды включения после подтверждения включенного положения выключателя, блокирование многократных включений выключателя, блокирование включения при запретах включения, неисправности выключателя или цепей управления и, для части устройств, выполнение включения с контролем синхронизма.

Основные параметры алгоритма **«Включение выключателя»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 11.2.

Таблица 11.2. Алгоритм «Включение выключателя»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Исполнение команды оперативного включения	+	+	+	+	+
Исполнение команды АПВ, АВР, ВНР, ЧАПВ[1]	+/–	+	+	+	+
Контроль синхронизма	–	+	+	+	+
Ограничение длительности импульса включения	+	+	+	+	+
Задержка возврата команды включения	+	+	+	+	+
Блокирование от многократных включений («прыгания»)	+	+	+	+	+
Блокирование включения при запретах включения, неисправности выключателя или цепей управления	+	+	+	+	+

[1] Состав команд на включение определяется функциональным составом конкретного устройства. К указанным командам могут относиться команды АПВ, АВР, ВНР, ЧАПВ, АПВН и АВР ПС при наличии соответствующих алгоритмов

При включении с контролем синхронизма используются признаки допустимости включения по напряжениям с двух сторон выключателя, формируемые в соответствии с 2.2.2. Для устройства **«Лютик»** встроенный контроль синхронизма в алгоритме включения выключателя не предусмотрен.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.3.

Таблица 11.3. Уставки алгоритма «Включение выключателя» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Включение выключателя							
Твкл имп	с	8	0,1	20	0,01	-	Максимальная длительность импульса на включение
Трпв	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды включения
Ткс	с	2	0,1	30	0,01	-	КС – длительность ожидания синхронных напряжений

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-01»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.4.

Таблица 11.4. Уставки алгоритма «Включение выключателя» для «Алтей-01»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Включение выключателя							
Твкл имп	с	8	0,1	10	0,01	-	Максимальная длительность импульса на включение
Трпв	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды включения
Ткс	с	2	0,1	30	0,01	-	Длительность ожидания синхронных напряжений при включении с КС

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.5.

Таблица 11.5. Уставки алгоритма «Включение выключателя» для «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Включение выключателя							
Твкл имп	с	8	0,1	20	0,01	-	Максимальная длительность импульса на включение
Трпв	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды включения
Ткс	с	2	0,1	30	0,01	-	Длительность ожидания синхронных напряжений при включении с КС

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.6.

Таблица 11.6. Уставки алгоритма «Включение» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Включение выключателя							
Твкл имп	с	0,1	0,1	10	0,01	-	Максимальная длительность импульса на включение
Трпв	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды включения

11.1.2 Расчет уставок

Снятие команды включения выполняется по сигналу **«РПВ»** с выдержкой времени **«Трпв»**, при формировании команды **«Откл. лог.»**, а также по истечении предельной выдержки времени **«Твкл имп»**. Уставка **«Твкл имп»** ограничивает максимальную длительность команды включения в случаях, когда снятие команды не произошло по сигналу **«РПВ»** и отсутствует команда отключения.

В устройствах, в которых предусмотрен контроль тока электромагнита включения, при подключении сигнала датчика тока на логический вход **«ДТ ЭВ»** снятие команды включения по сигналу **«РПВ»** дополнительно выполняется с контролем

отсутствия тока в цепи электромагнита включения. При непрерывном наличии тока в указанной цепи защита электромагнитов управления от длительного протекания тока действует с выдержкой времени **«Тэм»**, выбираемой по **11.2.2**. Уставка **«Тэм»** не относится к уставкам алгоритма **«Включение выключателя»**, однако должна учитываться при согласовании временных уставок, связанных с длительностью команды включения.

Значение уставки **«Трпв»** следует выбирать по условию устойчивого снятия команды включения после подтверждения включенного положения выключателя сигналом **«РПВ»**, с учетом времени срабатывания выходных и промежуточных реле, а также возможного дребезга вспомогательных контактов выключателя.

Окончательное значение уставки **«Трпв»** следует выбирать в диапазоне 0,10–0,25 с. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Трпв»** рекомендуется принимать равным:

$$\text{Трпв} = 0{,}25\ [\text{с}] \tag{11.1}$$

Значение уставки **«Твкл имп»** следует выбирать по условию обеспечения надежного завершения операции включения выключателя. При наличии паспортных данных выключателя значение уставки **«Твкл имп»** должно быть больше максимального времени от подачи команды включения до формирования сигнала **«РПВ»** с учетом времени срабатывания промежуточных реле.

Одновременно значение уставки **«Твкл имп»** должно ограничивать длительность питания цепи включения выключателя. В соответствии с ГОСТ Р 52565-2006 [44, п. 6.3.2] обмотки и другие элементы вспомогательных цепей кратковременного режима должны выдерживать 10-кратное срабатывание при напряжении $1{,}1U_{ном}$ с интервалом между моментами подачи напряжения 10 с, а при отсутствии устройств автоматического снятия импульса — однократное непрерывное приложение напряжения $1{,}1U_{ном}$ в течение 15 с.

Значение уставки **«Твкл имп»** следует выбирать по условию ограничения длительности питания цепи включения выключателя:

$$\text{Твкл имп} \le t_{\text{пред.эмв}}\ [\text{с}] \tag{11.2}$$

где

$t_{\text{пред.эмв}}$ с предельно допустимая длительность питания электромагнита включения, определяемая по паспортным данным выключателя, привода или электромагнита включения

При отсутствии в эксплуатационной документации выключателя данных о предельно допустимой длительности питания электромагнита включения значение уставки **«Твкл имп»** следует выбирать с учетом требований ГОСТ Р 52565-2006 [44, п. 6.3.2] к вспомогательным цепям кратковременного режима[1] и диапазона задания уставки соответствующего устройства.

При отсутствии специальных требований и при применении выключателей с исправными цепями автоматического снятия команды включения значение уставки **«Твкл имп»** рекомендуется принимать в диапазоне:

$$\text{Твкл имп} = 2{,}0 - 4{,}0[\text{с}] \tag{11.3}$$

При выборе окончательных значений уставок для всех устройств рекомендуется обеспечить согласование уставок возврата команды включения и максимальной длительности импульса на включение:

$$\text{Трпв} < \text{Твкл имп} \tag{11.4}$$

При использовании контроля тока электромагнита включения дополнительно рекомендуется обеспечить выполнение условия:

$$\text{Трпв} < \text{Тэм} < \text{Твкл имп} \tag{11.5}$$

где

Тэм с значение уставки **«Тэм»** защиты электромагнитов управления от длительного протекания тока, выбираемое по **11.2.2**

Для устройства **«Лютик»** проверку следует выполнять по условию (11.4), так как уставка **«Тэм»** в устройстве не предусмотрена.

Если выбранное значение уставки **«Тэм»** не позволяет выполнить условие (11.5) при значении уставки **«Твкл имп»**, принятом по (11.3), значение уставки **«Твкл имп»** следует выбирать больше **«Тэм»** с учетом условия (11.5).

[1] Согласно ГОСТ Р 52565-2006 [44] к вспомогательным цепям кратковременного режима относятся обмотки и другие элементы вспомогательных цепей выключателя, находящиеся под напряжением только в процессе выполнения операции включения или отключения выключателя

Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** при выполнении включения с контролем синхронизма значение уставки **«Ткс»** следует выбирать по условию ограничения длительности ожидания разрешающего признака синхронности напряжений с двух сторон выключателя. Значение уставки **«Ткс»** не заменяет расчет уставок контроля синхронизма; значения уставок контроля синхронизма следует выбирать по 2.2.2.

Окончательное значение уставки **«Ткс»** следует выбирать в диапазоне задания соответствующего устройства по условию обеспечения требуемой длительности ожидания разрешающего признака синхронности напряжений. Начальное значение уставки **«Ткс»**, равное 2,0 с, допускается принимать для оперативного включения и режимов, в которых синхронность напряжений ожидается к моменту подачи команды включения.

При использовании включения с контролем синхронизма в циклах АПВ, ЧАПВ, ВНР или АВР значение уставки **«Ткс»** следует выбирать с учетом выдержек времени и логики соответствующего алгоритма. Если по условиям АПВ с ожиданием синхронизма требуется длительность ожидания, превышающая верхний предел задания уставки **«Ткс»**, алгоритм **«Включение выключателя»** не должен рассматриваться как самостоятельная замена специализированного алгоритма АПВ с ожиданием или улавливанием синхронизма.

При наличии в составе нагрузки СД выбор уставки **«Ткс»** следует выполнять с учетом принятой логики АВР по 10.1, ВНР по 10.2, защиты от потери питания по 4.3 и схемы гашения поля СД.

11.2 ОТКЛЮЧЕНИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

11.2.1 Общие сведения

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** алгоритм имеет наименование **«Отключение выключателя»**. В устройствах **«Алтей-01»**, **«Лютик-Плюс»** и **«Лютик»** в таблицах уставок применяется наименование **«Отключение»**. Далее в настоящей Методике для указанных устройств применяется обобщенное наименование **«Отключение выключателя»**, если не требуется указать точное наименование алгоритма по РЭ конкретного устройства.

Алгоритм **«Отключение выключателя»** предназначен для формирования команды на отключение выключателя по командам оперативного управления, при срабатывании функций защиты и автоматики, а также по командам от внешних устройств. Алгоритм обеспечивает ограничение длительности импульса отключения, возврат команды отключения после подтверждения отключенного положения выключателя, а также формирование связанных команд пуска УРОВ, запрета АВР, блокирования оперативного включения и, для части устройств, команды дешунтирования.

Основные параметры алгоритма **«Отключение выключателя»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 11.7.

Таблица 11.7. Алгоритм «Отключение выключателя»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Исполнение команды оперативного отключения	+	+	+	+	+
Исполнение команд отключения выключателя от защит и автоматики, в цикле АВР и ВНР[1]	+	+	+	+	+
Формирование команд пуска УРОВ, запрета АВР и блокировки оперативного включения	+	+	+	+	+
Формирование команды дешунтирования	+	+	+	–	–
Ограничение длительности импульса отключения	+	+	+	+	+
Задержка возврата команды отключения	+	+	+	+	+
Контроль длительности протекания токов электромагнитов управления выключателем	–	+	+	+	+

[1] Состав команд на отключение определяется функциональным составом конкретного устройства. К указанным командам могут относиться команды отключения от защит, автоматики, внешних защит, УРОВ, АВР, ВНР, АЧР, АРСН, АОПЧ и других алгоритмов при наличии соответствующих функций.

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Блокирование отключения при запрете отключения по SF6	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.8.

Таблица 11.8. Уставки алгоритма «Отключение выключателя» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Отключение							
Тоткл имп	с	8	0,1	10	0,01	-	Максимальная длительность импульса на отключение
Трпо	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды отключения
Тэм	с	7	0,1	10	0,01	-	Задержка защиты ЭМ от длительного тока

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-01»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.9.

Таблица 11.9. Уставки алгоритма «Отключение выключателя» для «Алтей-01»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Отключение							
Тоткл имп	с	8	0,1	10	0,01	-	Максимальная длительность импульса на отключение
Трпо	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды отключения
Тэм	с	7	0,1	10	0,01	-	Задержка защиты ЭМ от длительного тока
Iуров откл	А	0,5	0,1	20	0,01	0,95	Ток отключения от УРОВ

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.10.

Таблица 11.10. Уставки алгоритма «Отключение выключателя» для «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Отключение							
Тоткл имп	с	8	0,1	20	0,01	-	Максимальная длительность импульса на отключение
Трпо	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды отключения
Тэм	с	7	0,1	10	0,01	-	Задержка защиты ЭМ от длительного тока

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.11.

Таблица 11.11. Уставки алгоритма «Отключение» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Отключение							
Тоткл имп	с	5	0,1	10	0,01	-	Максимальная длительность импульса на отключение
Трпо	с	0,25	0,1	0,25	0,01	-	Задержка возврата команды отключения

11.2.2 Расчет уставок

Снятие команды отключения выполняется по сигналу **«РПО»** с выдержкой времени **«Трпо»**, при формировании команды **«Вкл. лог.»**, а также по истечении предельной выдержки времени **«Тоткл имп»**. Уставка **«Тоткл имп»** ограничивает максимальную длительность команды отключения в случаях, когда снятие команды не произошло по сигналу **«РПО»** и отсутствует команда включения.

В устройствах, в которых предусмотрен контроль тока электромагнитов управления выключателем, при подключении сигналов датчиков тока на логические входы **«ДТ ЭО»**, **«ДТ ЭО 1»** и/или **«ДТ ЭО 2»** защита электромагнитов управления от длительного протекания тока действует с выдержкой времени **«Тэм»**. Уставка **«Тэм»** является общей для контроля длительного протекания тока в цепях электромагнитов включения и отключения, поэтому ее значение следует выбирать с учетом условий, приведенных в 11.1.2 и в настоящем разделе.

Значение уставки **«Трпо»** следует выбирать по условию устойчивого снятия команды отключения после подтверждения отключенного положения выключателя сигналом **«РПО»**, с учетом времени срабатывания выходных и промежуточных реле, а также возможного дребезга вспомогательных контактов выключателя.

Окончательное значение уставки **«Трпо»** следует выбирать в диапазоне 0,10–0,25 с. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Трпо»** рекомендуется принимать равным:

$$\text{Трпо} = 0{,}25\ [\text{с}] \tag{11.6}$$

Значение уставки **«Тоткл имп»** следует выбирать по условию обеспечения надежного завершения операции отключения выключателя. При наличии паспортных данных выключателя значение уставки **«Тоткл имп»** должно быть больше максимального времени от подачи команды отключения до формирования сигнала **«РПО»** с учетом времени срабатывания промежуточных реле.

Одновременно значение уставки **«Тоткл имп»** должно ограничивать длительность питания цепи отключения выключателя. Значение уставки **«Тоткл имп»** следует выбирать по условию, аналогичному условию (11.2), применительно к электромагниту отключения:

$$\text{Тоткл имп} \le t_{\text{пред.эмо}}\ [\text{с}] \tag{11.7}$$

где

$t_{\text{пред.эмо}}$ с предельно допустимая длительность питания электромагнита отключения, определяемая аналогично $t_{\text{пред.эмв}}$ по 11.1.2 по паспортным данным выключателя, привода или электромагнита отключения

При отсутствии в эксплуатационной документации выключателя данных о предельно допустимой длительности питания электромагнита отключения значение уставки **«Тоткл имп»** следует выбирать с учетом требований ГОСТ Р 52565-2006 [44, п. 6.3.2], приведенных в 11.1.2, и диапазона задания уставки соответствующего устройства.

При отсутствии специальных требований и при применении выключателей с исправными цепями автоматического снятия команды отключения значение уставки **«Тоткл имп»** рекомендуется принимать в диапазоне:

$$\text{Тоткл имп} = 2{,}0 - 4{,}0[\text{с}] \tag{11.8}$$

При выборе окончательных значений уставок для всех устройств рекомендуется обеспечить согласование уставок возврата команды отключения и максимальной длительности импульса на отключение:

$$\text{Трпо} < \text{Тоткл имп} \tag{11.9}$$

Значение уставки **«Тэм»** следует выбирать по условию отстройки от нормальной длительности протекания тока в цепях электромагнитов управления при исправном выключателе и исправных цепях управления:

$$\text{Тэм} \ge \text{макс}(t_{\text{вкл.макс}} + \text{Трпв}; t_{\text{откл.макс}} + \text{Трпо}) + t_{\text{зап}}\ [\text{с}] \tag{11.10}$$

где

$t_{\text{вкл.макс}}$ с максимальное время от подачи команды включения до формирования сигнала **«РПВ»**

$t_{\text{откл.макс}}$ с максимальное время от подачи команды отключения до формирования сигнала **«РПО»**

$t_{\text{зап}}$ с время запаса, принимаемое равным 0,3–0,5 с.

При выборе значений $t_{\text{вкл.макс}}$ и $t_{\text{откл.макс}}$ в первую очередь следует использовать паспортные данные выключателя, привода, электромагнитов управления, а также данные испытаний или ПНР, полученные по осциллограммам либо журналам устройства. При наличии данных о времени от подачи команды до изменения положения выключателя значения $t_{\text{вкл.макс}}$ и $t_{\text{откл.макс}}$ следует принимать соответственно равными максимальному времени от подачи команды включения до формирования сигнала **«РПВ»** и максимальному времени от подачи команды отключения до формирования сигнала **«РПО»**.

При отсутствии указанных данных допускается использовать справочные и каталожные значения времени включения, собственного времени отключения и полного времени отключения выключателей. Для современных выключателей напряжением 6–35 кВ указанные значения, как правило, составляют десятые и сотые доли секунды: время включения — порядка

0,03–0,15 с, собственное время отключения — порядка 0,02–0,04 с, полное время отключения — порядка 0,04–0,07 с [6]. Указанные значения следует применять только как ориентировочные; окончательный выбор должен выполняться по данным конкретного выключателя.

При отсутствии специальных требований, а также если по условию (11.10) не требуется принимать большее значение уставки, значение уставки **«Тэм»** допускается принимать по типовому диапазону, обеспечивающему отстройку от нормальной длительности протекания тока в цепях электромагнитов управления выключателей 6–35 кВ с учетом времени запаса 0,3–0,5 с:

$$\text{Тэм} = 1{,}0 - 1{,}5\ [\text{с}] \tag{11.11}$$

Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** при использовании контроля тока электромагнитов управления дополнительно рекомендуется обеспечить выполнение условия:

$$\text{макс}(\text{Трпв}; \text{Трпо}) < \text{Тэм} < \text{мин}(\text{Твкл имп}; \text{Тоткл имп}) \tag{11.12}$$

Для устройства **«Лютик»** проверку следует выполнять по условиям (11.4) и (11.9), так как уставка **«Тэм»** в устройстве не предусмотрена.

При принятии значения уставки **«Тэм»**, превышающего рекомендуемый диапазон по (11.11), значения уставок **«Твкл имп»** и **«Тоткл имп»** следует выбирать больше **«Тэм»** с учетом условий (11.5) и (11.12).

Для устройства **«Алтей-01»** значение уставки **«Iуров откл»** следует выбирать при введенном контроле тока через выключатель для сигнала **«ОТКЛ от УРОВ»**. Указанный контроль выполняется по превышению максимальным из действующих значений фазных токов значения уставки **«Iуров откл»** и предназначен для подтверждения наличия тока через выключатель при приеме команды отключения от схемы УРОВ; значение уставки следует выбирать по условию надежной фиксации минимального тока, протекающего через выключатель при приеме указанной команды, и надежного возврата при отсутствии тока через выключатель. Выбор уставки **«Iуров откл»** следует выполнять по аналогии с выбором уставки токового органа УРОВ **«Iуров»** по 7.2.2.

При отсутствии специальных требований допускается принимать значение уставки **«Iуров откл»** равным значению уставки **«Iуров»**, выбранной по 7.2.2, если указанное значение обеспечивает надежную фиксацию минимального тока, протекающего через выключатель при срабатывании УРОВ нижестоящего выключателя:

$$\text{Iуров откл} = I_{\text{уров}}\ [\text{А}] \tag{11.13}$$

где

$I_{\text{уров}}$ А значение уставки токового органа УРОВ, выбираемое по 7.2.2

Расчет значения уставки **«Iуров откл»** следует выполнять в первичных величинах. Перед заданием уставки в устройстве полученное расчетное значение должно быть приведено ко вторичным величинам в соответствии с 2.1, с учетом коэффициентов трансформации ТТ.

11.3 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОВТОРНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ

11.3.1 Общие сведения

Автоматическое повторное включение (АПВ) предназначено для восстановления питания потребителей, межсистемных и внутрисистемных связей путем автоматического включения выключателей, отключенных устройствами релейной защиты. Согласно ПУЭ [100, п. 3.3.2] устройства АПВ следует предусматривать, как правило, на воздушных и смешанных кабельно-воздушных линиях напряжением выше 1 кВ, а также на шинах, трансформаторах и ответственных электродвигателях в случаях, когда применение АПВ повышает надежность электроснабжения и устойчивость работы энергосистемы.

Применение АПВ основано на том, что значительная часть отключений присоединений, прежде всего воздушных линий, вызывается неустойчивыми повреждениями, самоустраняющимися после снятия напряжения. После отключения поврежденного элемента и выдержки бестоковой паузы изоляционные свойства среды в месте повреждения могут восстановиться, вследствие чего повторное включение оказывается успешным. При устойчивом повреждении повторное включение является неуспешным, и присоединение повторно отключается действием релейной защиты [13, 16].

В настоящем разделе рассматривается выбор уставок АПВ, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**. В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** предусмотрено двухкратное АПВ линии и однократное АПВ шин. В устройствах **«Алтей-**

01» и **«Лютик-Плюс»** предусмотрено до четырех циклов АПВ линии и однократное АПВ шин. В устройстве **«Лютик»** предусмотрено двухкратное АПВ линии; АПВ шин в устройстве **«Лютик»** не рассматривается.

Алгоритм **«Подготовка АПВ»** отвечает за формирование признака готовности АПВ: контроль исходного состояния выключателя, выдержку готовности, разрешающие условия и сброс готовности при запрещающих воздействиях. Алгоритм **«АПВ»** использует уже сформированную готовность и выполняет собственно цикл повторного включения: отсчет выдержек соответствующих циклов, контроль условий включения и формирование команды включения.

Выбор выдержек времени АПВ следует выполнять с учетом назначения присоединения, вида первичного оборудования, типа выключателя и его привода, состава действующих защит, схемы питания, наличия двигательной нагрузки и требований к согласованию с другими устройствами автоматики. Основными расчетными условиями выбора выдержек времени АПВ являются обеспечение готовности привода выключателя к повторному включению, восстановление изоляционных свойств среды в месте повреждения, соблюдение нормированной бестоковой паузы выключателя при АПВ по ГОСТ [44, п. 6.6.1.5], а также согласование с действием защит и автоматики смежных элементов.

При применении АПВ на линиях с двусторонним питанием, на шинах, а также на присоединениях, питающих узлы нагрузки с синхронными электродвигателями, выбор уставок следует выполнять с учетом дополнительных условий, приведенных соответственно в 11.3.5, 11.3.6, 11.3.8.

Основные параметры алгоритмов **«Подготовка АПВ»** и **«Автоматическое повторное включение»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 11.12.

Таблица 11.12. Алгоритмы «Подготовка АПВ» и «Автоматическое повторное включение»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество циклов АПВ линии	2	4	4	2	2
Количество циклов АПВ шин	–	1	1	1	1
АПВ с контролем наличия напряжения	–	+	+	+	+
Слепое АПВ	+	+	+	+	+
АПВ с контролем наличия напряжения на шинах	–	+	+	+	+
АПВ с контролем наличия напряжения на шинах и линии	–	+	+	+	+
АПВ линии / АПВ шин	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.13.

Таблица 11.13. Уставки алгоритмов «Подготовка АПВ» и «Автоматическое повторное включение» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Подготовка АПВ, Автоматическое повторное включение							
Тапв гот	с	12	1	60	0,01	-	Время готовности АПВ
Тапв л1	с	0,3	0,3	60	0,01	-	Задержка первого цикла АПВ линии
Тапв л2	с	2	1	600	0,01	-	Задержка второго цикла АПВ линии
Тапв ш	с	0,3	0,3	60	0,01	-	Задержка АПВ шин

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.14.

Таблица 11.14. Уставки алгоритма «Подготовка АПВ» и «Автоматическое повторное включение» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА	ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
	Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Подготовка АПВ, Автоматическое повторное включение						

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Тапв гот	с	12	1	60	0,01	-	Время готовности АПВ
Тапв л1	с	0,3	0,3	60	0,01	-	Задержка первого цикла АПВ линии
Тапв л2	с	2	1	600	0,01	-	Задержка второго цикла АПВ линии
Тапв л3	с	2	1	600	0,01	-	Задержка третьего цикла АПВ линии
Тапв л4	с	2	1	600	0,01	-	Задержка четвертого цикла АПВ линии
Тапв ш	с	0,3	0,3	60	0,01	-	Задержка АПВ шин
Тапв контроль	с	120	1	600	1	-	Длительность контроля успешности АПВ после срабатывания

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 11.15.

Таблица 11.15. Уставки алгоритма «Автоматическое повторное включение» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Автоматическое повторное включение							
Тапв 1	с	0,3	0,2	60	0,01	-	Задержка первого цикла АПВ линии
Тапв 2	с	20	1	180	0,01	-	Задержка второго цикла АПВ линии
Тапв гот	с	12	1	60	0,01	-	Время готовности АПВ

11.3.2 Расчет уставок первого цикла АПВ и времени готовности АПВ для линий с односторонним питанием

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставки первого цикла АПВ линии **«Тапв л1»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** и уставки **«Тапв 1»** для устройства **«Лютик»**. Уставка **«Тапв гот»** определяет время готовности АПВ к действию после включения выключателя и выбирается отдельно от выдержек времени циклов АПВ.

Значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) по условию обеспечения готовности привода отключившегося выключателя к повторному включению следует определять по формуле [12, 16, 100, п. 3.3.7]:

$$\text{Тапв л1 (Тапв 1)} = t_{\text{гот.прив}} + t_{\text{зап.прив}} \text{ [с]} \quad (11.14)$$

где

$t_{\text{гот.прив}}$ с — время готовности привода выключателя[1] к действию на включение после отключения, т.е. интервал, необходимый для восстановления работоспособного положения элементов механизма и обеспечения возможности передачи включающего усилия подвижным частям выключателя. Принимается по данным завода-изготовителя и, согласно [12], для масляных выключателей обычно составляет 0,1–0,2 с, а в неблагоприятных условиях может достигать 0,3–0,4 с. В общем случае для различных типов приводов данное значение ориентировочно может приниматься в пределах 0,1–2,0 с.

$t_{\text{зап.прив}}$ с — время запаса, учитывающее непостоянство $t_{\text{гот.прив}}$, принимается в диапазоне 0,3–0,5 с

Значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) по условию обеспечения успешного повторного включения линии следует выбирать с учетом полного гашения дуги и восстановления изоляционных свойств среды в месте КЗ. Условие выбора уставки имеет вид [12, 16, 98, 100, п. 3.3.7]:

$$\text{Тапв л1 (Тапв 1)} = t_{\text{д}} + t_{\text{зап.д}} \text{ [с]} \quad (11.15)$$

где

$t_{\text{д}}$ с — ориентировочное значение времени деионизации открытого дугового промежутка в месте КЗ (на воздушной линии, гирлянде изоляторов и т.п.) после отключения дуги, зависящее от класса напряжения, длины и

[1] Не следует отождествлять время готовности привода к действию на включение после отключения со временем завода включающей пружины привода: первое характеризует восстановление положения механизмов после отключения, тогда как второе определяет длительность накопления энергии в приводе, за счет которой при последующем действии осуществляется включение выключателя (энергией взведенной пружины включения).

формы дугового канала, условий его охлаждения (возможности перемещения дуги, наличия ветра) и длительности предшествующего горения дуги.

$t_{зап.д}$ с время запаса, учитывающее непостоянство $t_д$, принимается в диапазоне 0,3–0,5 с

При отсутствии специальных расчетных данных значение $t_д$ допускается принимать равным 0,20–0,40 с. Указанный диапазон является консервативным расчетным значением и соответствует данным [18], согласно которым для деионизации остаточного столба дуги после отключения от источника питания достаточно 0,2–0,4 с. При выборе значения из верхней части диапазона следует учитывать условия охлаждения дугового канала и длительность горения дуги перед отключением, поскольку при ограниченном перемещении дуги увеличение времени ее горения приводит к образованию зоны раскаленного воздуха, затрудняющей деионизацию.

При отсутствии специальных требований и дополнительных ограничений наименьшее значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) для линии с односторонним питанием, как правило, следует принимать в диапазоне 0,3–0,5 с [12].

Дополнительно при выборе значения уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) следует учитывать нормированную бестоковую паузу при АПВ $t_{бт}$ выключателя в соответствии с ГОСТ [44, п. 6.6.1.5], то есть фактическая бестоковая пауза в цикле однократного АПВ «О – **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) – ВО» не должна быть меньше:

$$Тапв\ л1\ (Тапв\ 1) \geq t_{бт}\ [с] \qquad (11.16)$$

где

$t_{бт}$ с нормированная бестоковая пауза[1], принимаемая по данным завода-изготовителя выключателя и (или) по нормированным коммутационным циклам, установленным ГОСТ [44, п. 6.6.1.5]. Для выключателей, для которых в РЭ или ТУ нормирован цикл АПВ с бестоковой паузой 0,3 с, значение $t_{бт}$ следует принимать равным 0,3 с

Окончательное значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (11.14)–(11.16).

Согласно ПУЭ [100, п. 3.3.4] с целью повышения эффективности трехфазного АПВ однократного действия допускается увеличивать его выдержку времени, по возможности с учетом работы потребителя. Для повышения надежности действия АПВ на линиях, где наиболее частыми повреждениями являются набросы проводов, последствия падения деревьев и касания проводов передвижными механизмами, выдержку времени **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) целесообразно увеличивать до 2–3 с [12]. Увеличение выдержки времени также может быть обосновано при неблагоприятных условиях деионизации дугового промежутка и увеличенной длительности горения дуги перед отключением, поскольку в таких условиях возрастает время восстановления электрической прочности промежутка [18]. При преобладании бытовой нагрузки либо двигательной нагрузки, не допускающей самозапуска и снабженной защитой минимального напряжения, выдержку времени **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) допускается увеличивать до 3–5 с при условии, что это не противоречит требованиям к допустимой длительности перерыва электроснабжения потребителей и условиям технологического процесса [16].

Значение уставки **«Тапв гот»** следует выбирать по условию исключения повторного пуска АПВ от того же устойчивого короткого замыкания до повторного отключения выключателя релейной защитой. Уставка **«Тапв гот»** должна быть больше времени повторного отключения выключателя защитами при неуспешном АПВ [12, 16, 161, 162]:

$$Тапв\ гот = t_{защ} + t_{откл} + t_{зап}\ [с] \qquad (11.17)$$

где

$t_{защ}$ с наибольшая из выдержек времени защит, действующих на отключение данного выключателя в режиме повторного включения на устойчивое КЗ

$t_{откл}$ с время отключения выключателя

$t_{зап}$ с время запаса, принимается в диапазоне 0,3–0,5 с

Такое значение уставки **«Тапв гот»** обеспечивает, что при повторном возникновении устойчивого КЗ после неуспешного АПВ выключатель будет вновь отключен релейной защитой раньше, чем функция АПВ станет готова к новому действию.

При отсутствии дополнительных ограничений по условиям работы выключателя и схемы АПВ значение уставки **«Тапв гот»** допускается ориентировочно принимать равным выдержке готовности устройств АПВ на реле РПВ-58, определяемой временем заряда конденсатора, в диапазоне [12, 16]:

$$Тапв\ гот = 15 - 25\ [с] \qquad (11.18)$$

[1] Согласно ГОСТ [44, п. 6.6.1.5] коммутационная способность выключателей, предназначенных для работы при АПВ, обеспечивается при бестоковых паузах, равных или больших $t_{бт}$

Дополнительно при выборе значения уставки **«Тапв гот»** следует учитывать нормированные коммутационные циклы выключателя по ГОСТ [44, п. 6.6.1.5]. Для выключателей, предназначенных для работы при АПВ, в ГОСТ нормируются циклы, включающие повторное включение после отключения, в том числе цикл 1а: «О – $t_{бт}$ – ВО – 20 с – ВО». При этом для выключателей с пружинными приводами согласно ГОСТ [44, п. 6.6.1.5, прим. 4] допускается вместо паузы 20 с в цикле 1а нормировать паузу, увеличенную до значения, равного времени завода пружин привода выключателя.

С учетом указанного при выборе уставки **«Тапв гот»** следует дополнительно выполнять условие:

$$Тапв\ гот \geq t_{пауза.цикл}\ [с] \quad (11.19)$$

где

$t_{пауза.цикл}$ – с – минимальный допустимый интервал между повторными операциями включения выключателя в цикле АПВ, принимаемый по данным завода-изготовителя и (или) по нормированным коммутационным циклам, установленным ГОСТ [44, п. 6.6.1.5]. Для выключателей, предназначенных для работы по циклу 1а с паузой 20 с, при отсутствии специальных указаний завода-изготовителя допускается принимать $t_{пауза.цикл}$ = 20 с. Для выключателей с пружинными приводами, у которых согласно документации вместо паузы 20 с нормируется пауза, равная времени завода пружин, значение $t_{пауза.цикл}$ принимается не менее указанного времени завода пружин[1] [44, п. 6.6.1.5, прим. 4]

Окончательное значение уставки **«Тапв гот»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (11.17)–(11.19).

При эксплуатации линий в районах, где под воздействием сильного ветра, гололеда, налипаний и других факторов возможны частые повторяющиеся КЗ, окончательное значение уставки **«Тапв гот»** при необходимости допускается увеличивать для ограничения частоты повторных пусков АПВ и снижения числа коммутационных операций выключателя с ограниченным ресурсом [16]. В таких случаях при отсутствии дополнительных ограничений по условиям работы оборудования ориентировочное значение уставки **«Тапв гот»** допускается принимать равным 50–60 с.

11.3.3 Расчет уставок второго и последующих циклов АПВ для линий с односторонним питанием

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставки второго цикла АПВ линии **«Тапв л2»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** и уставки **«Тапв 2»** для устройства **«Лютик»**. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при необходимости дополнительно рассматривается расчет уставок третьего и четвертого циклов АПВ линии **«Тапв л3»** и **«Тапв л4»**.

Пуск второго цикла АПВ выполняется после неуспешного первого цикла АПВ. Увеличенная выдержка времени второго цикла АПВ необходима для обеспечения готовности выключателя к последующему отключению при повторном включении на устойчивое повреждение, а также для соблюдения нормированных коммутационных циклов выключателя [12, 16, 44, п. 6.6.1.5, 100, п. 3.3.6].

Значение уставки **«Тапв л2»** (**«Тапв 2»**) следует выбирать по условию обеспечения минимально допустимой паузы перед вторым повторным включением:

$$Тапв\ л2 \geq макс\left(t_{мин.АПВ2}; t_{пауза.цикл}\right)\ [с] \quad (11.20)$$

где

$t_{мин.АПВ2}$ – с – минимальная выдержка времени второго цикла трехфазного АПВ, принимаемая согласно [100, п. 3.3.6] в диапазоне 15–20 с

$t_{пауза.цикл}$ – с – минимальный допустимый интервал между отключением выключателя после первого неуспешного АПВ и последующей операцией включения во втором цикле АПВ, принимаемый по данным завода-изготовителя выключателя и (или) по нормированным коммутационным циклам, установленным ГОСТ [44, п. 6.6.1.5]

Для выключателей, для которых в документации завода-изготовителя нормирован цикл 1а «О – $t_{бт}$ – ВО – 20 с – ВО», при отсутствии специальных указаний допускается принимать:

$$t_{пауза.цикл} = 20\ [с] \quad (11.21)$$

[1] Например, для выключателя ВВУ-СЭЩ-П3-10 с пружинным приводом в РЭ нормирован коммутационный цикл О – 0,3 с – ВО – 20 с – ВО [25]. Поэтому при выборе уставки **«Тапв гот»** по условию соблюдения нормированного коммутационного цикла выключателя значение данной уставки следует принимать не менее 20 с. Указанное значение относится к ограничению по коммутационному циклу выключателя, а не используется для определения времени готовности привода $t_{гот.прив}$ по формуле (11.14)

Для выключателей с пружинными приводами, у которых согласно документации завода-изготовителя вместо паузы 20 с нормируется пауза, равная времени завода пружин привода выключателя, значение $t_{пауза.цикл}$ следует принимать не менее указанного времени завода пружин.

Для выключателей, испытываемых по нормированным циклам 1 или 2 с паузой 180 с в составе последовательностей «О – $t_{бт}$ – ВО – 180 с – ВО» и «О – 180 с – ВО – 180 с – ВО», значение $t_{пауза.цикл}$ следует принимать равным 180 с, если иное значение не установлено документацией завода-изготовителя.

Окончательное значение уставки **«Тапв л2»** (**«Тапв 2»**) следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условию (11.20), с учетом данных завода-изготовителя выключателя и нормированных коммутационных циклов по ГОСТ [44, п. 6.6.1.5].

При необходимости применения третьего и четвертого циклов АПВ на линиях с односторонним питанием значения уставок **«Тапв л3»** и **«Тапв л4»** для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует выбирать по условию восстановления готовности выключателя к последующим коммутационным операциям и снижения вероятности повторного включения на сохраняющееся повреждение.

Значение уставки последующего цикла АПВ линии следует определять по условию:

$$Тапв\ лk \geq макс(t_{мин.АПВk}; t_{пауза.цикл.k})\ [с] \quad (11.22)$$

где

k – номер цикла АПВ, принимаемый равным 3 или 4

$t_{мин.АПВk}$ с минимальная выдержка времени соответствующего последующего цикла АПВ, принимаемая по требованиям организации, условиям эксплуатации линии и рекомендациям по применению многократного АПВ

$t_{пауза.цикл.k}$ с минимальный допустимый интервал перед соответствующей повторной операцией включения выключателя для k-го цикла АПВ, принимаемый по данным завода-изготовителя выключателя и (или) по нормированным коммутационным циклам, установленным ГОСТ [44, п. 6.6.1.5]

При отсутствии специальных требований и ограничений по условиям работы выключателя значение уставки **«Тапв л3»** рекомендуется принимать не менее [16]:

$$Тапв\ л3 \geq 60\ [с] \quad (11.23)$$

При этом выдержку времени третьего цикла АПВ обычно выбирают в диапазоне [16, 98]:

$$Тапв\ л3 = 60 - 120\ [с] \quad (11.24)$$

Значение уставки **«Тапв л4»** при необходимости применения четвертого цикла АПВ следует выбирать по данным завода-изготовителя выключателя, допустимому числу коммутационных операций и условиям эксплуатации линии. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тапв л4»** следует принимать не меньше значения, принятого для третьего цикла АПВ:

$$Тапв\ л4 \geq Тапв\ л3\ [с] \quad (11.25)$$

Применение третьего и четвертого циклов АПВ должно быть обосновано условиями эксплуатации линии. На линиях, где преобладают повреждения, сохраняющиеся после первого и второго циклов АПВ, а также при ограниченном коммутационном ресурсе выключателя, ввод последующих циклов АПВ должен рассматриваться отдельно. При отсутствии такого обоснования для линий с односторонним питанием, как правило, достаточно одного или двух циклов АПВ.

11.3.4 Расчет уставок первого цикла АПВ для линий с выделенной нагрузкой

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставки первого цикла АПВ линии **«Тапв л1»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** и уставки **«Тапв 1»** для устройства **«Лютик»** при применении АПВ линии связи с выделенной нагрузкой.

АПВ линии с выделенной нагрузкой применяется в распределительных сетях с местной электростанцией относительно небольшой мощности, работающей параллельно с энергосистемой, когда большая часть нагрузки района питается от энергосистемы по линии связи Л1, как показано на рисунке 11.1. При отключении линии связи местная электростанция отделяется от энергосистемы с дефицитом мощности, что может привести к опасному снижению частоты и напряжения и расстройству работы потребителей, в том числе механизмов собственных нужд электростанции [163].

Для предотвращения развития указанного режима АПВ линии связи следует применять совместно с делительной защитой ДЗН, установленной на одном из элементов связи генераторов местной электростанции с энергосистемой и обеспечивающей отделение местной электростанции с выделенной нагрузкой от энергосистемы перед повторным включением линии связи.

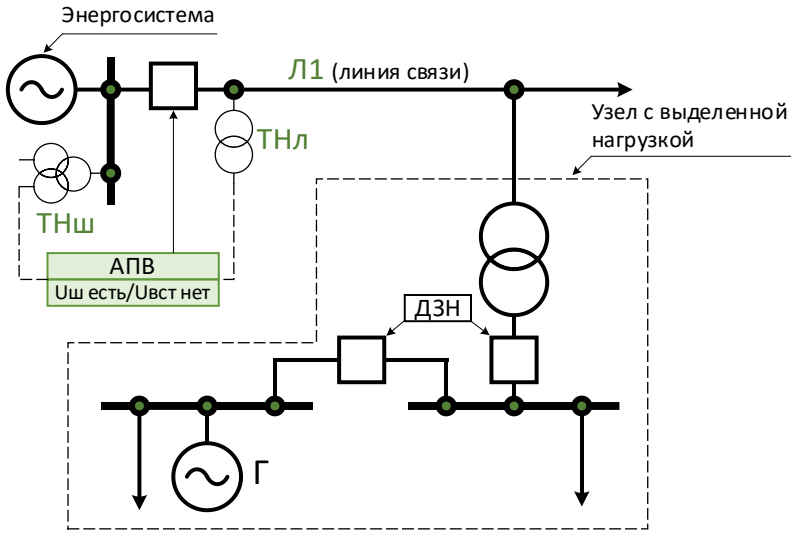


Рисунок 11.1. Схема участка распределительной сети с местной электростанцией, работающей параллельно с энергосистемой по линии связи Л1 (АПВ линии с выделенной нагрузкой)

Значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) по условию ожидания предварительного действия делительной защиты на стороне выделенной нагрузки (ДЗН на рисунке 11.1) следует определять по формуле [163]:

$$\text{Тапв л1 (Тапв 1)} \geq t_{\text{дзн}} + t_{\text{зап.дзн}} \text{ [с]} \quad (11.26)$$

где

$t_{\text{дзн}}$ с наибольшая выдержка времени действия делительной защиты на стороне выделенной нагрузки, обеспечивающей отделение местной электростанции от энергосистемы до повторного включения линии связи (ДЗН на рисунке 11.1)

$t_{\text{зап.дзн}}$ с время запаса, учитывающее разброс времени действия делительной защиты, выключателя и устройства АПВ; принимается равным 0,5–0,7 с [163]

Окончательное значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) по условию (11.26) следует выбирать для схем, в которых отсчет выдержки времени первого цикла АПВ начинается до подтверждения отсутствия напряжения со стороны линии. В этом случае окончательное значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (11.14)–(11.16) и (11.26).

При применении в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** режима АПВ линии с контролем наличия напряжения на шинах и отсутствия напряжения на линии условие предварительного действия ДЗН обеспечивается логикой формирования разрешающего сигнала **«Uш есть/Uвст нет»**. В этом случае значение уставки **«Тапв л1»** следует выбирать по условиям (11.14)–(11.16).

Для предотвращения опасного несинхронного включения энергосистемы и местной электростанции по линии связи при отказе делительной защиты и (или) отказе отключения выключателя связи АПВ линии рекомендуется выполнять с контролем отсутствия напряжения со стороны линии [162]. Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** указанному условию соответствует режим АПВ линии с контролем наличия напряжения на шинах и отсутствия напряжения на линии. Логический сигнал **«Uш есть/Uвст нет»**, показанный под блоком АПВ на рисунке 11.1, формируется при наличии напряжения на шинах подстанции и одновременном отсутствии напряжения со стороны линии.

Расчет уставки контроля отсутствия напряжения со стороны линии **«Uвст мин»** следует выполнять по формуле (2.34).

В устройстве **«Лютик»** режим АПВ с контролем отсутствия напряжения со стороны линии не предусмотрен. Поэтому при применении устройства **«Лютик»** в указанной схеме предотвращение несинхронного включения должно обеспечиваться внешними блокировками, исключающими подачу команды включения при наличии напряжения со стороны выделенной нагрузки, либо АПВ линии должно выводиться из работы при возможности сохранения напряжения со стороны выделенной нагрузки.

11.3.5 Расчет уставок однократного АПВ для линий с двусторонним питанием и замкнутых линий с одним источником питания

АПВ линий с двусторонним питанием имеет ряд особенностей, обусловленных наличием источников питания на обоих концах линии. Первая особенность заключается в том, что повторное включение должно выполняться только после полного отключения линии с обеих сторон, что необходимо для снятия напряжения в месте повреждения и обеспечения деионизации воздушного промежутка [13, 16]. Аналогичное условие учитывается для замкнутых линий с одним источником питания, так как поврежденная линия в замкнутой сети может оставаться под напряжением до отключения с обеих сторон [162, 163].

Схемы, к которым относятся рассматриваемые условия выбора уставок, показаны на рисунке 11.2. При наличии трех и более связей между частями энергосистемы с близкой пропускной способностью допускается применение простых схем АПВ, аналогичных схемам АПВ линий с односторонним питанием, если расчетом подтверждена допустимость повторного включения без контроля синхронизма [13, 16]. Если две части энергосистемы соединены единственной линией, по которой передается активная мощность, как показано на рисунке 11.2, б, каждое отключение этой линии приводит к несинхронной работе разделившихся частей энергосистемы; в этом случае АПВ следует выполнять с проверкой допустимости повторного включения, в том числе с контролем синхронизма при необходимости.

Значение уставки **«Тапв л1»** по условию ожидания отключения линии с противоположного конца и восстановления изоляционных свойств среды в месте КЗ следует выбирать по условию [13, 16]:

$$\text{Тапв л1} \geq t_{\text{защ2}} - t_{\text{защ1}} + t_{\text{откл2}} - t_{\text{откл1}} + t_{\text{д}} - t_{\text{вкл1}} + t_{\text{зап}} \text{ [с]} \quad (11.27)$$

где

$t_{\text{защ1}}, t_{\text{откл1}}, t_{\text{вкл1}}$	с	наименьшие выдержка времени защиты, время отключения и время включения выключателя на своем конце линии, для которого выбирается выдержка времени АПВ
$t_{\text{защ2}}, t_{\text{откл2}}$	с	выдержка времени защиты и время отключения выключателя на противоположном конце линии
$t_{\text{д}}$	с	ориентировочное значение времени деионизации открытого дугового промежутка в месте КЗ после снятия напряжения с поврежденной линии; принимается по 11.3.2
$t_{\text{зап}}$	с	время запаса, учитывающее разброс указанных времен, принимается в диапазоне 0,3–0,7 с

Принимая с целью упрощения $t_{\text{откл1}} = t_{\text{откл2}}$ и $t_{\text{защ1}} = 0$, выражение (11.27) принимает вид:

$$\text{Тапв л1} \geq t_{\text{защ2}} + t_{\text{д}} - t_{\text{вкл1}} + t_{\text{зап}} \text{ [с]} \quad (11.28)$$

Если вторая ступень защиты не обеспечивает достаточной надежности при повреждениях в конце рассматриваемой линии, в выражения (11.27) и (11.28) следует подставлять выдержку времени третьей ступени защиты.

Окончательное значение уставки **«Тапв л1»** для линии с двусторонним питанием или замкнутой линии с одним источником питания следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (11.14)–(11.16), а также по условиям (11.27) или (11.28). Для замкнутой линии с одним источником питания расчет выполняется аналогично, при этом индекс 2 следует относить к противоположному концу поврежденной линии.

В некоторых случаях простая схема АПВ, установленная на одном конце линии, дополняется на другом конце контролем наличия напряжения на линии. При таком решении включение от АПВ на устойчивое КЗ производится только один раз — со стороны, где отсутствует контроль наличия напряжения, тогда как со стороны, где контролируется наличие напряжения на шинах и линии, выключатель включается только в случае, если повреждение устранено и линия, включенная с противоположного конца, остается под напряжением.

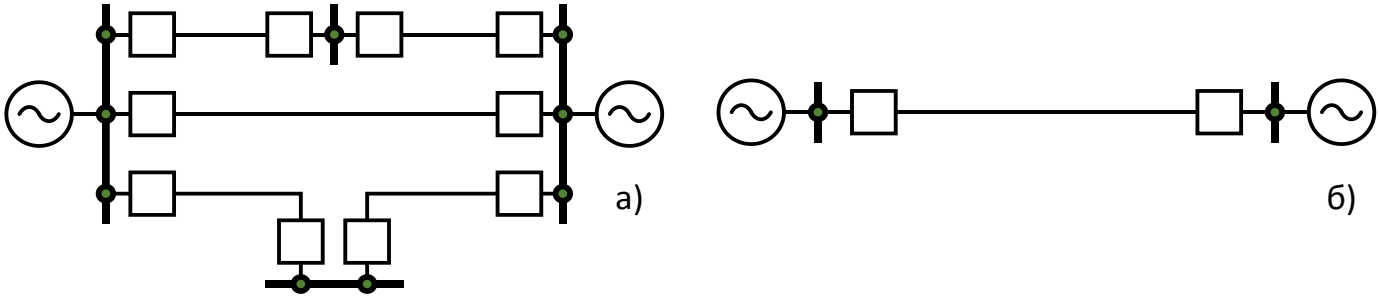


Рисунок 11.2. Схемы связи между частями энергосистемы: а – с тремя линиями; б – с одной линией

Для конца линии, включаемого с контролем наличия напряжения на шинах и линии, значение уставки **«Тапв л1»** следует определять по условиям [13, 16]:

$$\text{Тапв л1} \geq t_{защ2} - t_{защ1} + t_{откл2} - t_{откл1} + t_{зап}\ [\text{с}] \quad (11.29)$$

Принимая с целью упрощения $t_{откл1} = t_{откл2}$ и $t_{защ1} = 0$, выражение (11.29) принимает вид:

$$\text{Тапв л1} \geq t_{защ2} + t_{зап}\ [\text{с}] \quad (11.30)$$

где обозначения такие же, как в (11.27)

Для устройства **«Лютик»** при реализации указанных условий внешними устройствами либо схемными решениями в формулах (11.27)–(11.30) вместо уставки **«Тапв л1»** используется уставка **«Тапв 1»**.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** для АПВ линии могут использоваться режимы без контроля напряжений, с контролем наличия напряжения на шинах, с контролем наличия напряжения на шинах и линии, а также с контролем синхронизма. Логические сигналы **«Uш есть/Uвст нет»** и **«Uш есть/Uвст есть»**, используемые при формировании разрешения АПВ линии, следует принимать по логике алгоритмов **«КЭП»**, **«Подготовка АПВ»** и **«Включение выключателя»** соответствующего устройства. Уставки контроля наличия и отсутствия напряжения следует выбирать по 2.2.2.

При применении АПВ линии с контролем синхронизма уставки **«КС dU»**, **«КС df»**, **«КС dФ»**, а также уставки приведения встречного напряжения **«КС kUвст»** и **«КС Фвст»** следует выбирать по 2.2.2. Уставку **«Ткс»** алгоритма **«Включение выключателя»** следует выбирать по 11.1 с учетом требуемой длительности ожидания разрешения на включение по условиям контроля синхронизма напряжений. Если по условиям работы линии требуется специализированное АПВ с длительным ожиданием или улавливанием синхронизма, встроенный контроль синхронизма алгоритма включения не следует рассматривать как самостоятельную замену специализированного устройства АПВ с ожиданием или улавливанием синхронизма.

Для устройства **«Лютик»** при применении в схемах, требующих контроля наличия напряжения на линии или контроля синхронизма, указанные условия должны обеспечиваться внешними устройствами либо схемными решениями, так как встроенная логика АПВ устройства **«Лютик»** не содержит полного набора функций контроля напряжений и синхронизма, предусмотренных в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»**.

11.3.6 Расчет уставок однократного АПВ шин

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставки однократного АПВ шин **«Тапв ш»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»**. В устройстве **«Лютик»** АПВ шин не предусмотрено.

АПВ шин применяется для автоматической подачи напряжения на обесточенную систему или секцию шин после отключения присоединений действием защит шин или ошиновки, а также при необходимости поочередного восстановления схемы распределительного устройства с учетом принятой последовательности и условий включения выключателей.

При применении АПВ шин предварительно следует определить назначение каждого присоединения в схеме автоматического повторного включения. Для присоединений, от которых предусматривается подача напряжения на обесточенную систему или секцию шин, следует применять режим АПВ шин и выполнять расчет уставки **«Тапв ш»**. Для присоединений, для которых предусматривается повторное включение после восстановления напряжения на шинах, следует применять режим АПВ линии и выполнять расчет соответствующих уставок АПВ линии по 11.3.2–11.3.5.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** алгоритм АПВ обеспечивает выполнение АПВ линии и однократного АПВ шин. Для режима АПВ линии в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** используются выдержки времени **«Тапв л1»** и **«Тапв л2»**, в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** – выдержки времени **«Тапв л1»**–**«Тапв л4»**. Для режима АПВ шин в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** используется выдержка времени **«Тапв ш»**. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** режимы АПВ позволяют разделить АПВ линии и АПВ шин, а также задать порядок подключения обесточенных присоединений. Поэтому значение уставки **«Тапв ш»** следует выбирать только для тех присоединений, для которых по принятой схеме восстановления шин задан режим АПВ шин.

Для присоединения, подающего напряжение на обесточенную систему или секцию шин, режим АПВ шин следует выбирать с учетом принятой схемы восстановления шин. При наличии контроля напряжения повторное включение следует выполнять с контролем наличия напряжения со стороны источника питания, а также с контролем отсутствия напряжения на включаемых шинах, если это предусмотрено принятым режимом АПВ. Для присоединений, не используемых для подачи напряжения на обесточенную систему или секцию шин, повторное включение после успешной подачи напряжения на шины следует

выполнять в режиме АПВ линии с контролем наличия напряжения на шинах и, при необходимости, с контролем встречного напряжения или синхронизма.

Значение уставки **«Тапв ш»** по условию обеспечения готовности привода отключившегося выключателя к повторному включению следует определять по формуле, аналогичной (11.14):

$$\text{Тапв ш} = t_{\text{гот.прив}} + t_{\text{зап.прив}} \ [\text{с}] \quad (11.31)$$

где обозначения те же, что и в формуле (11.14)

Значение уставки **«Тапв ш»** по условию восстановления изоляционных свойств среды в месте КЗ на шинах или ошиновке следует определять по формуле, аналогичной (11.15):

$$\text{Тапв ш} = t_{\text{д.ш}} + t_{\text{зап.д}} \ [\text{с}] \quad (11.32)$$

где

$t_{\text{д.ш}}$ с время деионизации среды в месте КЗ на шинах или ошиновке после снятия напряжения

$t_{\text{зап.д}}$ с время запаса, учитывающее непостоянство $t_{\text{д.ш}}$

При отсутствии специальных расчетных данных значение $t_{\text{д.ш}}$ допускается принимать по **11.3.2** аналогично $t_{\text{д}}$.

Дополнительно при выборе значения уставки **«Тапв ш»** следует учитывать нормированную бестоковую паузу при АПВ $t_{\text{бт}}$ выключателя в соответствии с ГОСТ [**44**, п. 6.6.1.5] по формуле, аналогичной (11.16):

$$\text{Тапв ш} \geq t_{\text{бт}} \ [\text{с}] \quad (11.33)$$

где

$t_{\text{бт}}$ – то же, что и в формуле (11.16)

Окончательное значение уставки **«Тапв ш»** для присоединения, подающего напряжение на обесточенную систему или секцию шин, следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (11.31)–(11.33).

Для устройства, установленного на секционном или шиносоединительном выключателе, при использовании однократного АПВ шин для восстановления нормальной схемы после отключения секционного или шиносоединительного выключателя действием делительных защит значение уставки **«Тапв ш»** дополнительно следует проверять по условию ожидания ликвидации повреждения на присоединении данной системы или секции шин резервными защитами противоположных концов линий или резервными защитами трансформаторов:

$$\text{Тапв ш} \geq t_{\text{сз.пк}} + t_{\text{откл.пк}} - \left(t_{\text{сз.дс}} + t_{\text{откл.в}}\right) + t_{\text{д}} - t_{\text{вкл.в}} + t_{\text{зап}} \ [\text{с}] \quad (11.34)$$

где

$t_{\text{сз.пк}}$ с наибольшая выдержка времени резервной защиты противоположного конца линии или резервной защиты трансформатора, присоединенного к данной системе или секции шин

$t_{\text{откл.пк}}$ с время отключения выключателя на противоположном конце линии или выключателя трансформатора

$t_{\text{сз.дс}}$ с выдержка времени делительной защиты, действующей на отключение секционного или шиносоединительного выключателя

$t_{\text{откл.в}}$ с время отключения секционного или шиносоединительного выключателя

$t_{\text{д}}$ с время деионизации среды после снятия напряжения с поврежденного элемента

$t_{\text{вкл.в}}$ с время включения секционного или шиносоединительного выключателя

$t_{\text{зап}}$ с время запаса, принимается в диапазоне 0,5–0,7 с

При $t_{\text{откл.пк}} = t_{\text{откл.в}}$ выражение (11.34) допускается записывать в упрощенном виде:

$$\text{Тапв ш} \geq t_{\text{сз.пк}} - t_{\text{сз.дс}} + t_{\text{д}} - t_{\text{вкл.в}} + t_{\text{зап}} \ [\text{с}] \quad (11.35)$$

В случаях, когда при АПВ используется контроль наличия напряжения на шинах, составляющие $t_{\text{д}}$ и $t_{\text{вкл.в}}$ в выражении (11.35) допускается не учитывать, и условие выбора уставки принимает вид:

$$\text{Тапв ш} \geq t_{\text{сз.пк}} - t_{\text{сз.дс}} + t_{\text{зап}} \ [\text{с}] \quad (11.36)$$

Условие (11.34)–(11.36) следует учитывать только для схем, в которых АПВ шин используется после предварительного деления шин секционным или шиносоединительным выключателем и последующего восстановления нормальной схемы.

Уставки контроля наличия и отсутствия напряжения, а также контроля синхронизма, используемые при АПВ шин и АПВ линии после восстановления напряжения на шинах, следует выбирать в соответствии с разделом **2.2.2**.

При применении внешних устройств защиты шин или ошиновки, формирующих сигналы запрета АПВ либо имеющих уставки запоминания срабатывания, задержки при подаче напряжения или задержки на цикл АПВ, указанные уставки следует

выбирать и согласовывать по РЭ соответствующего устройства защиты шин или ошиновки и принятой схеме защиты. Указанные уставки не заменяют расчет выдержки времени АПВ присоединения **«Тапв ш»**, **«Тапв л1»** или **«Тапв 1»**.

Отдельный расчет уставок АПВ секционного или шиносоединительного выключателя не выполняется. В зависимости от принятой схемы автоматики повторное включение такого выключателя следует относить либо к режиму АПВ шин с расчетом уставки **«Тапв ш»**, либо к режиму АПВ линии с расчетом уставок **«Тапв л1»**–**«Тапв л4»**. Если выключатель является нормально отключенным выключателем резерва, его автоматическое включение следует рассматривать как действие АВР или АВР ПС по разделу 10.

11.3.7 Расчет уставок однократного АПВ линий на реклоузерах вдольтрассовых ВЛ и в пунктах секционирования

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставки первого цикла АПВ линии **«Тапв л1»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** и уставки **«Тапв 1»** для устройства **«Лютик»** при применении реклоузеров на вдольтрассовых ВЛ 6(10) кВ и в пунктах секционирования.

Однократное АПВ реклоузеров вдольтрассовых ВЛ следует рассматривать совместно с автоматическим секционированием, делительной автоматикой минимального напряжения и сетевым АВР по 10.3 [76]. Для пункта секционирования, выполняющего функцию сетевого АВР, расчет уставок **«Uавр пс 1»**, **«Uавр пс 2»**, **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** выполняется по 10.3; настоящий подраздел устанавливает условия выбора выдержки времени АПВ реклоузера или выключателя пункта секционирования.

Для нормально включенных реклоузеров и пунктов секционирования однократное АПВ применяется для проверки характера повреждения и восстановления питания при неустойчивом КЗ. Для нормально отключенного пункта сетевого АВР включение резерва следует выполнять алгоритмом **«АВР ПС»** по 10.3, а не алгоритмом АПВ линии. Если один и тот же выключатель может участвовать как в АПВ линии, так и в сетевом АВР, назначение каждого действия должно быть определено схемой автоматики: АПВ — после отключения данного выключателя защитой, АВР ПС — при исчезновении напряжения с одной из сторон пункта секционирования при наличии условий включения со стороны резервного источника.

В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** для таких схем могут использоваться режимы АПВ линии с контролем наличия напряжения со стороны источника питания и отсутствия встречного напряжения, а также алгоритм **«АВР ПС»** по 10.3. В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** расчет уставки **«Тапв л1»** выполняется аналогично, однако функция АВР ПС в составе устройства не предусмотрена. Для устройства **«Лютик»** уставка **«Тапв 1»** может использоваться только для встроенного АПВ линии; контроль напряжения и условия сетевого АВР должны обеспечиваться внешними устройствами или схемными решениями.

Значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) для реклоузера или пункта секционирования следует выбирать по условиям, приведенным в 11.3.2, с учетом времени готовности привода, восстановления изоляционных свойств среды в месте КЗ и нормированной бестоковой паузы выключателя:

$$\text{Тапв л1 (Тапв 1)} \geq \text{макс}\left(t_{\text{гот.прив}} + t_{\text{зап.прив}}; t_{\text{д}} + t_{\text{зап.д}}; t_{\text{бт}}\right) \text{ [с]} \quad (11.37)$$

где все обозначения по 11.3.2

При выборе значения $t_{\text{гот.прив}}$, $t_{\text{бт}}$ и времени включения реклоузера следует использовать данные завода-изготовителя реклоузера или выключателя пункта секционирования. При отсутствии специальных требований и дополнительных ограничений значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) для однократного АПВ реклоузера допускается принимать в диапазоне, принятом для первого цикла АПВ линии по 11.3.2.

Для реклоузера, установленного в сети с возможностью питания с двух сторон, АПВ должно выполняться при наличии напряжения со стороны источника питания и отсутствии напряжения со стороны включаемого участка [76] либо при ином разрешающем условии, предусмотренном принятой схемой автоматики. Уставки контроля наличия и отсутствия напряжения следует выбирать по 2.2.2. Если возможно включение на участок, находящийся под напряжением от другого источника, дополнительно следует применять контроль встречного напряжения или контроль синхронизма в соответствии с 2.2.2 и 11.1.

При наличии сетевого АВР по 10.3 выдержка времени АПВ реклоузера должна быть согласована с выдержкой времени АВР ПС так, чтобы действие АПВ и повторное отключение при включении на устойчивое КЗ завершились до включения пункта сетевого АВР [76]. Расчетное время неуспешного цикла АПВ реклоузера следует определять по формуле:

$$t_{\text{апв.неусп}} = \text{Тапв л1} + t_{\text{вкл.рекл}} + t_{\text{сз.повт}} + t_{\text{откл.рекл}} \text{ [с]} \quad (11.38)$$

где

$t_{апв.неусп}$ с расчетная длительность неуспешного цикла АПВ реклоузера от начала отсчета выдержки времени **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) до повторного отключения при включении на устойчивое КЗ

$t_{вкл.рекл}$ с время включения реклоузера или выключателя пункта секционирования

$t_{сз.повт}$ с наибольшая выдержка времени защиты, действующей на отключение данного реклоузера при повторном включении на устойчивое КЗ; при применении ускорения после АПВ принимается выдержка времени ускоренной ступени;

$t_{откл.рекл}$ с время отключения реклоузера или выключателя пункта секционирования

Для устройства **«Лютик»** в формуле (11.38) вместо уставки **«Тапв л1»** используется уставка **«Тапв 1»**.

Согласование с АВР ПС следует выполнять по условию:

$$Тавр\ пс\ k \geq t_{апв.неусп} + t_{зап.авр}\ [с] \quad (11.39)$$

где

$Тавр\ пс\ k$ с значение одной из уставок выдержки времени алгоритма **«АВР ПС»**: **«Тавр пс 1»** – при расчете действия АВР ПС со стороны 1, **«Тавр пс 2»** – при расчете действия АВР ПС со стороны 2; указанные уставки выбираются по 10.3

$t_{зап.авр}$ с время запаса между завершением неуспешного цикла АПВ и включением пункта сетевого АВР, принимаемое по условиям селективности и надежного завершения операций автоматики

Условие (11.39) используется для проверки согласования выбранной выдержки времени АПВ реклоузера с уставками **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** и не является условием уменьшения уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**).

Условие (11.39) применимо к пуску АВР ПС по напряжению с выдержками времени **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»**. При введенном пуске АВР ПС по сигналу несоответствия без выдержки времени должно быть исключено преждевременное включение пункта сетевого АВР до завершения неуспешного цикла АПВ реклоузера; при необходимости такой пуск следует выводить или блокировать на время действия АПВ и делительной автоматики.

Если условие (11.39) не выполняется, значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) не следует уменьшать ниже значения, выбранного по условию (11.37). В этом случае должны быть пересмотрены уставки **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** по 10.3, последовательность действия автоматики либо принято иное схемное решение.

В схемах вдольтрассовых ВЛ, работающих по алгоритму «разборка–сборка сети», делительная защита минимального напряжения, отключающая реклоузеры в паузу АПВ перед действием сетевого АВР, должна обеспечивать выделение поврежденного участка и последующую сборку сети до включения пункта сетевого АВР [159]. Значение $t_{змн.апв}$ следует принимать равным уставке времени соответствующей делительной ЗМН реклоузера, используемой в алгоритме «разборка–сборка сети». При выборе $t_{змн.апв}$ должны быть обеспечены надежное выявление отсутствия напряжения, завершение отключения соответствующего реклоузера и согласование с последующим включением реклоузера при сборке сети.

Времена действия защит, отключения, первого и второго циклов АПВ, включения головного выключателя питающей линии, а также значение $t_{змн.апв}$, выбранное по принятой схеме делительной автоматики, следует учитывать при расчете выдержек времени **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** по формуле (10.32).

Окончательное значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) для реклоузера или пункта секционирования следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условию (11.37). После выбора уставки следует выполнить проверку согласования с АВР ПС по (11.39), а при применении алгоритма «разборка–сборка сети» значение $t_{змн.апв}$ следует учитывать при расчете выдержек времени **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** по формуле (10.32). Для нормально отключенного пункта сетевого АВР окончательные значения уставок **«Тавр пс 1»** и **«Тавр пс 2»** следует принимать по 10.3; уставка **«Тапв л1»** для такого выключателя выбирается только в том случае, если по схеме предусмотрено его АПВ после отключения защитой.

11.3.8 Расчет уставок однократного АПВ линий с наличием СД

В настоящем подразделе рассматривается расчет уставки первого цикла АПВ линии **«Тапв л1»** для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** и уставки **«Тапв 1»** для устройства **«Лютик»** при применении АПВ линии, питающей узел нагрузки с синхронными электродвигателями.

При отключении питающей линии от источника питания СД, продолжая вращаться по инерции, переходят в режим синхронного генератора и в течение некоторого времени поддерживают напряжение на шинах узла нагрузки. При КЗ ток в месте повреждения может определяться суммой тока от питающей энергосистемы и тока подпитки от СД. Наличие указанной

подпитки задерживает гашение дуги и восстановление изоляционных свойств среды в месте КЗ, а при сохранении значительного напряжения со стороны СД может привести к несинхронному включению СД при действии АПВ [9, 122, 165].

Для линий с односторонним питанием, питающих узел нагрузки с СД, значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) дополнительно к условиям 11.3.2 следует выбирать по условию прекращения опасной подпитки места повреждения со стороны СД и снижения напряжения со стороны СД до допустимого значения перед повторным включением [122, 165].

$$\text{Тапв л1 (Тапв 1)} \geq t_а + t_{сн} + t_д + t_{зап} \text{ [с]} \quad (11.40)$$

где

$t_а$ с полное время действия специальной автоматики, обеспечивающей прекращение опасной подпитки места повреждения со стороны узла с СД путем отключения СД, отключения элемента, связывающего узел с СД и поврежденную линию, или гашения поля СД. При действии автоматики на отключение СД или отключение элемента, связывающего узел с СД и поврежденную линию, принимается равным сумме выдержки времени соответствующего устройства автоматики, времени действия промежуточных цепей и времени отключения выключателя. При действии автоматики на гашение поля СД принимается равным полному времени действия устройства гашения поля

$t_{сн}$ с время снижения напряжения со стороны СД после действия указанной автоматики до значения, допустимого по условиям повторного включения. При наличии расчетных данных определяется по расчету выбега СД и снижения напряжения на шинах узла нагрузки; при отсутствии специальных расчетных данных допускается принимать в диапазоне 0,5–2,0 с [122, 165]

$t_д$ с ориентировочное значение времени деионизации открытого дугового промежутка в месте КЗ после прекращения подпитки со стороны СД; принимается по 11.3.2

$t_{зап}$ с время запаса, учитывающее непостоянство времени действия автоматики, выключателей, устройств гашения поля и процесса снижения напряжения; принимается в диапазоне 0,4–0,5 с

Если действием специальной автоматики выполняется отключение элемента, полностью отделяющего узел с СД от поврежденной линии, и напряжение со стороны СД на линии снимается фактом указанного отключения, значение $t_{сн}$ допускается принимать равным нулю. В остальных случаях $t_{сн}$ следует определять по расчету выбега СД и снижения напряжения либо принимать по ориентировочным данным настоящего подраздела.

Для предотвращения опасного несинхронного включения СД АПВ линии рекомендуется выполнять с контролем отсутствия напряжения со стороны линии или с контролем синхронизма, если такие режимы предусмотрены устройством и схемой вторичных цепей [122, 165]. Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** указанному условию соответствует режим АПВ линии с контролем наличия напряжения на шинах и отсутствия напряжения на линии либо режим АПВ с контролем синхронизма. Уставки контроля наличия и отсутствия напряжения, а также уставки контроля синхронизма следует выбирать по 2.2.2 с учетом допустимого остаточного напряжения со стороны СД и условий 10.1.2.

Применение контроля отсутствия напряжения со стороны линии не заменяет расчет выдержки времени по условию (11.40), поскольку выдержка времени должна обеспечивать прекращение подпитки места повреждения и снижение напряжения со стороны СД до допустимого значения до подачи команды повторного включения [165]. Для устройства **«Лютик»** при необходимости контроля отсутствия напряжения или контроля синхронизма должны применяться внешние цепи разрешения или блокировки АПВ.

Для линий с двусторонним питанием и замкнутых линий с одним источником питания при наличии узла нагрузки с СД следует учитывать, что специальная автоматика, обеспечивающая прекращение подпитки со стороны СД, может подействовать только после полного отключения поврежденной линии со всех питающих сторон [165]. В этом случае значение уставки **«Тапв л1»** дополнительно к условиям 11.3.5 следует выбирать по условию:

$$\text{Тапв л1} \geq t_{откл.пр} + t_а + t_{сн} + t_д + t_{зап} \text{ [с]} \quad (11.41)$$

где

$t_{откл.пр}$ с время отключения поврежденной линии с противоположного конца, отсчитываемое от момента отключения выключателя на конце линии, для которого выбирается выдержка времени АПВ, до момента снятия напряжения с линии со стороны противоположного конца

Значение $t_{откл.пр}$ следует определять как интервал времени от момента отключения выключателя на конце линии, для которого выбирается выдержка времени АПВ, до момента полного отключения поврежденной линии с противоположного конца. Если противоположный конец линии отключается раньше или одновременно с концом линии, для которого выбирается выдержка времени АПВ, значение $t_{откл.пр}$ следует принимать равным нулю.

Принимая с целью упрощения равенство времен отключения выключателей на обоих концах линии и отсутствие выдержки времени защиты на конце линии, для которого выбирается выдержка времени АПВ, значение $t_{откл.пр}$ допускается принимать равным выдержке времени защиты на противоположном конце линии:

$$t_{откл.пр} = t_{защ.2}\ [с] \quad (11.42)$$

где

$t_{защ.2}$ с выдержка времени защиты на противоположном конце линии, после действия которой создаются условия для пуска автоматики прекращения подпитки со стороны узла с СД

Окончательное значение уставки **«Тапв л1»** (**«Тапв 1»**) для линии с односторонним питанием при наличии СД следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям (11.14)–(11.16) и (11.40).

Окончательное значение уставки **«Тапв л1»** для линии с двусторонним питанием или замкнутой линии с одним источником питания при наличии СД следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по условиям **11.3.5** и по условию (11.41).

Если расчетом подтверждено, что при отключении линии СД не создают опасной подпитки места повреждения и повторное включение не приводит к недопустимому несинхронному включению СД, дополнительное условие (11.40) или (11.41) допускается не учитывать. При отсутствии такого подтверждения расчет выдержки времени АПВ следует выполнять с учетом условий настоящего подраздела.

11.3.9 Расчет выдержки времени контроля успешности АПВ

Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставка **«Тапв контроль»** задает длительность контроля успешности цикла АПВ после действия АПВ. Цикл АПВ считается успешным, если после повторного включения выключатель остается во включенном положении в течение времени **«Тапв контроль»**. При повторном отключении выключателя до истечения данной выдержки цикл АПВ считается неуспешным.

Значение уставки **«Тапв контроль»** следует выбирать по условию фиксации неуспешного цикла АПВ при повторном отключении выключателя после действия АПВ, в том числе при повторном включении на устойчивое повреждение:

$$Тапв\ контроль \geq t_{сз.апв.макс} + t_{откл} + t_{зап}\ [с] \quad (11.43)$$

где

$t_{сз.апв.макс}$ с наибольшее время от момента повторного включения выключателя от АПВ до формирования команды отключения защитой или автоматикой при любом из введенных циклов АПВ; повторное отключение выключателя в течение выдержки времени **«Тапв контроль»** должно фиксироваться как неуспешный цикл АПВ

$t_{откл}$ с время отключения выключателя

$t_{зап}$ с время запаса, учитывающее разброс времени действия устройств РЗА, автоматики и выключателя, принимается в диапазоне 0,3–0,5 с

При определении $t_{сз.апв.макс}$ следует учитывать выдержки времени защит и автоматики, которые могут действовать на отключение выключателя после повторного включения от АПВ. При введении ускорения защит при включении выключателя в расчет следует принимать выдержку времени ускоренной ступени; при отсутствии ускорения — наибольшую выдержку времени защиты, способной отключить выключатель после повторного включения.

Окончательное значение уставки **«Тапв контроль»** следует принимать не менее значения, определенного по условию (11.43). При отсутствии специальных требований и исходных данных для уточненного расчета допускается принимать равным 120 с. Уменьшение данного значения допускается при подтверждении, что повторное отключение выключателя защитами и автоматикой после неуспешного АПВ при любом из введенных циклов АПВ будет завершено до истечения принятой выдержки времени с учетом запаса.

12 ДИАГНОСТИКА

Диагностические функции являются одним из средств повышения надежности функционирования РЗА. В соответствии с ПУЭ для повышения надежности при необходимости следует применять непрерывный или периодический контроль состояния устройств РЗА [100, п. 3.2.7]. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** предусмотрены алгоритмы диагностики выключателя и цепей управления, контроля цепей напряжения и контроля цепей тока, состав которых приведен в таблице 12.1.

Таблица 12.1. Алгоритмы диагностики в устройствах «Алтей» и «Лютик»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Диагностика выключателя и цепей управления	+	+	+	+	+
Контроль цепей напряжения	–	+	+	+	+
Контроль цепей тока	–	–	–	+	–

12.1 ДИАГНОСТИКА ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ И ЦЕПЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

12.1.1 Общие сведения

Алгоритм **«Диагностика выключателя и контроль цепей управления»** (КЦУ) предназначен для контроля готовности выключателя к выполнению операций включения и отключения, контроля положения выключателя, контроля исправности цепей управления, контроля выполнения команд включения и отключения, а также формирования обобщенного сигнала неисправности выключателя.

Основные параметры алгоритма **«Диагностика выключателя и цепей управления»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 12.2.

Таблица 12.2. Алгоритм «Диагностика выключателя и цепей управления»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль положения автомата питания	+	+	+	+	+
Контроль завода пружины	+	+	+	+	+
Контроль температуры полюсов	–	+	+	+	+
Контроль положения выключателя по сигналам РПО и РПВ	+	+	+	+	+
Контроль исправности цепей управления	+	+	+	+	+
Контроль цепи второго электромагнита отключения по сигналу РПВ 2	–	+	+	+	+
Контроль выполнения операций включения и отключения выключателя	+	+	+	+	+
Контроль длительности операций включения и отключения выключателя	+	+	+	+	+
Учет сигнала аварийного снижения плотности элегаза выключателя при формировании неисправности выключателя	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.3.

Таблица 12.3. Уставки алгоритма «Диагностика выключателя и цепей управления» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Диагностика выключателя и цепей управления (КЦУ)							
Тав ШП	с	10	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации аварии ШП
Тпруж	с	20	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации отсутствия завода пружины
Ттемп	с	10	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации снижения температуры полюсов
Тнцу	с	10	0	300	0,01	-	Задержка сигнализации неисправности цепей управления

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.4.

Таблица 12.4. Уставки алгоритма «Диагностика выключателя и цепей управления» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Диагностика выключателя и цепей управления (КЦУ)							
Тав ШП	с	10	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации аварии ШП
Тпруж	с	20	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации отсутствия завода пружины
Ттемп	с	10	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации снижения температуры полюсов
Тнцу	с	10	0	300	0,01	-	Задержка сигнализации неисправности цепей управления

Работу алгоритма в устройстве **«Лютик»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.5.

Таблица 12.5. Уставки алгоритма «Диагностика выключателя и цепей управления» для «Лютик»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	ОПИСАНИЕ
Диагностика выключателя и цепей управления (КЦУ)							
Тав ШП	с	10	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации аварии ШП
Тпруж	с	20	0	30	0,01	-	Задержка сигнализации отсутствия завода пружины
Тнцу	с	10	0	60	0,01	-	Задержка сигнализации неисправности цепей управления

12.1.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Тав ШП»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременного появления сигнала отсутствия напряжения на шинке питания цепей управления, дребезга контактов, участвующих в формировании указанного сигнала, и кратковременных провалов напряжения оперативного тока, не требующих формирования сигнала **«Авария ШП»**.

При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тав ШП»** рекомендуется принимать равным 1–3 с. Меньшее значение уставки следует принимать при необходимости ускоренного выявления неисправности питания цепей управления выключателя. Большее значение уставки допускается принимать при наличии кратковременных нарушений напряжения оперативного тока или особенностей работы вспомогательных цепей, приводящих к ложному формированию сигнала **«Авария ШП»**.

Значение уставки **«Тпруж»** следует выбирать по условию отстройки от нормального времени завода включающих пружин привода выключателя после расходования энергии пружины при выполнении операции включения. Уставка **«Тпруж»** должна быть больше времени завода пружин исправного привода, но не должна излишне задерживать формирование сигнала **«Пруж. не заведена»** при неисправности электродвигателя завода пружин, цепей его питания или механизма привода.

Для пружинного привода нормированные характеристики пружин должны указываться в эксплуатационной документации на выключатель, а электродвигатель завода пружин, согласно ГОСТ Р 52565-2006, должен нормально работать в диапазоне напряжений от 0,85 до 1,10 номинального напряжения [44, п. 6.4.5, п. 6.4.6]. Поэтому значение уставки **«Тпруж»** следует выбирать по данным РЭ, паспорта или ТУ на конкретный выключатель.

При наличии данных завода-изготовителя значение уставки **«Тпруж»** следует определять по формуле:

$$Тпруж \geq t_{завод.пруж} + t_{зап}\ [с] \qquad (12.1)$$

где

$t_{завод.пруж}$ с наибольшее время завода включающих пружин привода выключателя, определяемое по РЭ, паспорту или ТУ на выключатель

$t_{зап}$ с время запаса, учитывающее разброс времени завода пружин, изменение параметров привода при эксплуатации, снижение напряжения питания электродвигателя завода пружин в допустимых пределах; при отсутствии уточненных данных допускается принимать 2–5 с

Для вакуумных выключателей с пружинно-моторным приводом, у которых по РЭ время завода включающих пружин не превышает 10 с, значение уставки **«Тпруж»** рекомендуется принимать равным 12–15 с. Например, для выключателя ВВУ-СЭЩ-П3-10 время завода включающих пружин по РЭ составляет не более 10 с [25, табл. 1].

При отсутствии данных завода-изготовителя значение уставки **«Тпруж»** для вакуумных выключателей с пружинным приводом допускается предварительно принимать равным 15–20 с. Принятое значение следует уточнять по результатам наладки и эксплуатации. Для выключателей иных типов значение уставки **«Тпруж»** следует принимать по РЭ, паспорту или ТУ на выключатель; при отсутствии таких данных их следует запросить у завода-изготовителя.

Значение уставки **«Ттемп»** следует принимать минимально достаточным, обеспечивающим отстройку от дребезга контактов температурных датчиков и возможных кратковременных ложных воздействий в цепи логического входа **«Т полюсов»**. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Ттемп»** рекомендуется принимать в диапазоне 1–3 с.

Значение уставки **«Тнцу»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных переходных состояний входных логических сигналов **«РПО»** и **«РПВ»**, по состоянию которых алгоритм КЦУ формирует сигналы включенного и отключенного положения выключателя. Уставка должна исключать формирование сигнала **«Неиспр. ЦУ»** при кратковременном совпадении состояний указанных входных логических сигналов, обусловленном переключением цепей положения выключателя, дребезгом контактов, разновременностью изменения состояний цепей включенного и отключенного положения, а также возможным кратковременным самоустранением нарушения в цепях управления.

При исправных цепях управления и установившемся положении выключателя входные логические сигналы **«РПО»** и **«РПВ»** должны иметь взаимоисключающие состояния. Одновременное наличие либо одновременное отсутствие указанных сигналов в течение времени, превышающего значение уставки **«Тнцу»**, рассматривается алгоритмом как неисправность цепей управления выключателем.

При отсутствии уточненных данных по выключателю, цепям положения выключателя и результатам наладки значение уставки **«Тнцу»** рекомендуется принимать в диапазоне 1–3 с.

При наличии данных завода-изготовителя выключателя или результатов наладки значение уставки **«Тнцу»** допускается уточнять по фактической длительности переходного состояния входных логических сигналов **«РПО»** и **«РПВ»**, но, как правило, не следует принимать менее 0,2 с.

12.2 КОНТРОЛЬ ЦЕПЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

12.2.1 Общие сведения

Необходимость контроля исправности цепей напряжения обусловлена тем, что повреждение вторичных цепей ТН, отключение автоматического выключателя в цепях напряжения, обрыв или короткое замыкание отдельных проводов могут привести к неправильному действию функций РЗА, использующих измерение напряжения. В соответствии с ПУЭ при наличии в устройствах РЗА цепей напряжения должны предусматриваться устройства автоматического вывода защиты из действия при нарушении указанных цепей, если такое нарушение может привести к неправильному действию защиты, а также сигнализация нарушения цепей напряжения [**100**, п. 3.2.8].

В части предотвращения неправильных действий при неисправностях цепей напряжения Приказ № 101 [**143**, п. 27(1), 27(2)] устанавливает, что функции РЗА, которые по принципу действия могут сработать ложно или излишне при неисправности цепей напряжения, должны контролироваться БНН[1]. БНН должна действовать на блокировку функций РЗА, которые могут сработать ложно при неисправности цепей напряжения.

Алгоритм **«Контроль цепей напряжения (КЦН)»** предназначен для выявления неисправностей цепей напряжения с действием на предупредительную сигнализацию, вывод направленности токовых защит и блокирование функций защиты и автоматики, использующих цепи напряжения. В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** алгоритм обеспечивает контроль обрыва одной или двух фаз подводимых напряжений по признаку наличия напряжения обратной последовательности при отсутствии тока обратной последовательности. В устройствах **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** также предусмотрен контроль обрыва всех трех фаз по фиксированным внутренним порогам напряжения. В устройстве **«Алтей-БЗП2»** контроль

[1] В Приказе № 101 [**143**] БНН — блокировка при неисправности цепей напряжения

потери всех линейных напряжений[1] выполняется по задаваемым уставкам **«Uкцн мин»** и **«Iкцн блок»**; дополнительно реализован контроль по несоответствию расчетного и измеренного $3U_0$[2].

Основные параметры алгоритма **«Контроль цепей напряжения»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 12.6.

Таблица 12.6. Алгоритм «Контроль цепей напряжения»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Контроль обрыва одной или двух фаз	–	+	+	+	+
Контроль обрыва всех трех фаз по фиксированным внутренним порогам напряжения	–	+	+	+	–
Контроль потери всех линейных напряжений по задаваемым уставкам напряжения и тока	–	–	–	–	+
Контроль несимметричных повреждений по U_2 и I_2	–	+	+	+	+
Контроль положения автоматического выключателя в цепях ТН	–	+	+	+	+
Контроль включенного положения выключателя	–	+	+	+	+
Контроль по несоответствию расчетного и измеренного $3U_0$	–	–	–	–	+

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-БЗП»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.7.

Таблица 12.7. Уставки алгоритма «Контроль цепей напряжения» для «Алтей-БЗП»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Контроль цепей напряжения (КЦН)							
I2 кцн	A	1	0,05	5	0,01	kI	Уставка наличия тока обратной последовательности
Ткцн	c	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания КЦН при потере всех напряжений
Ткцн сигн	c	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания КЦН на сигнализацию

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.8.

Таблица 12.8. Уставки алгоритма «Контроль цепей напряжения» для «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Контроль цепей напряжения (КЦН)							
Uкцн мин	B	5	5	10	1	1,05	Уставка снижения всех напряжений для пуска КЦН
Iкцн блок	A	5	1	20	0,01	0,95	Уставка тока для блокировки КЦН при близком КЗ
U2 кцн	B	10	5	20	1	0,95	Уставка пуска КЦН по U2
I2 кцн блок	A	1	0,05	5	0,01	0,95	Уставка блокировки КЦН по I2
3U0 кцн	B	15	5	20	1	0,95	Уставка пуска КЦН по 3U0 вычисленному
3U0 кцн блок	B	10	5	20	0,01	0,95	Уставка блокировки КЦН по 3U0 измеренному
Ткцн сигн	c	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания КЦН на сигнализацию

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.9.

[1] Под потерей всех линейных напряжений понимается снижение всех контролируемых линейных напряжений ниже заданного порога при наличии условий, предусмотренных логикой КЦН устройства. Такая потеря может быть вызвана неисправностью ТН или его вторичных цепей и не всегда сопровож-дается отключением автоматического выключателя в цепях ТН

[2] Принцип, реализованный в реле КРБ-12 и основанный на сравнении расчетного напряжения 3U0 по обмотке «звезда» с измеренным напряжением $3U_0$ на обмотке «разомкнутый треугольник» [20, 152]

Таблица 12.9. Уставки алгоритма «Контроль цепей напряжения» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Контроль цепей напряжения (КЦН)							
I2 кцн	А	1	0,05	5	0,01	0,95	Уставка наличия тока обратной последовательности
Ткцн	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания КЦН при потере всех напряжений
Ткцн сигн	с	1	0	10	0,01	-	Задержка срабатывания КЦН на сигнализацию
U кцн	В	49	30	90	0,1	0,95	Напряжение сброса неисправности КЦН

Расчет уставок КЦН по токам и напряжениям следует выполнять во вторичных величинах, соответствующих измерительным входам устройства. При использовании исходных данных в первичных величинах их следует предварительно привести ко вторичным величинам по коэффициентам трансформации соответствующих ТТ и ТН в соответствии с **2.1**.

12.2.2 Выбор уставок контроля потери всех напряжений

Симметричные повреждения цепей напряжения, к которым относятся повреждение цепей напряжения, сопровождающееся потерей всех трех напряжений или трехфазное КЗ во вторичных цепях ТН, приводят к снижению напряжения на входах измерительных органов, что может вызвать неправильное действие функций РЗА, использующих цепи напряжения. Для исключения неправильного действия указанных функций контроль потери всех напряжений должен отличать неисправность цепей ТН от близкого трехфазного КЗ в первичной сети; для этого в устройстве **«Алтей-БЗП2»** используется контроль снижения всех линейных напряжений с блокировкой по фазному току.

Необходимость отдельного контроля обрыва всех трех фаз обусловлена тем, что контроль по напряжению обратной последовательности обеспечивает выявление нарушения симметрии линейных напряжений при обрыве одной или двух фаз, но не обеспечивает выявление симметричной потери всех трех напряжений. В устройствах контроля цепей напряжения, выполненных на электромеханической элементной базе, указанное разделение реализовывалось отдельными органами: через фильтр напряжения обратной последовательности — для контроля обрыва одной или двух фаз, и по линейному напряжению — для сигнализации обрыва трех фаз [20].

Значение уставки **«Uкцн мин»** для устройства **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию надежной фиксации потери всех линейных напряжений в цепях ТН:

$$\text{Uкцн мин} = k_{сниж} \cdot U_{ном.втор}\ [\text{В}] \tag{12.2}$$

где

$k_{сниж}$ — коэффициент снижения напряжения, принимаемый равным 0,05–0,10

$U_{ном.втор}$ В номинальное вторичное линейное напряжение основной вторичной обмотки ТН, соответствующее линейному напряжению сети; как правило, принимается равным 100 В

Значение уставки **«Iкцн блок»** для устройства **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию обеспечения действия КЦН при потере всех линейных напряжений в рабочем режиме с током нагрузки:

$$\text{Iкцн блок} \geq (1{,}1 - 1{,}2) \cdot I_{раб.макс.втор}\ [\text{А}] \tag{12.3}$$

где

$I_{раб.макс.втор}$ А максимальный рабочий вторичный фазный ток защищаемого присоединения

Для исключения действия КЦН при близком трехфазном КЗ должно выполняться условие:

$$\text{Iкцн блок} < \frac{I^{(3)}_{кз.мин.втор}}{1{,}2}\ [\text{А}] \tag{12.4}$$

где

$I^{(3)}_{кз.мин.втор}$ А минимальный вторичный фазный ток близкого трехфазного КЗ, при котором возможно снижение всех линейных напряжений ниже значения уставки **«Uкцн мин»**

При наличии в устройстве настроенного признака **«Наличие тока»** значение уставки **«Iкцн блок»** следует согласовывать с уставкой контроля наличия тока по **2.2.2**. Значение уставки **«Iкцн блок»** должно обеспечивать действие КЦН при потере всех линейных напряжений в рабочем режиме с током нагрузки и блокирование КЦН при близком трехфазном КЗ.

Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** контроль обрыва всех трех фаз выполняется по фиксированным внутренним порогам напряжения, поэтому расчет уставок по напряжению и току для данной ветви не выполняется. Из параметров срабатывания данной ветви пользователем задается выдержка времени **«Ткцн»**.

12.2.3 Выбор уставок контроля несимметричных повреждений по U_2 и I_2

Контроль несимметричных повреждений цепей напряжения по U_2 и I_2 основан на одновременном контроле напряжений и токов обратной последовательности. Несимметричное повреждение во вторичных цепях ТН сопровождается появлением напряжения обратной последовательности при отсутствии соответствующего тока обратной последовательности; при несимметричном КЗ в первичной сети появление U_2 сопровождается появлением I_2. Поэтому признак неисправности цепей напряжения должен формироваться при наличии U_2 и отсутствии тока I_2, превышающего заданную уставку.

Значение уставки **«U2 кцн»** для устройства **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию отстройки от наибольшего напряжения обратной последовательности в нормальном рабочем режиме:

$$\text{U2 кцн} \geq (1{,}1 - 1{,}2) \cdot \text{U}_{\text{2.нб.макс}}\ [\text{В}] \tag{12.5}$$

где

$\text{U}_{\text{2.нб.макс}}$ В — наибольшее вторичное напряжение обратной последовательности в нормальном рабочем режиме с учетом небаланса напряжений, погрешностей ТН и погрешностей измерительных входов устройства

При отсутствии данных измерений или расчетных данных о значении $U_{2.нб.макс}$ значение уставки **«U2 кцн»** допускается предварительно принимать по условию:

$$\text{U2 кцн} = (0{,}10 - 0{,}20) \cdot \text{U}_{\text{ном.втор}}\ [\text{В}] \tag{12.6}$$

где

$\text{U}_{\text{ном.втор}}$ В — номинальное вторичное линейное напряжение основной вторичной обмотки ТН, соответствующее линейному напряжению сети; как правило, принимается равным 100 В

Окончательное значение уставки **«U2 кцн»** следует принимать по условию отстройки от небаланса напряжения обратной последовательности в нормальном режиме с учетом диапазона и дискретности задания по РЭ соответствующего устройства. При наладке следует проверить отсутствие срабатывания КЦН в нормальном рабочем режиме и действие КЦН при имитации несимметричного повреждения цепей напряжения.

Значение уставки **«I2 кцн»**, а для устройства **«Алтей-БЗП2»** – уставки **«I2 кцн блок»**, следует выбирать по условию отстройки от тока обратной последовательности в нормальном нагрузочном режиме:

$$\text{I2 кцн} \geq (0{,}06 - 0{,}10) \cdot \text{I}_{\text{раб.макс.втор}}\ [\text{А}] \tag{12.7}$$

где

$\text{I}_{\text{раб.макс.втор}}$ А — максимальный рабочий вторичный фазный ток защищаемого присоединения

Выбранное значение уставки **«I2 кцн»**, а для устройства **«Алтей-БЗП2»** – уставки **«I2 кцн блок»**, должно быть меньше минимального вторичного тока обратной последовательности при расчетном несимметричном КЗ в первичной сети:

$$\text{I2 кцн} \leq \frac{\text{I}_{\text{2.кз.мин.втор}}}{1{,}2} \tag{12.8}$$

где

$\text{I}_{\text{2.кз.мин.втор}}$ А — минимальный вторичный ток обратной последовательности при расчетном несимметричном КЗ в первичной сети

Величины небалансов токов и напряжений следует определять при отсутствии источников повышенной несимметрии: неполной транспозиции, тяговой нагрузки, неполнофазных режимов работы ВЛ и других факторов, вызывающих устойчивое увеличение тока или напряжения обратной последовательности в нормальном режиме. При наличии указанных факторов значение уставки следует уточнять по данным измерений или расчетов с учетом конкретных условий работы сети.

12.2.4 Выбор уставок контроля по $3U_0$

В нормальном режиме на вводах разомкнутого треугольника имеется напряжение небаланса, обусловленное небольшой несимметрией вторичных фазных напряжений и отклонением формы их кривых от синусоиды; как правило, указанное напряжение не превышает 2–3 % номинального напряжения [20]. В частности, для ТН типа НАЛИ также указывается, что при отсутствии однофазного замыкания на землю напряжение небаланса $3U_0$ на вводах разомкнутого треугольника не должно

превышать 3 В; увеличение напряжения небаланса свыше 3 В указывает на несимметрию фазных напряжений в сети, а отсутствие напряжения небаланса — на короткое замыкание во вторичных цепях ТН [142].

Контроль цепей напряжения по несоответствию расчетного и измеренного $3U_0$ реализован в устройстве **«Алтей-БЗП2»**. Данный контроль предназначен для выявления неисправности цепей напряжения, при которой по напряжениям основной вторичной обмотки ТН определяется расчетное значение $3U_0$, а на вводах напряжения от обмотки разомкнутого треугольника соответствующее измеренное значение $3U_0$ отсутствует. При однофазном замыкании на землю в первичной сети расчетное значение $3U_0$, определяемое по напряжениям основной вторичной обмотки ТН, должно соответствовать измеренному напряжению $3U_0$ на вводах разомкнутого треугольника. Наличие измеренного $3U_0$ подтверждает повреждение в первичной сети и должно исключать формирование признака неисправности цепей напряжения по несоответствию расчетного и измеренного $3U_0$.

В данном контроле расчетное значение $3U_0$ определяется по напряжениям основной вторичной обмотки ТН, соединенной в звезду, а измеренное значение $3U_0$ — по напряжению на вводах разомкнутого треугольника дополнительной вторичной обмотки ТН.

Для устройства **«Алтей-БЗП2»** значение уставки **«3U0 кцн блок»** следует выбирать по условию отстройки от напряжения небаланса на вводах разомкнутого треугольника ТН в нормальном режиме:

$$3U0\ \text{кцн блок} \geq (1{,}2 - 1{,}25) \cdot 3U_{0.\text{нб.макс}}\ [\text{В}] \qquad (12.9)$$

где

$3U_{0.\text{нб.макс}}$ В — наибольшее вторичное напряжение небаланса на вводах разомкнутого треугольника ТН

При отсутствии данных измерений значение $3U_{0.\text{нб.макс}}$ допускается предварительно принимать равным 4 В во вторичных величинах с последующим уточнением по результатам технического обслуживания и наладки [56, п. 10.2.3]. Указанное значение согласуется с требованием к ТН, согласно которому напряжение на вводах разомкнутого треугольника дополнительных вторичных обмоток при симметричном номинальном первичном фазном напряжении не должно превышать 3 В [38, п. 6.4]

Значение уставки **«3U0 кцн»** следует выбирать по условию отстройки от уставки блокирования по измеренному $3U_0$:

$$3U0\ \text{кцн} \geq (1{,}2 - 1{,}5) \cdot 3U0\ \text{кцн блок}\ [\text{В}] \qquad (12.10)$$

12.2.5 Выбор уставок возврата КЦН

В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** возврат сработанного состояния КЦН выполняется при восстановлении напряжения в цепях ТН и отсутствии напряжения обратной последовательности. Контроль восстановления напряжения выполняется по минимальному из линейных напряжений; уставка **«U кцн»** используется для сброса сформированного признака неисправности цепей напряжения и не используется для формирования признака срабатывания КЦН.

Значение уставки **«U кцн»** следует выбирать по условию надежного возврата КЦН при восстановлении всех линейных напряжений в цепях ТН:

$$U\ \text{кцн} = (0{,}45 - 0{,}55) \cdot U_{\text{ном.втор}}\ [\text{В}] \qquad (12.11)$$

где

$U_{\text{ном.втор}}$ В — номинальное вторичное линейное напряжение основной вторичной обмотки ТН, соответствующее линейному напряжению сети; как правило, принимается равным 100 В

При $U_{\text{ном.втор}}$ = 100 В расчетное значение уставки **«U кцн»** составляет 45–55 В. Указанное значение обеспечивает возврат КЦН при восстановлении напряжения в цепях ТН и исключает сброс признака неисправности при отсутствии либо неполном восстановлении линейных напряжений.

12.2.6 Выбор выдержек времени КЦН

Выдержки времени используются для формирования действия КЦН на блокировку или вывод направленности защит, использующих цепи напряжения, а также для формирования предупредительной сигнализации о неисправности цепей напряжения.

В устройствах **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставка **«Ткцн»** относится к ветви контроля обрыва всех трех фаз подводимых напряжений, действующей по фиксированным внутренним порогам напряжения. Ветвь контроля обрыва одной или двух фаз по U_2 и I_2 уставку **«Ткцн»** не использует. После срабатывания КЦН предупредительная сигнализация

формируется с выдержкой времени **«Ткцн сигн»**. Кроме того, для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставка **«Ткцн сигн»** используется для формирования предупредительной сигнализации при наличии дискретного сигнала отключенного положения автоматического выключателя в цепях ТН; для устройства **«Алтей-БЗП»** указанная выдержка также используется при отсутствии рабочего положения тележки ТН.

При наличии в устройстве дистанционной защиты и дистанционной защиты от двойных замыканий на землю срабатывание КЦН должно учитываться в логике блокирования указанных защит при неисправности цепей напряжения. Для устройств, в которых задается уставка **«Ткцн»**, при ее выборе в составе функций РЗА, использующих цепи напряжения, следует учитывать ступени ДЗ и ДЗДВ, для которых предусмотрена блокировка при неисправности цепей напряжения. При наличии ступеней ДЗ, действующих без выдержки времени, значение уставки **«Ткцн»** следует принимать минимально возможным с учетом диапазона и дискретности задания уставок соответствующего устройства.

В устройстве **«Алтей-БЗП2»** уставка **«Ткцн»** не предусмотрена. Уставка **«Ткцн сигн»** является общей выдержкой времени предупредительной сигнализации для всех признаков неисправности цепей напряжения: контроля потери всех напряжений, контроля несимметричных повреждений по U_2 и I_2, контроля по несоответствию расчетного и измеренного $3U_0$, а также сигнала отключенного положения автоматического выключателя в цепях ТН.

Значение уставки **«Ткцн»** для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует выбирать по условию обеспечения действия КЦН на блокировку или вывод направленности функций РЗА, использующих цепи напряжения, до их возможного неправильного действия при неисправности цепей напряжения:

$$\text{Т кцн} \le t_{\text{защ.U.мин}} - t_{\text{зап}}\ [\text{с}] \qquad (12.12)$$

где

$t_{\text{защ.U.мин}}$ с наименьшая выдержка времени функции РЗА, использующей цепи напряжения и способной сработать ложно или излишне при неисправности цепей напряжения

$t_{\text{зап}}$ с расчетный запас по времени

При наличии функций РЗА, использующих цепи напряжения и действующих без выдержки времени, значение уставки **«Ткцн»** следует принимать минимально возможным с учетом диапазона и дискретности задания уставок соответствующего устройства.

Значение уставки **«Ткцн сигн»** следует выбирать по условию отстройки предупредительной сигнализации от кратковременного появления признаков неисправности цепей напряжения:

$$\text{Т кцн сигн} \ge t_{\text{кр.кцн}} + t_{\text{зап.сигн}}\ [\text{с}] \qquad (12.13)$$

где

$t_{\text{кр.кцн}}$ с наибольшая продолжительность кратковременного появления признака неисправности цепей напряжения, не требующего формирования предупредительной сигнализации

$t_{\text{зап.сигн}}$ с расчетный запас по времени для формирования предупредительной сигнализации

Уставка **«Ткцн сигн»** не определяет время действия КЦН на блокировку или вывод направленности защит, использующих цепи напряжения. Для устройств **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** при срабатывании ветви КЦН, действующей с выдержкой **«Ткцн»**, полное время формирования предупредительной сигнализации определяется суммой выдержек **«Ткцн»** и **«Ткцн сигн»**. При формировании предупредительной сигнализации от дискретных сигналов состояния цепей ТН время действия на сигнализацию определяется выдержкой **«Ткцн сигн»**.

Для устройства **«Алтей-БЗП2»** значение уставки **«Ткцн сигн»** следует принимать как единую выдержку времени предупредительной сигнализации КЦН независимо от причины формирования общего сигнала неисправности цепей напряжения. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Ткцн сигн»** допускается принимать равным 1 с; принятое значение подлежит уточнению по результатам наладки и эксплуатации.

12.3 КОНТРОЛЬ ЦЕПЕЙ ТОКА

12.3.1 Общие сведения

Контроль цепей тока следует предусматривать для дифференциальных защит, излишнее действие которых возможно при нарушении измерительных токовых цепей. В ПУЭ контроль неисправности токовых цепей прямо предусмотрен для продольной дифференциальной токовой защиты турбогенераторов при токе срабатывания защиты более номинального тока генератора [**100**, п. 3.2.36], а также для дифференциальной защиты шин 35 кВ и выше [**100**, п. 3.2.123]. Приказом Минэнерго

России № 101 для объектов 110 кВ и выше предусмотрено автоматическое блокирование при неисправности цепей переменного тока дифференциальной защиты ошиновки [143, п. 66] и дифференциальной защиты шин [143, п. 76].

В устройствах, рассматриваемых в настоящей Методике, алгоритм **«Контроль цепей тока»** реализован в устройстве **«Алтей-БЗП»** и используется совместно с дифференциальной токовой защитой электродвигателя. Алгоритм включает сигнализацию небаланса и орган выявления неисправности цепей тока; срабатывание алгоритма действует на предупредительную сигнализацию, а также может использоваться для загрубления или вывода ДЗТ.

Основные параметры алгоритма **«Контроль цепей тока»**, реализуемого в устройстве **«Алтей-БЗП»**, приведены в таблице 12.10.

Таблица 12.10. Алгоритм «Контроль цепей тока»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Сигнализация небаланса	–	–	–	+	–
Орган выявления неисправности цепей тока	–	–	–	+	–
Загрубление ДЗТ по сигналу КЦТ	–	–	–	+	–
Вывод ДЗТ по сигналу КЦТ	–	–	–	+	–

Работу алгоритма в устройстве **«Алтей-БЗП»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 12.11.

Таблица 12.11. Уставки алгоритма «Контроль цепей тока» для «Алтей-БЗП»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Контроль цепей тока (КЦТ)							
Iнб	о.е.	0,2	0,1	1	0,01	0,9	Ток срабатывания сигнализации небаланса
Тнб	с	5	0,1	10	0,01	-	Задержка сигнализации небаланса

12.3.2 Расчет уставок

Расчет уставок алгоритма **«Контроль цепей тока»** следует выполнять для устройства **«Алтей-БЗП»** при применении алгоритма **«Дифференциальная токовая защита»** в соответствии с подразделом 5.4.

Уставка **«Iнб»** задает постоянный порог срабатывания сигнализации небаланса по действующему значению дифференциального тока.

Значение уставки **«Iнб»** следует выбирать по условию отстройки от расчетного тока небаланса в дифференциальной цепи при рабочем токе ЭД:

$$Iнб \geq k_{отс.нб} \cdot I_{нб.дв.раб}\ [о.е.] \qquad (12.14)$$

где

$k_{отс.нб}$ – коэффициент отстройки сигнализации небаланса, учитывающий неточность задания исходных данных, погрешность расчета и необходимый запас; допускается принимать равным 1,05–1,2

$I_{нб.дв.раб}$ о.е. расчетный ток небаланса в дифференциальной цепи при рабочем токе ЭД

Расчетный ток небаланса $I_{нб.дв.раб}$ следует определять по выражению, аналогичному расчетному небалансу, используемому в формуле (5.31):

$$I_{нб.дв.раб} = \varepsilon_{раб} \cdot \frac{I_{раб.дв}}{Iном}\ [о.е.] \qquad (12.15)$$

$I_{раб.дв}$ А расчетный рабочий ток ЭД

$Iном$ А значение уставки **«Iном»**, принимаемое по формуле (5.26)

$\varepsilon_{раб}$ о.е. относительная полная погрешность ТТ при рабочем токе ЭД, принимаемая в соответствии с подразделом 5.4

При отсутствии данных о длительной технологической перегрузке допускается принимать $I_{раб.дв} = I_{ном.дв}$. В этом случае выражение (12.15) принимает вид:

$$I_{нб.дв.раб} = \varepsilon_{раб} \cdot \frac{I_{ном.дв}}{Iном}\ [о.е.] \qquad (12.16)$$

Окончательное значение уставки **«Iнб»** следует принимать не менее значения, определенного по условию (12.14), и не менее минимального значения, задаваемого в устройстве. При этом значение уставки **«Iнб»** рекомендуется принимать меньше принятого значения уставки **«Iдзт»**, рассчитанного в соответствии с подразделом **5.4**, если это возможно с учетом диапазона задания уставки, для обеспечения предупредительной сигнализации до срабатывания ДЗТ.

В условиях эксплуатации значение уставки **«Iнб»** допускается уточнять с учетом фактического значения дифференциального тока небаланса, зарегистрированного устройством в нормальном нагрузочном режиме.

Значение уставки **«Тнб»** следует выбирать по условию отстройки от переходных режимов, при которых возможно кратковременное появление дифференциального тока небаланса. При выборе уставки следует учитывать длительность пуска и самозапуска ЭД, в том числе после действия АВР, АПВ, ВНР, ЗМН и другой автоматики.

При наличии результатов пусконаладочных измерений, осциллограмм, регистраторов аварийных событий или данных эксплуатации значение уставки **«Тнб»** следует выбирать с учетом фактической длительности пуска или самозапуска ЭД. При отсутствии результатов замеров допускается учитывать расчетное время пуска или самозапуска при пониженном напряжении, определяемое по формуле (5.64).

При отсутствии специальных требований и расчетных данных допускается принимать:

$$Тнб = 10 \ [с] \qquad (12.17)$$

13 ПРОЧИЕ (ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ) ФУНКЦИИ

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** наряду с функциями релейной защиты, автоматики, управления и диагностики реализованы дополнительные функции, предназначенные для адаптации уставок к изменению схем и режимов работы сети, формирования аварийной и предупредительной сигнализации, контроля теплового состояния оборудования и ресурса выключателя, определения места повреждения, регистрации аварийных процессов и технического учета электроэнергии. Состав дополнительных функций, рассматриваемых в настоящем разделе, зависит от типа устройства и приведен в таблице 13.1. Порядок выбора их уставок и параметров настройки приведен в 13.1–13.8.

Таблица 13.1. Прочие (дополнительные) функции в устройствах «Алтей» и «Лютик»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Смена программ уставок	–	+	+	+	+
Аварийная сигнализация	+	+	+	+	+
Предупредительная сигнализация	+	+	+	+	+
Перегрев	–	+	+	–	–
Ресурс выключателя	–	+	+	+	+
Определение места повреждения	–	+	+	+	+
Осциллографирование	+	+	+	+	+
Технический учет электроэнергии	–	+	+	+	+

13.1 СМЕНА ПРОГРАММ УСТАВОК

13.1.1 Общие сведения

Смена программ уставок применяется в случаях, когда для одного и того же присоединения при различных схемах и режимах работы сети требуются различные значения уставок функций защиты и автоматики. Значения уставок для каждой программы следует выбирать по соответствующим разделам настоящей Методики применительно к расчетному режиму, для которого предназначена данная программа; особенности выбора уставок направленных токовых защит приведены в 3.9, а применения смены программ уставок в составе сетевого АВР — в 10.3 [76].

В устройствах **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик-Плюс»** функция имеет наименование **«Смена программ уставок»**, в устройстве **«Алтей-01»** — **«Программы уставок»**; в устройстве **«Лютик»** указанная функция не реализована.

Основные параметры алгоритма **«Смена программ уставок»** (**«Программы уставок»**), реализованного в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 13.2.

Таблица 13.2. Алгоритм «Смена программ уставок» («Программы уставок»)

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Количество групп уставок	1	4	4	2	2
Выбор программы по сигналам дискретных входов	–	+	+	+	+
Выбор программы с пульта управления, лицевой панели устройства или из программного обеспечения KIWI	–	+	+	+[1]	
Выбор программы по цифровым каналам связи с АСУ	–	+	+	+	+
Блокировка смены программы при пуске функций защиты и автоматики	–	+[2]	+	+	+

[1] В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** выбор программы уставок с пульта управления или из программного обеспечения KIWI предназначен для применения при наладке устройства

[2] В устройстве **«Лютик-Плюс»** смена программы уставок блокируется также при пуске функций диагностики

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Блокировка смены программы при срабатывании аварийной и предупредительной сигнализации	–	+	+	+	+
Блокировка смены программы в процессе управления выключателем	–	+	+	+	+
Разрешение смены программы через 10 с после исчезновения причины блокировки	–	+	+	+	+
Смена программы при изменении направления мощности	–	–	–	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.3.

Таблица 13.3. Уставки алгоритма «Смена программ уставок» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Смена программ уставок							
Тпр 1	с	5	3	10	0,01	-	Задержка возврата на первую программу уставок
Тпр напр	с	1	0	10	0,01	-	Задержка перехода на другую программу уставок при изменении направления мощности

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.4.

Таблица 13.4. Уставки алгоритма «Смена программ уставок» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Смена программ уставок							
Тпр уст	с	3	0	10	0,01	-	Задержка перехода на другую программу уставок при изменении состояния дискретных входов

13.1.2 Расчет уставок

До выбора уставок алгоритма **«Смена программ уставок»** следует определить перечень схем и режимов работы защищаемого присоединения, для которых требуются различные значения уставок функций защиты и автоматики. Применение отдельных программ уставок целесообразно в случаях, когда единый набор уставок не обеспечивает требуемых чувствительности, селективности и быстродействия во всех рассматриваемых режимах.

Для каждой программы уставок должны быть определены соответствующие ей схема и режим работы сети, в том числе состав источников питания, направление потока мощности, состояние секционирующих и резервных связей, а также введенные в работу функции защиты и автоматики. Если одной программе соответствует несколько схем или режимов работы сети, значения уставок следует выбирать по наиболее неблагоприятным условиям отстройки и согласования. Проверку чувствительности функций защиты следует выполнять для всех режимов, отнесенных к данной программе, в случаях, предусмотренных соответствующими разделами настоящей Методики.

При использовании смены программ уставок в составе автоматического изменения режима сети сигнал выбора новой программы должен формироваться до перехода защищаемого присоединения в режим, для которого предназначена эта программа. При этом следует учитывать выдержку времени смены программы, последовательность действия коммутационных аппаратов и автоматики, а также блокирование смены программы при пуске функций защиты и автоматики и в процессе управления выключателем. Особенности применения смены программ уставок при сетевом АВР приведены в **10.3**, а при изменении направления потока мощности в сетях с двусторонним питанием — в **3.9**.

Если команда выбора новой программы формируется при наличии условия блокировки, смена программы будет заблокирована. Команда выбора программы должна формироваться с опережением, достаточным для завершения смены программы до возникновения условия блокировки. Разрешение смены программы восстанавливается через 10 с после исчезновения причины блокировки; до истечения указанного времени действующей остается ранее выбранная программа уставок. Если заблаговременная смена программы невозможна, значения уставок действующей программы должны обеспечивать

требуемую работу функций защиты и автоматики с момента изменения схемы или режима работы сети до ввода в действие новой программы уставок.

Значение уставки **«Тпр 1»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных исчезновений сигнала на входе **«Программа 2»**, не связанных с фактическим возвратом первичной схемы в режим, соответствующий первой программе. Значение уставки следует принимать минимальным, но превышающим максимальную ожидаемую продолжительность перерыва сигнала в цепи соответствующего дискретного входа.

При выборе программы по одному сигналу на входе **«Программа 2»** уставка **«Тпр 1»** задерживает только возврат со второй программы на первую; переход с первой программы на вторую выполняется без указанной задержки. При отсутствии данных о возможной продолжительности кратковременного исчезновения сигнала значение уставки **«Тпр 1»** допускается принимать равным 5 с, а затем уточнять по результатам наладки и эксплуатации.

Значение уставки **«Тпр напр»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных изменений направления мощности, возникающих при переходных процессах, качаниях, коммутациях и других режимах, не требующих смены программы уставок. Значение уставки следует принимать минимальным, но превышающим максимальную ожидаемую продолжительность таких изменений направления мощности.

Одновременно выбранное значение уставки **«Тпр напр»** должно обеспечивать переход на новую программу до истечения допустимого времени работы защит с уставками, соответствующими предшествующему направлению мощности. Если указанные условия не могут быть выполнены одновременно, способ смены программы по направлению мощности применять не следует. В этом случае следует предусматривать выбор программы по внешним сигналам, однозначно характеризующим состояние первичной схемы.

Следует учитывать, что при выборе смены программы по направлению мощности остальные способы выбора программы уставок в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** не используются.

При отсутствии расчетных данных значение уставки **«Тпр напр»** допускается принимать равным 1 с и уточнять по результатам наладки и эксплуатации.

Значение уставки **«Тпр уст»** для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует выбирать по условию отстройки от дребезга контактов, кратковременных исчезновений сигналов и разновременности изменения состояния дискретных входов выбора программы. При выборе одной из четырех программ комбинацией двух дискретных сигналов выдержка времени должна исключать кратковременный переход на промежуточную программу при неодновременном переключении указанных сигналов.

При отсутствии данных о продолжительности переходных состояний дискретных входов значение уставки **«Тпр уст»** допускается принимать равным 3 с и уточнять по результатам наладки.

Уставка **«Тпр уст»** учитывается только при выборе программы по состоянию дискретных входов.

13.2 АВАРИЙНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

13.2.1 Общие сведения

Алгоритм **«Аварийная сигнализация»** реализован во всех рассматриваемых устройствах и предназначен для формирования обобщенного сигнала **«Аварийная сигн.»** при срабатывании функций защиты и автоматики на отключение выключателя, при отключении по командам внешних устройств, а также при формировании признака аварийного отключения выключателя.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** дополнительно предусмотрено формирование аварийной сигнализации по пользовательским и программируемым сигналам. Для программируемого сигнала предусмотрена регулируемая задержка **«Тас доп»**; в устройстве **«Лютик»** указанная уставка отсутствует.

Основные параметры алгоритма **«Аварийная сигнализация»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 13.5.

Таблица 13.5. Алгоритм «Аварийная сигнализация»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Обобщенная аварийная сигнализация	+	+	+	+	+

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Сигнализация при действии на отключение	+	+	+	+	+
Сигнализация от внешних устройств	+	+	+	+	+
Сигнализация аварийного отключения	+	+	+	+	+
Пользовательская аварийная сигнализация	–	+	+	+	+
Программируемый аварийный сигнал	–	+	+	+	+
Задержка программируемого сигнала	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.6.

Таблица 13.6. Уставки алгоритма «Аварийная сигнализация» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Аварийная сигнализация							
Tас доп	с	0	0	60	0,01	-	Задержка аварийной сигнализации программируемого сигнала

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.7.

Таблица 13.7. Уставки алгоритма «Аварийная сигнализация» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Аварийная сигнализация							
Tас доп	с	0	0	60	0,01	-	Задержка аварийной сигнализации программируемого сигнала

13.2.2 Расчет уставок

Значение уставки **«Tас доп»** следует выбирать по условию отстройки от максимальной продолжительности кратковременного ложного сигнала, возможного в источнике сигнала, соединительной линии и входных цепях устройства. К таким воздействиям относятся дребезг контактов, импульсные помехи и иные кратковременные изменения состояния сигнала, не требующие формирования аварийной сигнализации.

Продолжительность кратковременных ложных сигналов следует определять по результатам наладки, испытаний или данным эксплуатации. Окончательное значение уставки **«Tас доп»** следует принимать минимально возможным, но превышающим максимальную продолжительность кратковременного ложного сигнала и не превышающим допустимого времени оповещения оперативного персонала. При отсутствии исходных данных значение уставки допускается принимать предварительно с последующим уточнением по результатам наладки и эксплуатации.

При формировании программируемого аварийного сигнала от внутреннего алгоритма устройства, не связанного с внешним дискретным входом, значение уставки **«Tас доп»** допускается принимать равным 0 с, если дополнительная задержка формирования аварийной сигнализации не требуется.

При формировании программируемого аварийного сигнала от внешнего дискретного входа следует учитывать, что отсчет выдержки времени **«Tас доп»** начинается после формирования логического сигнала **«На авар. сигн.»**. Полное время от изменения состояния сигнала на дискретном входе до формирования аварийной сигнализации включает задержку срабатывания дискретного входа и выдержку времени **«Tас доп»**.

При выборе задержки срабатывания дискретного входа для устройств рекомендуется учитывать положения СТО 56947007-29.120.40.102-2011 [130, п. 5.7.2, прил. 1] в качестве технического ориентира по обеспечению помехоустойчивости входных цепей. Указанным СТО установлено нормативное значение задержки 5 мс и предусмотрена возможность задания значений 0, 2, 5–12 и 20 мс. Эти значения относятся к физическому дискретному входу и непосредственно не определяют значение уставки **«Tас доп»**.

При отсутствии отдельной настройки задержки дискретного входа и непосредственном использовании его выходного сигнала в качестве сигнала **«На авар. сигн.»** значение уставки **«Tас доп»** допускается предварительно принимать равным

0,01 с. Окончательное значение уставки следует уточнять по результатам наладки. Уставка **«Tac доп»** обеспечивает отстройку только канала формирования аварийной сигнализации и не заменяет проверку помехоустойчивости дискретного входа, если его сигнал используется также в других алгоритмах устройства.

13.3 ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ

13.3.1 Общие сведения

Алгоритм **«Предупредительная сигнализация»** реализован во всех рассматриваемых устройствах и предназначен для формирования обобщенного сигнала **«Предупредительная сигн.»** при срабатывании функций защиты, автоматики и диагностики на сигнализацию, выявлении неисправностей функций защиты, выключателя, цепей управления и измерительных цепей, а также при появлении внутренней неисправности устройства.

В устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** дополнительно предусмотрено формирование предупредительной сигнализации по пользовательским и программируемым сигналам. Для программируемого сигнала предусмотрена регулируемая задержка **«Tпс доп»**; в устройстве **«Лютик»** указанная уставка отсутствует.

Основные параметры алгоритма **«Предупредительная сигнализация»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 13.8.

Таблица 13.8. Алгоритм «Предупредительная сигнализация»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Обобщенная предупредительная сигнализация	+	+	+	+	+
Сигнализация при действии функций защиты и автоматики на сигнал	+	+	+	+	+
Сигнализация функций диагностики и выявленных неисправностей	–	+	+	+	+
Пользовательская предупредительная сигнализация	–	+	+	+	+
Программируемый предупредительный сигнал	–	+	+	+	+
Задержка программируемого сигнала	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.9.

Таблица 13.9. Уставки алгоритма «Предупредительная сигнализация» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Предупредительная сигнализация							
Tпс sf6 Q 1	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации снижения давления элегаза выключателя
Tпс sf6 Q 2	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации аварийного снижения давления элегаза выключателя
Tпс sf6 TT 1	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации снижения давления элегаза ТТ
Tпс sf6 TT 2	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации аварийного снижения давления элегаза ТТ
Tпс доп	с	0	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации программируемого сигнала

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.10.

Таблица 13.10. Уставки алгоритма «Предупредительная сигнализация» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Предупредительная сигнализация							
Tпс sf6 Q 1	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации снижения давления элегаза выключателя

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Tпс sf6 Q 2	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации аварийного снижения давления элегаза выключателя
Tпс sf6 TT 1	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации снижения давления элегаза ТТ
Tпс sf6 TT 2	с	10	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации аварийного снижения давления элегаза ТТ
Tпс доп	с	0	0	60	0,01	-	Задержка предупредительной сигнализации программируемого сигнала

13.3.2 Расчет уставок

Значения уставок **«Tпс sf6 Q 1»**, **«Tпс sf6 Q 2»**, **«Tпс sf6 TT 1»** и **«Tпс sf6 TT 2»** следует выбирать по условию отстройки от максимальной продолжительности кратковременных ложных сигналов соответствующих датчиков давления (плотности) элегаза, а также кратковременных ложных сигналов в соединительных линиях и входных цепях устройства.

Продолжительность кратковременных ложных сигналов следует определять по документации организаций-изготовителей контролируемого оборудования и датчиков, результатам наладки и испытаний или данным эксплуатации.

При использовании автоматического отключения при аварийном снижении давления (плотности) элегаза значения уставок **«T SF6 откл»** для устройств **«Алтей»** и **«T SF6 Q откл»** для устройства **«Лютик-Плюс»** следует принимать не менее значения уставки предупредительной сигнализации **«Tпс sf6 Q 2»**. Значения уставок **«T SF6 TT»** для устройств **«Алтей»** и **«T SF6 TT откл»** для устройства **«Лютик-Плюс»** следует принимать не менее значения уставки предупредительной сигнализации **«Tпс sf6 TT 2»**. Порядок выбора уставок выдержек времени автоматического отключения приведен в 7.1.2.

Значение уставки **«Tпс доп»** следует выбирать по условию отстройки от максимальной продолжительности кратковременного ложного сигнала, возможного в источнике сигнала, соединительной линии и входных цепях устройства. К таким воздействиям относятся дребезг контактов, импульсные помехи и иные кратковременные изменения состояния сигнала, не требующие формирования предупредительной сигнализации.

Продолжительность кратковременных ложных сигналов следует определять по результатам наладки, испытаний или данным эксплуатации. Окончательное значение уставки **«Tпс доп»** следует принимать минимально возможным, но превышающим максимальную продолжительность кратковременного ложного сигнала и не превышающим допустимого времени оповещения оперативного персонала. При отсутствии исходных данных значение уставки допускается принимать предварительно с последующим уточнением по результатам наладки и эксплуатации.

При формировании программируемого предупредительного сигнала от внутреннего алгоритма устройства, не связанного с внешним дискретным входом, значение уставки **«Tпс доп»** допускается принимать равным 0 с, если дополнительная задержка формирования предупредительной сигнализации не требуется.

При формировании программируемого предупредительного сигнала от внешнего дискретного входа следует учитывать, что отсчет выдержки времени **«Tпс доп»** начинается после формирования логического сигнала **«На пред. сигн.»**. Полное время от появления напряжения на физическом дискретном входе до формирования предупредительной сигнализации включает задержку срабатывания дискретного входа и выдержку времени **«Tпс доп»**.

При выборе задержки срабатывания дискретного входа для устройств рекомендуется учитывать положения СТО 56947007-29.120.40.102-2011 [130, п. 5.7.2, прил. 1] в качестве технического ориентира по обеспечению помехоустойчивости входных цепей. Указанным СТО установлено нормативное значение задержки 5 мс и предусмотрена возможность задания значений 0, 2, 5–12 и 20 мс. Эти значения относятся к физическому дискретному входу и непосредственно не определяют значение уставки **«Tпс доп»**.

При отсутствии отдельной настройки задержки дискретного входа и непосредственном использовании его выходного сигнала в качестве сигнала **«На пред. сигн.»** значение уставки **«Tпс доп»** допускается предварительно принимать равным 0,01 с. Окончательное значение уставки следует уточнять по результатам наладки. Уставка **«Tпс доп»** обеспечивает отстройку только канала формирования предупредительной сигнализации и не заменяет проверку помехоустойчивости дискретного входа, если его сигнал используется также в других алгоритмах устройства.

13.4 ПЕРЕГРЕВ

13.4.1 Общие сведения

Контроль теплового состояния контактов и контактных соединений электрооборудования необходим для своевременного выявления развивающихся дефектов. Техническое состояние контактного соединения в значительной степени определяется его переходным сопротивлением, которое в процессе эксплуатации может возрастать вследствие ослабления или нарушения контактного нажатия, образования оксидных пленок и нагара, коррозии, загрязнения контактных поверхностей, а также дефектов пайки, сварки и опрессовки [17].

Увеличение переходного сопротивления приводит к повышенному выделению тепла в контактной зоне. Возникающий местный перегрев ускоряет окисление контактных поверхностей, снижает контактное нажатие и вызывает дальнейшее увеличение переходного сопротивления. При развитии дефекта возможны оплавление и отгорание контакта (контактного соединения), оплавление кабельных наконечников и подводящих проводов, повреждение изоляции и возникновение электрической дуги с последующим междуфазным коротким замыканием или замыканием на землю. Электрическая дуга и продукты горения изоляции могут также привести к пожару в распределительном устройстве [17, 61, 70].

По статистическим данным, приведенным в [17], аварийность в электрических сетях вследствие нарушений работы контактных соединений составляет около 10 % общего числа аварий. В [70] большое переходное сопротивление непосредственно отнесено к основным аварийным режимам электрических сетей, способным привести к пожару. В [8] по результатам анализа аварийности систем электроснабжения 0,4–6 кВ к характерным проблемным зонам отнесены шкафы РУ с автоматическими выключателями и преобразователями частоты, а также кабельные вводы. Отмечено, что значительная часть аварийных отключений начинается с перегрева контактных соединений и могла быть предотвращена при своевременном выявлении дефекта на ранней стадии развития. В [97] к характерным объектам непрерывного контроля перегрева в РУ 0,4–10 кВ отнесены контактные соединения, кабельные вводы и выводы коммутационных аппаратов.

Рост переходного сопротивления сопровождается повышением нагрева контактной зоны и может создавать условия для возникновения электрической дуги и многофазного замыкания в распределительном устройстве [61].

В связи с возможностью развития дефекта контактного соединения от местного перегрева до аварии и короткого замыкания требования к контролю теплового состояния контактов, контактных соединений и токоведущих частей установлены в ряде нормативно-технических документов. Наибольшие допустимые температуры нагрева и превышения температуры для электрооборудования напряжением выше 1000 В установлены ГОСТ 8024-90 [59]. Порядок оценки теплового состояния электрооборудования по результатам тепловизионного контроля приведен в СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97) [121], РД 153-34.0-20.363-99 [111] и СТО 34.01-23.1-001-2017 [131]. Требования и рекомендации по непрерывному тепловому контролю труднодоступных и скрытых элементов электроустановок приведены также в СТО 34.01-12-002-2023 [132] и СТО РусГидро 02.02.146-2023 [135].

Согласно СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97) [121] тепловизионный контроль электрооборудования РУ напряжением 35 кВ и ниже выполняют не реже одного раза в три года. Оценка теплового состояния оборудования может выполняться по температуре нагрева, превышению температуры, избыточной температуре, коэффициенту дефектности и динамике изменения температуры.

В настоящем разделе применяются следующие понятия [121, приложение 3, п. 1.2]:

- превышение температуры — разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающего воздуха;
- избыточная температура — превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях.

В соответствии с требованиями п. 499 ПТЭЭС [105] регламентирована периодичность осмотров оборудования РУ без отключения от сети. На объектах с постоянным дежурством персонала — не реже 1 раза в 1 сутки; на объектах без постоянного дежурства персонала — не реже 1 раза в месяц; в трансформаторных и распределительных пунктах — не реже 1 раза в 6 месяцев.

При этом визуальный или тепловизионный контроль может быть затруднен конструктивным исполнением РУ, а интервалы между регламентными проверками не обеспечивают непрерывного контроля теплового состояния оборудования. В

связи с этим требования к КРУ и КСО ряда организаций предусматривают возможность оснащения высоковольтных отсеков системами автоматизированного контроля нагрева токоведущих частей по требованию основного потребителя, в частности в соответствии с СТО 34.01-3.1-005-2024 [133, п. 1.9.17] и СТО 34.01-3.2-005-2016 [134, п. 8.22].

Согласно СТО 34.01-12-002-2023 [132, п. 5.3] конкретный перечень элементов электроустановки, подлежащих непрерывному тепловому контролю, должен определяться и утверждаться техническим руководителем объекта. В [81] отмечено, что развитие дефектов контактов и контактных соединений до аварийного состояния может происходить быстрее установленной периодичности тепловизионного контроля.

Применение датчиков температуры совместно с устройствами **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** позволяет автоматизировать контроль теплового состояния контактов и контактных соединений в период между регламентными осмотрами, а также в узлах РУ, доступ к которым для визуального или тепловизионного контроля ограничен. Данный подход соответствует практике применения средств непрерывного температурного контроля, предусмотренной СТО 34.01-12-002-2023 [132] и СТО РусГидро 02.02.146-2023 [135].

Алгоритм **«Перегрев»** реализован в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**. Алгоритм обеспечивает контроль измеренной датчиками температуры, выявление относительного перегрева однотипных узлов и контроль связи с датчиками температуры. В устройствах **«Алтей-БЗП»**, **«Алтей-БЗП2»** и **«Лютик»** данный алгоритм не реализован.

Под абсолютным перегревом в алгоритме **«Перегрев»** понимается превышение измеренной датчиком температуры над заданным значением уставки. Абсолютный перегрев не следует отождествлять с нормативным понятием «превышение температуры», поскольку для определения последнего необходимо учитывать температуру окружающего воздуха.

Под относительным перегревом в алгоритме **«Перегрев»** понимается превышение разностью температур датчиков, объединенных в одну группу, заданного значения уставки. Такой контроль соответствует оценке по избыточной температуре при условии, что датчики установлены на аналогичных узлах разных фаз, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации.

Основные параметры алгоритма **«Перегрев»**, реализуемого в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, приведены в таблице 13.11.

Таблица 13.11. Алгоритм «Перегрев» для устройств «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Абсолютный перегрев	–	+	+	–	–
Относительный перегрев	–	+	+	–	–
Контроль связи с датчиками	–	+	+	–	–

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.12.

Таблица 13.12. Уставки алгоритма «Перегрев» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Перегрев							
Тсвязи	мин	5	1	1440	1	-	Задержка обнаружения потери связи с датчиком
Тсигн	мин	10	0	1440	1	-	Задержка сигнализации потери связи с датчиком
Темп 1 ст	°C	40	20	100	1	-2°C	Уставка по температуре первой ступени защиты от перегрева
Тсраб 1 ст	мин	10	0	60	1	-	Задержка срабатывания первой ступени защиты от перегрева
Темп 2 ст	°C	60	20	100	1	-2°C	Уставка по температуре второй ступени защиты от перегрева
Тсраб 2 ст	мин	1	0	60	1	-	Задержка срабатывания второй ступени защиты от перегрева
dТемп	°C	5	5	50	1	-4 °C	Уставка разницы температур ступени относительного перегрева
dТемп[1]	°C	60	20	100	1	-2 °C	Уставка разницы температур ступени относительного перегрева

[1] Для устройства **«Лютик-Плюс»**

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Тсраб dT	мин	1	0	60	1	-	Задержка срабатывания ступени относительного перегрева
I мелисса	А	9	7	20	0,01	1	Уставка наличия тока, достаточного для питания Мелиссы (задается в первичных значениях)

Приведенные в настоящем разделе положения по выбору уставок температуры нагрева, превышения температуры и избыточной температуры также применимы к устройствам **«Мелисса»** и **«Кактус»** с учетом состава реализованных в них алгоритмов и особенностей измерения температуры.

Для устройства **«Мелисса»** положения по температуре нагрева следует применять при выборе уставок **«Перегрев предупреждение»** и **«Перегрев авария»**, положения по превышению температуры — при выборе уставки **«Превышение температуры»**, а положения по избыточной температуре — при выборе уставки **«Дифференциальная тепловая защита»** при условии объединения в группу датчиков, установленных на аналогичных узлах, находящихся в одинаковых условиях.

Для устройства **«Кактус»** применимы положения по выбору уставок **«Срабатывание»** первой и второй ступеней по абсолютной температуре; положения по превышению температуры и избыточной температуре к данному устройству не применяются. При выборе уставок устройства **«Кактус»** следует учитывать особенности бесконтактного тепловизионного контроля, в том числе коэффициент теплового излучения контролируемой поверхности, расстояние до объекта, размеры контролируемой зоны и погрешность измерения.

13.4.2 Расчет уставок

13.4.2.1 Общие положения

Выбор способа контроля теплового состояния следует выполнять с учетом вида контролируемого узла, максимального фактического рабочего тока, условий размещения датчиков и состава алгоритмов применяемого устройства.

Оценка теплового состояния контактов, контактных соединений и токоведущих частей может выполняться:

- по температуре нагрева;
- по превышению температуры над температурой окружающего воздуха;
- по избыточной температуре относительно аналогичных узлов других фаз;
- по коэффициенту дефектности;
- по динамике изменения температуры во времени и при изменении нагрузки в соответствии с РД 153-34.0-20.363-99 [111, пп. 4.3–4.10] и СТО 34.01-12-002-2023 [132, п. 9.1.1].

Алгоритм **«Перегрев»** устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** обеспечивает контроль температуры каждого датчика и разности между максимальной и минимальной температурами датчиков, объединенных в одну группу. Прямое вычисление превышения температуры над температурой окружающего воздуха указанными устройствами не выполняется.

В устройстве **«Мелисса»** реализованы отдельные алгоритмы **«Перегрев»**, **«Дифференциальная тепловая защита»** и **«Превышение температуры»**. Поэтому положения настоящего подраздела по температуре нагрева следует применять к уставкам **«Перегрев предупреждение»** и **«Перегрев авария»**, положения по избыточной температуре — к уставке **«Дифференциальная тепловая защита»**, а положения по превышению температуры — к одноименной уставке. В устройстве **«Кактус»** реализован контроль абсолютной температуры по двум ступеням; положения по избыточной температуре и превышению температуры к алгоритму данного устройства непосредственно не применяются.

Наибольшие допустимые значения температуры нагрева и превышения температуры для контролируемых узлов РУ 6–35 кВ приведены в таблице 13.13. Значения установлены с учетом ГОСТ 8024-90 [59], РД 153-34.0-20.363-99 [111], СО 34.45-51.300-97 (РД 34.45-51.300-97) [121], СТО 34.01-23.1-001-2017 [131] и СТО 34.01-12-002-2023 [132].

Таблица 13.13. Предельно допустимые температуры для контролируемых узлов РУ 6–35 кВ

№	КОНТРОЛИРУЕМЫЕ УЗЛЫ РУ 6–35 КВ	ИСПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО УЗЛА, МАТЕРИАЛ И ТИП ПОКРЫТИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	НАИБОЛЬШЕЕ ДОПУСТИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ	
			температура нагрева, °С	превышение температуры $\Delta T_{ном}$, °С
1.1	Втычные контакты выкатных элементов (с выключателями, предохранителями, ТН, ТСН, разъединителями) из меди и медных сплавов	без покрытий, в воздухе	75	35
1.2		с покрытием серебром или никелем, в воздухе	105	65
1.3		с покрытием оловом, в воздухе	90	50
1.4		с накладными серебряными пластинами / с серебряным покрытием толщиной не менее 24 мкм	120	80
2.1	Болтовые контактные соединения сборных и соединительных шин, шин с выводами аппаратов, аппаратных выводов электрооборудования с внешними проводниками электрических цепей (выключателей, трансформаторов тока, предохранителей и т.д.), соединения в шинном и кабельном отсеках	из меди, алюминия и их сплавов:		
2.2		без покрытий, в воздухе	90	50
2.3		с покрытием оловом, в воздухе	105	65
2.4		с покрытием серебром или никелем, в воздухе	115	75
2.5		из алюминия и его сплавов с покрытием серебром или никелем, в воздухе	115	75
3.1	Предохранители переменного тока на напряжение 3 кВ и выше, соединения из меди, алюминия и их сплавов	разъемные контактные соединения, осуществляемые пружинами, без покрытий, в воздухе	75	35
3.2		разъемные контактные соединения, осуществляемые пружинами, с покрытием оловом, в воздухе	95	55
3.3		с разборным соединением (нажатие болтами или винтами), в том числе выводы предохранителя, без покрытий, в воздухе	90	50
3.4		с разборным соединением (нажатие болтами или винтами), в том числе выводы предохранителя, с покрытием оловом, в воздухе	105	65
3.5		металлические части, используемые как пружины из меди	75	35
4	Болтовые контактные соединения силовых конденсаторов, отдельно стоящих или соединенных в батарею	без покрытий, в воздухе	90	50
5.1	Токоведущие шины (за исключением контактов и контактных соединений)	неизолированные	120	80
		изолированные с изоляционными материалами классов нагревостойкости по ГОСТ 8865 [39]:		
5.2		Y	90	50
5.3		A	105	65
5.4		E	120	80
5.5		B	130	90
5.6		F	155	115
5.7		H	180	140

№	КОНТРОЛИРУЕМЫЕ УЗЛЫ РУ 6–35 КВ	ИСПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛИРУЕМОГО УЗЛА, МАТЕРИАЛ И ТИП ПОКРЫТИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	НАИБОЛЬШЕЕ ДОПУСТИМОЕ ЗНАЧЕНИЕ	
			температура нагрева, °С	превышение температуры $\Delta T_{ном}$, °С
6.1	Токоведущие жилы силовых кабелей в длительном режиме при наличии изоляции	из поливинилхлоридного пластика и полиэтилена	70	–
6.2		из вулканизирующегося (сшитого) полиэтилена	90	–
		с пропитанной бумажной изоляцией при номинальном напряжении:		
6.3		- 6 кВ	65	–
6.4		- 10 кВ	60	–
6.5		- 20 кВ	55	–
6.6		- 35 кВ	50	–

13.4.2.2 Контроль по температуре нагрева и превышению температуры

Контроль теплового состояния контактов и контактных соединений по температуре нагрева следует применять при максимальном фактическом рабочем токе от 0,6·$I_{ном}$ до $I_{ном}$ в соответствии с РД 153-34.0-20.363-99 [111, п. 4.5] и СТО 34.01-12-002-2023 [132, п. 9.2.2].

При максимальном фактическом рабочем токе 0,3·$I_{ном}$ и ниже выявление дефектов на ранней стадии по температуре нагрева не обеспечивается [111, п. 4.5]. В СТО 34.01-12-002-2023 оценка теплового состояния при токе менее 0,3·$I_{ном}$ не рассматривается, поскольку при таких токах нагрузки выявление дефектов элементов электроустановки не обеспечивается [132, п. 9.1.3].

Под максимальным фактическим рабочим током следует понимать наибольший длительно протекающий ток в рассматриваемых эксплуатационных режимах. Пусковые токи, токи самозапуска и токи КЗ при таком пересчете не учитываются.

Расчетное наибольшее допустимое превышение температуры контролируемого узла над эффективной температурой окружающего воздуха следует определять по формуле:

$$\Delta T_{доп.расч} = T_{доп} - T_{эфф.окр}\ [°C] \quad (13.1)$$

где

$T_{доп}$ °C наибольшая допустимая температура нагрева контролируемого узла, принимаемая по таблице 13.13, РЭ, техническим условиям или иным данным на оборудование

$T_{эфф.окр}$ °C эффективная температура окружающего воздуха для рассматриваемых условий эксплуатации

При $T_{эфф.окр}$=40 °C значение $\Delta T_{доп.расч}$ соответствует значению превышения температуры, приведенному в таблице 13.13.

Классификацию дефектов контактов и болтовых контактных соединений при токах нагрузки от 0,6·$I_{ном}$ до $I_{ном}$ следует выполнять по приведенному к номинальному току значению превышения температуры в соответствии с РД 153-34.0-20.363-99 [111, табл. 4-2] согласно таблице 13.14.

Таблица 13.14. Степени неисправности при оценке теплового состояния по превышению температуры

СТЕПЕНЬ НЕИСПРАВНОСТИ	ЗНАЧЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, °C	РЕКОМЕНДАЦИЯ
1	10–20	Начальная степень развития дефекта, которую следует держать под контролем
2	20–40	Развившийся дефект, учащенный контроль один раз в месяц. Устранение дефекта при первой необходимости
3	40, но не более значений, приведенных в таблице 13.13	Аварийный дефект. Требует немедленного устранения

В качестве расчетного значения превышения температуры для первой ступени при номинальном токе рекомендуется принимать значение, соответствующее границе между начальной и развившейся степенями дефекта по таблице 13.14:

$$\Delta T_{ном.1} = 20\ [°C] \quad (13.2)$$

В качестве расчетного значения превышения температуры для второй ступени при номинальном токе следует принимать значение, соответствующее нижней границе аварийного дефекта по таблице 13.14, но не превышающее наибольшего допустимого превышения температуры контролируемого узла:

$$\Delta T_{ном.2} = мин\left(40; \Delta T_{доп.расч}\right)\ [°C] \quad (13.3)$$

Пересчет выбранного значения превышения температуры к максимальному фактическому рабочему току следует выполнять по формуле [5, 111, 132]:

$$\Delta T_{раб.k} = \Delta T_{ном.k} \cdot \left(\frac{I_{раб.макс}}{I_{ном}}\right)^2\ [°C] \quad (13.4)$$

где

$\Delta T_{раб.k}$ °C расчетное превышение температуры при максимальном фактическом рабочем токе

$\Delta T_{ном.k}$ °C выбранное по таблице 13.14 значение превышения температуры при номинальном токе

k — номер ступени контроля перегрева

$I_{ном}$ А номинальный ток контролируемого элемента

$I_{раб.макс}$ А максимальный фактический рабочий ток контролируемого элемента

Значения уставок **«Темп 1 ст»** и **«Темп 2 ст»** следует определять по формуле:

$$\text{Темп k ст} = \text{мин}\left(T_{окр.макс} + \Delta T_{раб.k}; T_{доп}\right) [°C] \quad (13.5)$$

где

$T_{окр.макс}$ °C максимальная фактическая температура окружающего воздуха в месте установки датчика

Значение уставки **«Темп 1 ст»** должно быть меньше значения уставки **«Темп 2 ст»**.

Окончательные значения уставок **«Темп 1 ст»** и **«Темп 2 ст»** следует принимать не выше расчетных значений, определенных по формуле (13.5), уменьшенных на предел допускаемой основной погрешности измерения температуры датчика, равный 2 °C, и округлять до значений, допускаемых устройством, в сторону уменьшения температуры срабатывания. Дополнительное занижение измеряемой температуры, обусловленное местом установки датчика и условиями теплопередачи, следует учитывать по результатам испытаний и наладки.

Для устройства **«Мелисса»** расчет по формуле (13.5) следует применять к уставкам **«Перегрев предупреждение»** и **«Перегрев авария»**. Для алгоритма **«Превышение температуры»** устройства **«Мелисса»** значение уставки следует принимать равным $\Delta T_{раб.k}$, поскольку температура окружающего воздуха измеряется отдельным датчиком и вычитается устройством автоматически.

Для устройства **«Кактус»** значения, определенные по формуле (13.5), следует применять к уставкам **«Срабатывание»** первой и второй ступеней. При этом расчетное значение должно быть дополнительно скорректировано с учетом погрешности соответствующей зоны измерения, коэффициента теплового излучения поверхности, расстояния до объекта и минимального размера контролируемого объекта. При низком коэффициенте теплового излучения следует предусматривать подготовку поверхности в соответствии с РЭ устройства.

Значения уставок **«Тсраб 1 ст»** и **«Тсраб 2 ст»** следует выбирать с учетом тепловой инерции контролируемого узла, характера изменения нагрузки, длительности пусковых и перегрузочных режимов, места установки датчика и качества его теплового контакта.

При отсутствии расчетных или экспериментальных данных рекомендуемые значения уставок для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует принимать равными:

$$\text{Тсраб 1 ст} = 10 [\text{мин}] \quad (13.6)$$

$$\text{Тсраб 2 ст} = 1 [\text{мин}] \quad (13.7)$$

Окончательные значения уставок следует уточнять по результатам наладки и эксплуатации.

13.4.2.3 Контроль по избыточной температуре

В соответствии с РД 153-34.0-20.363-99 [111, п. 4.7] и СТО 34.01-12-002-2023 [132, п. 9.3] оценку теплового состояния контактов и болтовых контактных соединений при токах нагрузки от 0,3·Iном до 0,6·Iном следует преимущественно выполнять по избыточной температуре. При несимметрии рабочих токов по фазам более 10 % применение контроля по избыточной температуре для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** не рекомендуется [132, п. 9.3.3], поскольку алгоритм определяет разность между максимальной и минимальной температурами датчиков группы без приведения температур отдельных фаз к одинаковой токовой нагрузке. Пересчет по формуле (13.8) учитывает рабочий ток при выборе уставки **«dТемп»**, но не компенсирует несимметрию фазных токов.

Для корректного применения данного способа датчики должны быть установлены на однотипных узлах разных фаз, находящихся в одинаковых условиях эксплуатации. Необходимо обеспечить одинаковое исполнение контактных соединений, одинаковые места установки датчиков и сопоставимые условия охлаждения.

В алгоритме **«Перегрев»** устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** избыточная температура определяется как разность между максимальной и минимальной температурами в группе датчиков и сравнивается с уставкой **«dТемп»**. Срабатывание алгоритма действует на предупредительную сигнализацию.

Нормированные расчетные значения избыточной температуры следует принимать по таблице 13.15, составленной на основании таблицы 4-3 РД 153-34.0-20.363-99 [111, табл. 4-3] и таблицы Г.2 СТО 34.01-12-002-2023 [132, табл. Г.2]. Значения при токе 0,5·$I_{ном}$ соответствуют областям неисправности, установленным РД 153-34.0-20.363-99 [111].

Таблица 13.15. Нормированные расчетные значения избыточной температуры и степени неисправности

СТЕПЕНЬ ДЕФЕКТА ПО ИЗБЫТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ	ИЗБЫТОЧНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТОКАХ НАГРУЗКИ, °С						
	I=0,3·$I_{ном}$	I=0,35·$I_{ном}$	I=0,4·$I_{ном}$	I=0,45·$I_{ном}$	I=0,5·$I_{ном}$	I=0,55·$I_{ном}$	I=0,6·$I_{ном}$
Начальная степень неисправности	2–4	2–5	3–6	4–8	5–10	6–12	7–14
Развившийся дефект	4–11	5–15	6–19	8–24	10–30	12–36	14–43
Аварийный дефект	более 11	более 15	более 19	более 24	более 30	более 36	более 43

Для одной ступени относительного перегрева рекомендуется выбирать порог, соответствующий нижней границе развившегося дефекта. При токе 0,5·$I_{ном}$ данное значение равно 10 °С. Выбор меньшего значения допускается для раннего выявления начальной степени неисправности при условии отстройки от нормальной разности температур и погрешностей датчиков.

Для промежуточного значения максимального фактического рабочего тока значение избыточной температуры следует определять по формуле [111, 132]:

$$\Delta T_{изб.раб} = \Delta T_{изб.0,5} \cdot \left(\frac{I_{раб.макс}}{0,5 \cdot I_{ном}}\right)^2 [°C] \quad (13.8)$$

где

$\Delta T_{изб.раб}$	°С	соответствующее значение избыточной температуры при максимальном фактическом рабочем токе
$\Delta T_{изб.0,5}$	°С	выбранное значение избыточной температуры при токе 0,5·Iном
$I_{ном}$	А	номинальный ток электроустановки (контролируемого элемента)
$I_{раб.макс}$	А	максимальный фактический рабочий ток электроустановки в рассматриваемых эксплуатационных режимах

Значение уставки **«dТемп»** следует выбирать с соблюдением условия:

$$\Delta T_{макс.экспл} + 4°C < dТемп < \Delta T_{изб.раб} \quad (13.9)$$

где

$\Delta T_{макс.экспл}$	°С	максимальная установившаяся разность температур исправных однотипных узлов, установленная по результатам наладки или эксплуатации

Пределы допускаемой основной погрешности измерения температуры датчика **«Мелисса»** составляют ±2 °С. Поэтому при определении разности температур погрешность следует принимать равной 4 °С независимо от количества датчиков в группе.

Полученное значение не учитывает разность температур, обусловленную неодинаковыми местами установки датчиков, качеством теплового контакта, конструктивными различиями контролируемых узлов и условиями их охлаждения. Указанные факторы следует учитывать отдельно по результатам наладки или эксплуатации.

Значение уставки **«dТемп»** устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, а также уставки **«Дифференциальная тепловая защита»** устройства **«Мелисса»** следует выбирать в пределах диапазона задания, установленного РЭ соответствующего устройства. Если расчетное значение, необходимое для выявления требуемой степени неисправности, меньше минимального значения уставки применяемого устройства, требуемая чувствительность алгоритма не обеспечивается. Для устройства **«Мелисса»** расчетное значение следует применять к уставке **«Дифференциальная тепловая защита»**. При отсутствии иных данных рекомендуемое значение уставки следует принимать равным 10 °С, выдержки времени — 5 мин.

Значение уставки **«Тсраб dT»** устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует принимать минимально возможным, но обеспечивающим отстройку от кратковременных разностей температур, обусловленных переходными режимами нагрузки и неодинаковой тепловой инерцией контролируемых узлов.

При отсутствии иных данных рекомендуется принимать:

$$Тсраб\ dT = 1\ [мин] \quad (13.10)$$

13.4.2.4 Контроль питания датчиков и связи

Уставка **«I мелисса»** задает порог контролируемого тока, используемый в логике сигнализации потери связи для разграничения режима недостаточного питания датчиков и режима нарушения связи при токе, достаточном для их работы.

Значение уставки **«I мелисса»** для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует выбирать с учетом фактического тока начала устойчивой передачи данных температурными датчиками **«Мелисса»**. Согласно РЭ указанных устройств ток начала устойчивой передачи данных зависит от длины ленты-сердечника и ширины воздушного зазора между лентой и контролируемым проводником. Увеличение длины ленты-сердечника или воздушного зазора приводит к увеличению тока начала устойчивой передачи данных.

Значение уставки **«I мелисса»** следует принимать не ниже наибольшего фактического тока начала устойчивой передачи данных датчиков контролируемой группы, определенного при наладке, в пределах диапазона задания уставки. При отсутствии уточненных данных значение уставки допускается предварительно принимать равным 9 А.

Если фактический ток начала устойчивой передачи данных превышает максимальное значение уставки **«I мелисса»**, корректная отстройка сигнализации потери связи по току данным алгоритмом не обеспечивается. В этом случае следует уменьшить длину ленты-сердечника, обеспечить ее плотное прилегание к контролируемому проводнику и повторно проверить ток начала устойчивой передачи данных.

Значение уставки **«Тсвязи»** следует выбирать по условию отстройки от кратковременных нарушений обмена, перезапуска датчика и переходных режимов его питания. При отсутствии иных данных рекомендуется принимать равным 5 мин.

Уставка **«Тсигн»** задает дополнительную выдержку времени от формирования системного сигнала **«Нет связи – датчик n»** до формирования выходного логического сигнала **«Пропажа связи – датчик n»**. При отсутствии иных данных рекомендуется принимать равным 10 мин. Полное время от прекращения обновления данных датчика до формирования сигнала **«Пропажа связи – датчик n»** определяется суммой уставок **«Тсвязи»** и **«Тсигн»**. Формирование сигнала **«Потеря связи – датчик n»**, действующего на предупредительную сигнализацию, дополнительно зависит от выбранного режима сигнализации потери связи в группе.

13.4.2.5 Контроль теплового состояния контактных соединений кабельных наконечников 6–20 кВ

В связи с отсутствием отдельных нормативно-технических документов, регламентирующих выбор уставок контактных датчиков температуры для контроля кабельных наконечников, положения РД 153-34.0-20.363-99 [111], СТО 34.01-12-002-2023 [132] и СТО ИНТИ М.130.1-2023 [137] следует использовать в качестве методической основы в части выбора контролируемого узла, способа оценки его теплового состояния и учета условий установки средства температурного контроля. Положения указанных СТО, относящиеся непосредственно к термоиндикаторным наклейкам, допускается применять к датчикам температуры по аналогии с учетом особенностей их конструкции и принципа действия.

В соответствии с СТО 34.01-12-002-2023 [132, прил. Ж, пп. Ж.3.6.1, Ж.3.6.2] контактные соединения жил кабелей с кабельными наконечниками, выполняемые обжатием или пайкой, не имеют нормированных наибольших допустимых температур нагрева. Кабельные наконечники могут быть изготовлены из меди, алюминия или их сплавов и присоединяются к отводу шин или аппаратному выводу посредством болтового контактного соединения. Температура, регистрируемая датчиком на кабельном наконечнике, может определяться тепловым состоянием контактного соединения жилы кабеля с наконечником, болтового контактного соединения наконечника с отводом шин или аппаратным выводом, а также условиями теплопередачи между указанными элементами. Поэтому измеряемая температура характеризует тепловое состояние сопряженного узла и не всегда может быть однозначно отнесена только к одному контактному соединению.

Значения строк 6.1–6.6 таблицы 13.13, установленные для токоведущих жил силовых кабелей в длительном режиме при наличии изоляции, не следует непосредственно применять для выбора уставок контроля контактных соединений кабельных наконечников.

При размещении датчиков **«Мелисса»**, а также при выборе уставок алгоритма **«Перегрев»** следует учитывать, что:

- датчик, установленный непосредственно на кабельном наконечнике, может регистрировать перегрев, обусловленный как дефектом контактного соединения жилы кабеля с наконечником, выполненного обжатием или пайкой, так и дефектом болтового контактного соединения наконечника с отводом шин или аппаратным выводом;
- при установке датчика поверх термоусадочного изоляционного слоя измеряемая температура может быть ниже температуры металлической части наконечника вследствие теплового сопротивления изоляционного слоя. В соответствии с СТО 34.01-12-002-2023 [132, прил. Ж, п. Ж.3.6.2] и СТО ИНТИ М.130.1-2023 [137, п. 6.4.7] для термоиндикаторных наклеек указанное снижение учитывается уменьшением температурной

шкалы на 10–20 °С в зависимости от толщины слоя. При отсутствии специальных данных для датчика «Мелисса» указанный диапазон допускается использовать как ориентировочную оценку с последующим уточнением по данным изготовителя либо по результатам испытаний и наладки.

Выбор способа контроля теплового состояния кабельных наконечников 6–20 кВ следует выполнять с учетом диапазона токовой нагрузки, места установки датчика и наличия изоляционных слоев, влияющих на теплопередачу:

- при токах нагрузки от $0{,}6 \cdot I_{ном}$ до $I_{ном}$ допускается применять контроль по температуре нагрева с использованием уставок **«Темп 1 ст»**, **«Темп 2 ст»**, **«Тсраб 1 ст»** и **«Тсраб 2 ст»**, если датчик размещен в зоне, преимущественно характеризующей тепловое состояние болтового контактного соединения. Значения температурных уставок следует выбирать по нормируемым температурам соответствующего болтового контактного соединения с учетом материала и покрытия контактных поверхностей;
- при токах нагрузки от $0{,}3 \cdot I_{ном}$ до $0{,}6 \cdot I_{ном}$, а также при установке датчика поверх термоусадочного изоляционного слоя рекомендуется применять контроль по избыточной температуре — относительному перегреву — с использованием уставок **«dТемп»** и **«Тсраб dT»**. Такой контроль допускается при несимметрии фазных токов не более 10 %, одинаковом конструктивном исполнении наконечников, одинаковых местах установки датчиков и сопоставимой толщине и исполнении изоляционных слоев;
- при токах нагрузки менее $0{,}3 \cdot I_{ном}$ достоверное выявление дефекта по нормированным температурным критериям не обеспечивается; результаты контроля следует рассматривать как диагностические.

Если датчик установлен в зоне контактного соединения жилы кабеля с наконечником и место его установки не обеспечивает преимущественного контроля болтового контактного соединения наконечника с отводом шин или аппаратным выводом, тепловое состояние следует оценивать по избыточной температуре независимо от диапазона токовой нагрузки. Для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует применять уставки **«dТемп»** и **«Тсраб dT»**, а для устройства **«Мелисса»** — алгоритм **«Дифференциальная тепловая защита»**.

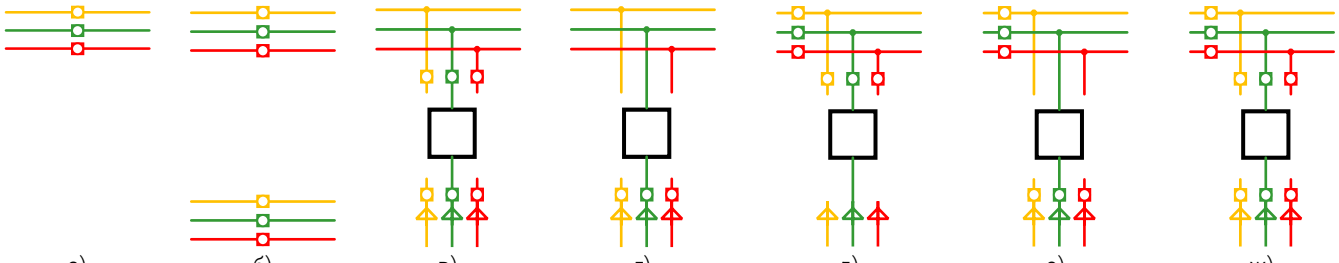
Точное место повышенного нагрева следует устанавливать при внеочередном тепловизионном контроле [132, прил. Ж, п. Ж.3.6.2; 137, п. 6.4.7].

13.4.2.6 Размещение датчиков «Мелисса» в ячейках РУ 6–35 кВ

Датчики **«Мелисса»** следует размещать непосредственно на контролируемых токоведущих частях в местах, температура которых в наибольшей степени характеризует тепловое состояние соответствующего контакта, контактного соединения или проводника. При размещении датчиков следует соблюдать требования РЭ к способу их крепления, плотности прилегания ленты-сердечника к контролируемой токоведущей части, минимальным изоляционным расстояниям и условиям устойчивой беспроводной связи.

Датчики, объединяемые в одну группу для контроля относительного перегрева, следует устанавливать на однотипных узлах разных фаз в одинаковых местах и по возможности в одинаковых условиях охлаждения. Устойчивость обмена данными между датчиками и устройством **«Алтей-01»** или **«Лютик-Плюс»** следует проверять при наладке.

Типовые варианты размещения датчиков **«Мелисса»** в ячейках РУ 6–35 кВ приведены на рисунке 13.1. Конкретные места установки датчиков следует определять с учетом схемы первичных соединений, конструктивного исполнения ячейки и принятого объема контроля теплового состояния.



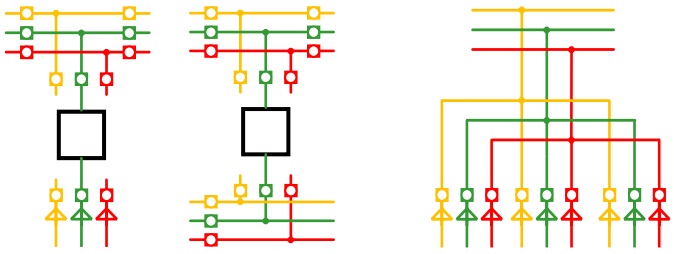


Рисунок 13.1. Примеры размещения датчиков «Мелисса» в ячейках РУ 6–35 кВ

На рисунке 13.1 приведены следующие варианты размещения датчиков:

а — контроль температуры на одном участке сборных шин;

б — контроль температуры на двух участках сборных шин;

в — контроль температуры на участках до и после коммутационного аппарата;

г — контроль температуры на участке после коммутационного аппарата в месте присоединения кабеля;

д — контроль температуры на участке сборных шин и на участке до коммутационного аппарата;

е — контроль температуры на участке сборных шин и на участке после коммутационного аппарата в месте присоединения кабеля;

ж — контроль температуры на участке сборных шин, а также на участках до и после коммутационного аппарата;

з — контроль температуры на участках сборных шин до и после ответвления отходящей линии, а также на участках до и после коммутационного аппарата;

и — контроль температуры на двух участках сборных шин, а также на участках до и после коммутационного аппарата;

к — контроль температуры в месте присоединения кабеля; в примере показано по три жилы на фазу.

13.5 РЕСУРС ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

13.5.1 Общие сведения

Функция учета ресурса выключателя предназначена для расчетной оценки остаточного (текущего) ресурса выключателя и учета успешно выполненных операций отключения. Полученное значение остаточного ресурса может использоваться в качестве одного из показателей при планировании технического обслуживания и ремонта выключателя. Решение о возможности дальнейшей эксплуатации, необходимости технического обслуживания или ремонта следует принимать с учетом требований эксплуатационных документов изготовителя выключателя, результатов технического диагностирования и данных эксплуатации. В практике эксплуатации наибольший интерес представляет остаточный ресурс, поскольку его значение характеризует степень использования установленного ресурса выключателя и может применяться при определении межремонтного периода и критерия вывода выключателя в ремонт [93, 94].

Учет ресурса ведется по результатам выполненных операций[1] отключения выключателя. Исходные значения механического и коммутационного ресурсов, номинального тока и номинального тока отключения выключателя следует принимать по ТУ, паспорту или РЭ конкретного выключателя. При отсутствии указанных данных применение усредненных значений ресурсных показателей не рекомендуется.

Современные подходы к контролю ресурса выключателей ориентированы на переход к техническому обслуживанию по состоянию и используют данные, регистрируемые при каждой операции отключения. Это позволяет осуществлять непрерывный мониторинг, оценку и прогнозирование остаточного ресурса, а также визуализацию изменения его значения в процессе эксплуатации [67, 99].

В качестве дополнительного справочного ориентира при представлении результатов учета ресурса допускается учитывать положения Приказа Минэнерго России № 676 [83] с учетом области его применения. Особенности использования указанных положений при выборе уставки **«Qресурс сигн»** приведены в 13.5.2.

[1] Согласно ГОСТ Р 52565-2006, прил. А, п. А.3.1–А.3.3 [44] операция — перемещение контактов главной цепи выключателя из разомкнутого положения в замкнутое (операция включения) или из замкнутого положения в разомкнутое (операция отключения)

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** функция имеет наименование **«Ресурс выключателя»**, в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** — **«Остаточный ресурс выключателя»**. Основные параметры указанных алгоритмов приведены в таблице 13.16. В устройстве **«Лютик»** функция учета ресурса выключателя не реализована.

Таблица 13.16. Алгоритм «Ресурс выключателя» («Остаточный ресурс выключателя»)

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Расчет при автоматическом и оперативном отключении выключателя	–	+	+	+	+
Использование максимального действующего значения фазных токов за время отключения	–	+	+	+	+
Сигнализация при снижении остаточного ресурса ниже заданного порога	–	+	+	+	+
Сигнализация при отключении тока, превышающего номинальный ток отключения выключателя	–	+	+	+	+
Учет коммутаций без тока	–	+	+	+	+
Учет коммутаций рабочих токов	–	+	+	+	+
Учет коммутаций токов КЗ	–	+	+	+	+

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.17.

Таблица 13.17. Уставки алгоритма «Ресурс выключателя» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Ресурс выключателя							
Iном Q	А	1,5	0,5	100	0,01	-	Номинальный ток выключателя вторичный
Iном Q откл	А	25	0,5	1000	0,01	-	Номинальный ток отключения выключателя вторичный
Qмр	-	50000	0	200000	1	-	Механический ресурс выключателя
Qкр	-	50000	0	200000	1	-	Коммутационный ресурс выключателя при номинальном токе
Qкр откл	-	100	0	2000	1	-	Коммутационный ресурс выключателя при номинальном токе отключения
Qресурс	%	100	0	100	1	-	Текущий ресурс выключателя
Qресурс сигн	%	10	0	100	1	-	Уставка сигнализации снижения ресурса выключателя
Кном	-	0	0	200000	1	-	Количество коммутаций при номинальном токе
Кном откл	-	0	0	2000	1	-	Количество коммутаций при номинальном токе отключения
Кобщ	-	0	0	200000	1	-	Общее количество коммутаций

Для устройства **«Алтей-БЗП»** применяется наименование уставки **«Iном Q откл»**, для устройства **«Алтей-БЗП2»** — **«Iном откл Q»**.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.18.

Таблица 13.18. Уставки алгоритма «Остаточный ресурс выключателя» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Ресурс выключателя							
Iном Q	А	1,5	0,5	100	0,01	-	Номинальный ток выключателя вторичный
Iном откл Q	А	25	0,5	500	0,01	-	Номинальный ток отключения выключателя вторичный
Qмр	-	50000	0	200000	1	-	Механический ресурс выключателя
Qкр	-	50000	0	200000	1	-	Коммутационный ресурс выключателя при номинальном токе
Qкр откл	-	100	0	2000	1	-	Коммутационный ресурс выключателя при номинальном токе отключения

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Qресурс	%	100	0	100	1	-	Текущий ресурс выключателя
Qресурс сигн	%	10	0	100	1	-	Уставка сигнализации снижения ресурса выключателя
Кном	-	0	0	200000	1	-	Количество коммутаций при номинальном токе
Кном откл	-	0	0	2000	1	-	Количество коммутаций при номинальном токе отключения
Кобщ	-	0	0	200000	1	-	Общее количество коммутаций

Значения дискретности задания уставок **«Iном Q»**, **«Iном откл Q»**, **«Qмр»**, **«Qкр»**, **«Qкр откл»**, **«Qресурс»**, **«Qресурс сигн»**, **«Кном»**, **«Кном откл»** и **«Кобщ»** приведены по РЭ устройства **«Алтей-01»**. В РЭ устройства **«Лютик-Плюс»** отдельные значения дискретности задания указанных уставок не приведены.

13.5.2 Расчет уставок

Исходные данные для расчета и задания уставок функции учета ресурса выключателя следует принимать по ТУ, паспорту и РЭ конкретного выключателя. Для выключателя, находящегося в эксплуатации, дополнительно следует учитывать сведения о выполненных коммутационных операциях, проведенных ремонтах и замене узлов. Использование усредненных ресурсных показателей, не относящихся к установленному типу выключателя, не допускается.

Значение уставки **«Iном Q»** следует определять по формуле:

$$\text{Iном Q} = \frac{\text{I}_{\text{ном}}}{\text{k}_{\text{ТТ}}} \text{ [А]} \quad (13.11)$$

где

$\text{I}_{\text{ном}}$ А номинальный ток выключателя, принимаемый по ТУ, паспорту или РЭ выключателя

$\text{k}_{\text{ТТ}}$ – коэффициент трансформации фазных ТТ, определяемый по формуле (2.3)

Значение уставки **«Iном Q откл»** для устройства **«Алтей-БЗП»** и значение уставки **«Iном откл Q»** для устройств **«Алтей-БЗП2»**, **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** следует определять по формуле:

$$\text{Iном Q откл}(\text{Iном откл Q}) = \frac{\text{I}_{\text{ном.откл}}}{\text{k}_{\text{ТТ}}} \text{ [А]} \quad (13.12)$$

где

$\text{I}_{\text{ном.откл}}$ А номинальный ток отключения выключателя, принимаемый по ТУ, паспорту или РЭ выключателя

Значение уставки **«Qмр»** следует принимать равным ресурсу выключателя по механической стойкости, выраженному числом циклов «включение – пауза – отключение» без тока в главной цепи.

Если в документации указан только класс механической стойкости, значение уставки **«Qмр»** допускается принимать не менее 2000 циклов В–О для выключателя класса М1 и не менее 10000 циклов В–О для выключателя класса М2 в соответствии с ГОСТ Р 52565-2006 [44, п. 6.4.13].

Операции включения и отключения, выполняемые при отсутствии тока и (или) напряжения в главной цепи, согласно ГОСТ Р 52565-2006 [44], относятся к механическим операциям. Выключатель класса М1 имеет нормальную механическую износостойкость, а выключатель класса М2 – повышенную механическую износостойкость.

Значение уставки **«Qкр»** следует принимать равным установленному изготовителем допустимому числу операций отключения или циклов В–О при номинальном токе выключателя. Конкретное значение следует принимать по ТУ, паспорту или РЭ выключателя.

Значение уставки **«Qкр откл»** следует принимать равным установленному изготовителем допустимому числу операций отключения или циклов В–О при номинальном токе отключения выключателя. Конкретное значение следует принимать по ТУ, паспорту или РЭ выключателя.

Несмотря на возможность задания нулевого значения, предусмотренную диапазонами уставок устройств, при введенной функции значения уставок **«Qмр»**, **«Qкр»** и **«Qкр откл»** следует принимать больше нуля, поскольку они используются в расчетных зависимостях снижения остаточного ресурса выключателя.

Зависимость допустимого числа операций отключения от отключаемого тока в документации изготовителя может быть представлена таблицей, графиком либо аналитической характеристикой. Для задания функции в устройствах **«Алтей»** и

«Лютик-Плюс» из указанной зависимости следует определить два значения: допустимое число операций отключения при номинальном токе выключателя для уставки **«Qкр»** и при номинальном токе отключения для уставки **«Qкр откл»**.

Если необходимые точки непосредственно не приведены, их значения следует определять по установленной изготовителем зависимости. При использовании интервальных данных следует принимать меньшее допустимое число операций для соответствующего диапазона токов. Подходы к определению сработанного и остаточного ресурса по дискретным, графическим и аналитическим зависимостям рассмотрены в [67, 93, 94, 99].

Ввод в устройство дополнительных точек характеристики коммутационного ресурса не предусмотрен. Расход ресурса при промежуточных значениях отключаемого тока рассчитывается устройством по встроенным зависимостям, определяемым значениями токовых уставок **«Iном Q»** и **«Iном Q откл»** или **«Iном откл Q»**, а также значениями уставок **«Qмр»**, **«Qкр»** и **«Qкр откл»**.

Согласно ГОСТ Р 52565-2006 [44, п. 6.6.4] допустимое для каждого полюса выключателя без осмотра и ремонта дугогасительного устройства число операций отключения и включения при токах КЗ и нагрузочных токах должно быть установлено в ТУ и эксплуатационных документах. Для газовых и вакуумных выключателей минимально допустимое число отключений при номинальном токе отключения приведено в таблице 13.19.

Таблица 13.19. Минимально допустимое число отключений при номинальном токе отключения по ГОСТ Р 52565-2006

ВИДЫ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ	ДОПУСКАЕМОЕ ЧИСЛО ОТКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ТОКАХ $I_{ном.откл}$, КА			
	До 31,5 (включ.)	40	50	63
Газовые	20	15	12	8
Вакуумные	25	20	18	10

Значения таблицы 13.19 соответствуют ГОСТ Р 52565-2006, п. 6.6.4, таблица 13, и также приведены в СТО 34.01-3.1-005-2024 [133].

При отсутствии в документации изготовителя значения коммутационного ресурса при номинальном токе отключения, приведенные в таблице 13.19 значения допускается использовать в качестве консервативной оценки для выбора уставки **«Qкр откл»** для газового или вакуумного выключателя, на который распространяется ГОСТ Р 52565-2006 [44]. Для выключателей иных видов или специальных исполнений необходимые данные следует запросить у изготовителя.

Таблица 13.19 не устанавливает значения коммутационного ресурса при номинальном нагрузочном токе. При отсутствии данных, необходимых для выбора уставки **«Qкр»**, их следует запросить у изготовителя выключателя.

Для выключателей, разработанных до 1 января 2007 г., при отсутствии более точных данных изготовителя следует учитывать требования ГОСТ 687-78 [30, п. 3.6.8]. Указанным стандартом нормировано допустимое число отключений в диапазонах от 30 до 60 % и свыше 60 до 100 % номинального тока отключения, причем для нижнего диапазона допустимое число отключений должно быть не менее чем в 1,7 раза больше значения, установленного для верхнего диапазона.

ГОСТ Р 52565-2006 [44] также предусматривает увеличение минимально допустимого числа отключений в 1,7 раза при токе КЗ, равном $0{,}6 \cdot I_{ном.откл}$. Данное соотношение следует использовать для проверки соответствия исходных данных выключателя, но не в качестве отдельной уставки функции.

Для нового выключателя значение уставки **«Qресурс»** следует принимать равным:

$$Qресурс = 100\ [\%] \tag{13.13}$$

Значения уставок **«Кном»**, **«Кном откл»** и **«Кобщ»** для нового выключателя следует принимать равными нулю.

Для выключателя, ранее находившегося в эксплуатации, значение уставки **«Кном»** следует принимать равным количеству ранее успешно выполненных операций отключения, отнесенных к коммутациям рабочих токов.

Значение уставки **«Кном откл»** следует принимать равным количеству ранее успешно выполненных операций отключения, отнесенных к коммутациям токов КЗ.

Значение уставки **«Кобщ»** следует принимать равным общему количеству ранее успешно выполненных операций отключения, включая коммутации без тока, коммутации рабочих токов, коммутации токов КЗ и, при их наличии, коммутации токов, превышающих номинальный ток отключения выключателя.

Начальные значения уставок **«Кном»** и **«Кном откл»** следует определять по эксплуатационным журналам, журналам событий, осциллограммам и иным достоверным данным, содержащим сведения о значениях отключаемых токов. Начальное

значение уставки **«Кобщ»** следует определять по данным механического счетчика операций выключателя, эксплуатационных журналов и журналов событий.

При использовании показаний механического счетчика следует учитывать установленный изготовителем принцип его работы — учет отдельных операций включения или отключения либо циклов В–О — и при необходимости приводить его показания к числу успешных операций отключения, учитываемых функцией.

Для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** начальное значение уставки **«Qресурс»** для выключателя, ранее находившегося в эксплуатации, следует принимать по данным ранее применявшегося устройства учета ресурса либо определять по документально подтвержденным сведениям о выполненных коммутациях, проведенных ремонтах и восстановленном ресурсе выключателя.

При отсутствии достоверных данных, позволяющих определить остаточный ресурс выключателя, значение уставки **«Qресурс»** следует устанавливать по согласованию с изготовителем выключателя или эксплуатирующей организацией с учетом фактического технического состояния оборудования. Принимать значение уставки **«Qресурс»** равным 100 % для выключателя, ранее находившегося в эксплуатации, без соответствующего обоснования не допускается.

Если известны только суммарные количества операций, начальное значение уставки **«Qресурс»** допускается ориентировочно определять по формуле:

$$Q\text{ресурс} = \text{макс}\left(0; 1 - \frac{\text{Кобщ} - \text{Кном} - \text{Кном откл}}{\text{Qмр}} - \frac{\text{Кном}}{\text{Qкр}} - \frac{\text{Кном откл}}{\text{Qкр откл}}\right) \cdot 100 \ \ \% \qquad (13.14)$$

где

$\text{Кобщ} - \text{Кном} - \text{Кном откл}$ – количество ранее успешно выполненных операций отключения без тока

Кном – количество ранее успешно выполненных операций отключения, отнесенных к коммутациям рабочих токов

Кном откл – количество ранее успешно выполненных операций отключения, отнесенных к коммутациям токов КЗ

Формулу (13.14) допускается применять при выполнении условия:

$$\text{Кобщ} \geq \text{Кном} + \text{Кном откл} \qquad (13.15)$$

а также при отсутствии сведений об отключении тока, превышающего номинальный ток отключения выключателя.

При расчете по формуле (13.14) коммутации рабочих токов консервативно учитываются с расходом ресурса при номинальном токе выключателя, а коммутации токов КЗ — с расходом ресурса при номинальном токе отключения. Поэтому результат расчета является ориентировочной консервативной оценкой остаточного ресурса выключателя.

При наличии сведений хотя бы об одной операции отключения тока, превышающего номинальный ток отключения выключателя, значение уставки **«Qресурс»** следует принимать равным нулю.

После ремонта выключателя или замены отдельных узлов значения уставок **«Qресурс»**, **«Кном»**, **«Кном откл»** и **«Кобщ»** следует изменять только при наличии документально подтвержденных данных о восстановленном механическом и коммутационном ресурсе. Новые значения уставок следует принимать по эксплуатационной или ремонтной документации либо по заключению изготовителя выключателя.

При установке нового выключателя значения уставок **«Qресурс»**, **«Кном»**, **«Кном откл»** и **«Кобщ»** следует принимать в соответствии с требованиями, установленными выше для нового выключателя.

Значение уставки **«Qресурс сигн»** следует выбирать с учетом требований изготовителя выключателя, установленного порядка технического обслуживания и времени, необходимого для подготовки и проведения ремонта после появления предупредительного сигнала.

Если после появления сигнала требуется обеспечить запас в заданное число операций, значение уставки **«Qресурс сигн»** допускается ориентировочно определять по формуле:

$$Q\text{ресурс сигн} = \text{мин}\left(100; \frac{\text{К}_{\text{зап}}}{\text{мин}(\text{Qмр}; \text{Qкр}; \text{Qкр откл})} \cdot 100\right) \ \ \% \qquad (13.16)$$

где

$\text{К}_{\text{зап}}$ – требуемое число операций отключения, которое должно быть обеспечено после появления предупредительного сигнала до проведения технического обслуживания или ремонта; значение принимается по требованиям изготовителя либо эксплуатирующей организации

Формула (13.16) обеспечивает консервативный выбор по виду коммутации, характеризующемуся наименьшим допустимым числом операций.

В [99] для визуализации состояния выключателя использованы пороги износа, равные 30, 50 и 75 % номинального коммутационного ресурса, которым соответствуют значения остаточного ресурса 70, 50 и 25 %. При использовании данного подхода значение уставки **«Qресурс сигн»** допускается ориентировочно определять по формуле:

$$Qресурс\ сигн = 100 - N_{износ}\ [\%] \quad (13.17)$$

где

$N_{износ}$ % порог износа номинального коммутационного ресурса. В качестве справочных значений по [99] могут приниматься:

- 30 – граница хорошего состояния
- 50 – граница удовлетворительного состояния
- 75 – граница приближения к порогу технического обслуживания
- >75 – критическое истощение ресурса

Приведенные в [99] пороги и соответствующая им визуализация состояния выключателя могут использоваться при выборе уставки **«Qресурс сигн»** только как дополнительный ориентир. Указанные пороги являются авторской адаптацией градаций технического состояния, приведенных в Приказе Минэнерго России № 676 [83, п. 2.4, таблица 1], и непосредственно данным Приказом не установлены.

Приказ Минэнерго России № 676 [83] распространяется на выключатели класса напряжения 35 кВ и выше. Для выключателей 6–20 кВ указанные градации могут использоваться только в качестве ненормативного справочного ориентира.

Окончательное значение уставки **«Qресурс сигн»** следует принимать равным наибольшему из значений, определенных по требованиям изготовителя выключателя, требованиям эксплуатирующей организации и условию обеспечения необходимого запаса операций до проведения технического обслуживания или ремонта.

Начальное значение уставки **«Qресурс сигн»**, равное 10 %, установленное в РЭ устройств, допускается сохранять только при подтверждении достаточности соответствующего ему запаса ресурса.

13.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ

13.6.1 Общие сведения

Алгоритм **«Определение места повреждения»** (ОМП) предназначен для определения вида многофазного короткого замыкания и расстояния от места установки устройства до места повреждения на ЛЭП. Результаты ОМП используются оперативным и ремонтным персоналом для сокращения времени поиска поврежденного участка и восстановления электроснабжения.

Алгоритм реализован в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»**. В устройстве **«Лютик»** алгоритм не реализован.

Для ВЛ 35 кВ применение автоматического определения места повреждения как в составе АСУ ТП, так и в составе локальных устройств соответствует рекомендациям [109, п. 9.2.5]. Следует учитывать, что встроенный в устройства **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»** алгоритм **«ОМП»** не заменяет отдельные устройства определения места повреждения, необходимость применения которых устанавливается проектными решениями. Для ВЛ 35 кВ необходимость установки отдельного устройства ОМП следует определять с учетом протяженности линии, характера трассы, значимости ВЛ и местных условий; использование функции ОМП в составе микропроцессорного устройства РЗА, согласно СТО 34.01-21.1-001-2017, допускается в качестве резервного средства [138, п. 9.9.3.1].

Основные параметры алгоритма **«Определение места повреждения»**, реализуемого в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 13.20.

Таблица 13.20. Алгоритм «Определение места повреждения»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Допустимый режим нейтрали сети	–	Изолированная, компенсированная или комбинированная	Изолированная или комбинированная	Изолированная или комбинированная	Изолированная или комбинированная
Начало расчета от ТО 1, ТО 2	–	Пуск	Пуск	Срабатывание	Срабатывание
Начало расчета от МТЗ 1, МТЗ 2	–	Пуск	Пуск	Срабатывание	Срабатывание
Начало расчета от ДЗ 1–ДЗ 4	–	–	–	Срабатывание	Срабатывание
Количество однородных участков ЛЭП	–	1–10	1–10	1–10	1–10
Фиксация результата в журнале ОМП	–	+	+	+	+

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Выходной логический сигнал «ОМП расч»	–	+	+	–	–

Расчет расстояния до места повреждения выполняется в течение действия выбранного условия начала расчета и заканчивается после его исчезновения. После успешного окончания расчета результат фиксируется в журнале ОМП. Самостоятельные выдержки времени начала и окончания расчета алгоритма не предусмотрены.

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.21.

Таблица 13.21. Уставки алгоритма «Определение места повреждения» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$К_{возвр}$	
Определение места повреждения							
Nуч	-	1	1	10	1	-	Количество участков ЛЭП
L1	км	10	0	100	0,01	-	Длина 1 участка
X1	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 1 участка
R1	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 1 участка
L2	км	0	0	100	0,01	-	Длина 2 участка
X2	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 2 участка
R2	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 2 участка
L3	км	0	0	100	0,01	-	Длина 3 участка
X3	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 3 участка
R3	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 3 участка
L4	км	0	0	100	0,01	-	Длина 4 участка
X4	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 4 участка
R4	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 4 участка
L5	км	0	0	100	0,01	-	Длина 5 участка
X5	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 5 участка
R5	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 5 участка
L6	км	0	0	100	0,01	-	Длина 6 участка
X6	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 6 участка
R6	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 6 участка
L7	км	0	0	100	0,01	-	Длина 7 участка
X7	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 7 участка
R7	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 7 участка
L8	км	0	0	100	0,01	-	Длина 8 участка
X8	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 8 участка
R8	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 8 участка
L9	км	0	0	100	0,01	-	Длина 9 участка
X9	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 9 участка
R9	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 9 участка
L10	км	0	0	100	0,01	-	Длина 10 участка
X10	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 10 участка
R10	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 10 участка

Работу алгоритма в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.22.

Таблица 13.22. Уставки алгоритма «Определение места повреждения» для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Определение места повреждения							
Nуч	-	1	1	10	1	-	Количество участков ЛЭП
L1	км	10	0	100	0,01	-	Длина 1 участка
X1	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 1 участка
R1	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 1 участка
L2	км	0	0	100	0,01	-	Длина 2 участка
X2	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 2 участка
R2	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 2 участка
L3	км	0	0	100	0,01	-	Длина 3 участка
X3	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 3 участка
R3	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 3 участка
L4	км	0	0	100	0,01	-	Длина 4 участка
X4	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 4 участка
R4	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 4 участка
L5	км	0	0	100	0,01	-	Длина 5 участка
X5	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 5 участка
R5	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 5 участка
L6	км	0	0	100	0,01	-	Длина 6 участка
X6	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 6 участка
R6	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 6 участка
L7	км	0	0	100	0,01	-	Длина 7 участка
X7	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 7 участка
R7	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 7 участка
L8	км	0	0	100	0,01	-	Длина 8 участка
X8	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 8 участка
R8	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 8 участка
L9	км	0	0	100	0,01	-	Длина 9 участка
X9	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 9 участка
R9	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 9 участка
L10	км	0	0	100	0,01	-	Длина 10 участка
X10	Ом/км	0,04	0,001	60	0,001	-	Погонное индуктивное сопротивление 10 участка
R10	Ом/км	0,01	0,001	60	0,001	-	Погонное активное сопротивление 10 участка

13.6.2 Расчет уставок

До выбора уставок алгоритма **«ОМП»** следует определить границы контролируемой ЛЭП и представить ее в виде последовательно расположенных однородных участков. Нумерацию участков следует выполнять от места установки устройства в направлении удаленного конца ЛЭП. Границы участков следует принимать в местах изменения типа, марки или сечения провода либо кабеля, конструкции линии, а также иных параметров, влияющих на ее погонные активное и индуктивное сопротивления.

Значение уставки **«Nуч»** следует принимать равным количеству последовательно расположенных однородных участков контролируемой ЛЭП:

$$Nуч = n_{уч}, 1 \leq n_{уч} \leq 10 \quad (13.18)$$

где

$n_{уч}$ – количество участков ЛЭП с неизменными в пределах участка погонными активным и индуктивным сопротивлениями

Для однородной ЛЭП значение уставки **«Nуч»** следует принимать равным 1.

После разделения ЛЭП на однородные участки следует проверить выполнение условия:

$$L_{\Sigma} = \sum_{n=1}^{N_{уч}} L_n \quad (13.19)$$

где

L_{Σ} км полная длина контролируемой ЛЭП

L_n км длина n-го однородного участка ЛЭП

При наличии более 10 однородных участков допускается объединять смежные участки с близкими погонными параметрами. Эквивалентные погонные активное и индуктивное сопротивления объединенного участка следует определять по формулам:

$$R_{эк} = \frac{\sum_{k=1}^{m} R_k \cdot L_k}{\sum_{k=1}^{m} L_k} \quad (13.20)$$

$$X_{эк} = \frac{\sum_{k=1}^{m} X_k \cdot L_k}{\sum_{k=1}^{m} L_k} \quad (13.21)$$

где

$R_{эк}, X_{эк}$	Ом/км	эквивалентные погонные активное и индуктивное сопротивления объединенного участка
R_k, X_k	Ом/км	погонные активное и индуктивное сопротивления k-го объединяемого участка
L_k	км	длина k-го объединяемого участка
m	–	количество смежных участков, объединяемых в один эквивалентный участок.

Значения уставок длины участков **«L1»**–**«L10»**, а для устройства **«Лютик-Плюс»** – соответствующих индексированных уставок **«L_N»**, следует принимать равными фактическим длинам участков ЛЭП в километрах. Сумма заданных длин всех учитываемых участков должна быть равна полной длине контролируемой ЛЭП.

Значения уставок погонного индуктивного сопротивления **«X1»**–**«X10»** и погонного активного сопротивления **«R1»**–**«R10»**, а для устройства **«Лютик-Плюс»** – соответствующих индексированных уставок **«X_N»** и **«R_N»**, следует принимать для каждого участка по проектным или расчетным данным, паспорту ЛЭП либо справочным данным для соответствующих марки и сечения провода или кабеля. Указанные уставки задаются в первичных величинах в омах на километр и не пересчитываются во вторичные величины. Коэффициенты трансформации ТТ и ТН, используемые алгоритмом при расчете первичного сопротивления до места повреждения, следует задавать в соответствии с разделом 2.1.

Расчет расстояния до места повреждения рекомендуется выполнять по индуктивному сопротивлению[1]. Расчет по полному сопротивлению допускается применять для ЛЭП с односторонним питанием при металлических КЗ или при незначительном переходном активном сопротивлении в месте повреждения. При дуговых КЗ применение полного сопротивления может приводить к увеличению погрешности определения расстояния до места повреждения.

При отсутствии уточненных данных допускается предварительно принимать погонные сопротивления по справочным данным с последующим уточнением по проектной и эксплуатационной документации. Применение усредненных значений для неоднородной ЛЭП допускается только при объединении участков с близкими параметрами. При этом должны сохраняться суммарные активное и индуктивное сопротивления моделируемой части ЛЭП.

[1] Способ расчета расстояния до места повреждения задается программным ключом **«B719» «Использование полных сопротивлений»**.

Сигналы пуска алгоритма **«ОМП»** следует выбирать от ступеней защит, обеспечивающих выявление междуфазных КЗ в пределах контролируемой ЛЭП. Для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** расчет начинается при срабатывании выбранных ступеней ДЗ, ТО или МТЗ; для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** – при пуске выбранных ступеней ТО или МТЗ. Пуск ОМП от ступеней, зона действия которых выходит за пределы заданной расчетной модели ЛЭП, как правило, вводить не следует. Такой пуск допускается только при условии, что границы расчетной модели охватывают участок сети, для которого требуется определение места повреждения.

Окончательное значение уставки **«Nуч»**, а также значения уставок длины, погонного активного и погонного индуктивного сопротивлений участков следует принимать по утвержденной расчетной модели ЛЭП. При наладке рекомендуется проверить правильность определения алгоритмом расстояния до места повреждения и номера участка для расчетных сопротивлений, соответствующих началу и концу каждого заданного участка.

13.7 ОСЦИЛЛОГРАФИРОВАНИЕ

13.7.1 Общие сведения

Функция осциллографирования предназначена для регистрации аналоговых и дискретных сигналов при возникновении аварийных и иных заданных событий с целью последующего анализа работы устройств РЗА, коммутационных аппаратов и защищаемого электрооборудования.

Согласно ПУЭ для автоматической регистрации аварийных процессов в электрической части энергосистемы должны предусматриваться автоматические осциллографы [**100**, п. 1.6.20]. В соответствии с Приказом Минэнерго России № 101 на объектах электроэнергетики должна обеспечиваться регистрация аварийных событий и процессов [**143**, п. 11]. Установленные устройства регистрации аварийных событий и процессов, включая функции, реализованные в микропроцессорных устройствах РЗА, согласно ПТЭЭС, должны постоянно находиться в работе, за исключением случаев их вывода для технического обслуживания или при неисправности [**105**, п. 593].

Требования Приказа Минэнерго России № 101 к оснащению регистраторами аварийных событий и процессов непосредственно распространяются на объекты электроэнергетики высшим классом напряжения 110 кВ и выше [**143**, п. 134]. Для рассматриваемых в настоящей Методике присоединений напряжением 6–35 кВ положения указанного документа рекомендуется учитывать при определении состава регистрируемых сигналов и условий пуска записи.

ГОСТ Р 58601–2019 распространяется на автономные регистраторы аварийных событий и процессов. Встроенные функции осциллографирования устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** не являются автономными РАС, поэтому требования данного стандарта, в том числе требование к частоте дискретизации не менее 2400 Гц, непосредственно к ним не применяются. Вместе с тем положения ГОСТ Р 58601–2019 о длительности доаварийного, аварийного и послеаварийного режимов записи, условиях пуска и выборе пороговых значений контролируемых величин допускается использовать в качестве методической основы при настройке встроенных функций осциллографирования [**53**, табл. 9.2, 9.3, разд. 10].

В устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** функция имеет наименование **«Осциллографирование»**, в устройствах **«Алтей-01»**, **«Лютик-Плюс»** и **«Лютик»** – **«Осциллограф»**.

Запись осциллограмм в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** выполняется:

- при пуске и срабатывании функций защиты, автоматики и диагностики;
- при выполнении операций управления выключателем;
- по пользовательским и программируемым логическим сигналам;
- по командам, полученным с пульта управления, из программного обеспечения или по цифровым каналам связи, если такая возможность предусмотрена соответствующим устройством.

В устройствах предусмотрены импульсный и следящий режимы записи. В импульсном режиме после появления условия пуска формируется осциллограмма заданной длительности. В следящем режиме запись выполняется в течение времени существования условия пуска, но не менее значения уставки минимальной длительности записи. При превышении максимально допустимой длительности одной осциллограммы запись может продолжаться последовательностью нескольких файлов либо прекращаться после срабатывания предусмотренного в устройстве ограничения длительного пуска.

Основные параметры функции **«Осциллограф»** и **«Осциллографирование»**, реализованных в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 13.23.

Таблица 13.23. Функции «Осциллограф» и «Осциллографирование»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Формат записи	COMTRADE	COMTRADE	COMTRADE	COMTRADE	COMTRADE
Частота дискретизации, Гц	2000	2000	2000	2000	2000
Длительность предаварийной записи	0,1 с	Задается уставкой	Задается уставкой	Задается уставкой	Задается уставкой
Импульсный/следящий режим	+	+	+	+	+
Отдельно задаваемая длительность послеаварийной записи	–	+	+	+	+
Количество аналоговых сигналов	4	До 9	До 9	Не менее 12	Не менее 12
Количество дискретных сигналов	До 69	До 300	До 300	До 500	До 500
Возможность назначения дополнительных причин пуска	+	+	+	+	+

Работу функции в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.24.

Таблица 13.24. Уставки функции «Осциллографирование» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Осциллографирование							
Тосц доав	с	0,5	0,1	5	0,01	-	Длительность предаварийной записи
Тосц	с	2	0,1	10	0,01	-	Длительность записи
Тосц послеавар	с	0,5	0,1	5	0,01	-	Длительность послеаварийной записи (для следящего режима работы осциллографа)

Дополнительный набор уставок алгоритма **«Гибкой логики»**, которые могут быть использованы как дополнительные условия пуска записи осциллограмм в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** (при условии, что выбранные значения уставок обеспечивают корректную работу всех функций и логических схем, использующих сигналы соответствующих пусковых органов), приведен в таблице 13.25.

Таблица 13.25. Уставки алгоритма «Гибкая логика», используемые как дополнительные условия пуска записи осциллограмм (для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»)

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Гибкая логика							
U2 макс 1	В	5	5	30	0,01	0,95	Уставка максимального напряжения обратной последовательности №1
I2 макс 1	А	5	0,5	10	0,01	0,95	Уставка максимального тока обратной последовательности №1
3U0 макс 3	В	136	5	150	0,01	0,95	Уставка максимального напряжения нулевой последовательности №3
3I0 макс 1	А	5	0,1	100	0,01	0,95	Уставка максимального тока нулевой последовательности №1
U макс 1	В	130	50	150	0,01	0,95	Уставка максимального реле линейных напряжений № 1 — максимальное из линейных напряжений
U1апвн пуск	В	50	40	70	0,1	0,95	Уставка реле максимального напряжения прямой последовательности пуска АПВН
U1аосн пуск	В	45	10	70	0,1	1,05	Уставка реле минимального напряжения прямой последовательности пуска АОСН

Работу функции в устройстве **«Алтей-01»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.26.

Таблица 13.26. Уставки функции «Осциллограф» для «Алтей-01»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Осциллограф							
Тосц доав	с	0,5	0,1	5	0,01	-	Длительность предаварийной записи осциллографа
Тосц	с	2	0,1	10	0,01	-	Длительность записи осциллографа
Тосц после-авар	с	0,02	0,00	0,5	0,01	-	Длительность записи послеаварийного режима
Тдлит пуск	с	60	10	60	1	-	Максимальная длительность записи осциллографа в следящем режиме

Работу функции в устройстве **«Лютик-Плюс»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.27.

Таблица 13.27. Уставки функции «Осциллограф» для «Лютик-Плюс»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Осциллограф							
Тосц доав	с	0,5	0,1	5	0,01	-	Длительность предаварийной записи осциллографа
Тосц	с	2	0,1	10	0,01	-	Длительность записи осциллографа
Тосц па	с	0,02	0,00	0,5	0,01	-	Длительность записи послеаварийного режима

Дополнительный набор уставок алгоритма **«Гибкой логики»**, которые могут быть использованы как дополнительные условия пуска записи осциллограмм в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** (при условии, что выбранные значения уставок обеспечивают корректную работу всех функций и логических схем, использующих сигналы соответствующих пусковых органов), приведен в таблице 13.28.

Таблица 13.28. Уставки алгоритма «Гибкая логика», используемые как дополнительные условия пуска записи осциллограмм (для «Алтей-01» и «Лютик-Плюс»)

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Гибкая логика							
U2 макс 1	В	5	5	30	0,01	0,95	Уставка максимального реле напряжения обратной последовательности №1
I2 макс 1	А	5	0,5	10	0,01	0,95	Уставка максимального токового реле тока обратной последовательности №1
I2 макс 1[1]	А	5	0,25	10	0,01	0,95	Уставка максимального токового реле тока обратной последовательности №1
3U0 макс 3	В	5	5	100	0,01	0,95	Уставка максимального реле напряжения нулевой последовательности №3
3I0 макс 1	А	5	0,1	100	0,01	0,95	Уставка максимального токового реле тока нулевой последовательности №1
I1 макс 1	А	5	1	100	0,01	0,95	Уставка максимального токового реле тока прямой последовательности №1
U1 мин 1	В	80	5	100	0,01	1,02	Уставка минимального реле напряжения прямой последовательности №1
U макс 1	В	130	50	150	0,01	0,95	Уставка максимального реле линейных напряжений № 1 — максимальное из линейных напряжений
fмакс 1	Гц	51	35	55	0,01	-0,1 Гц	Уставка максимального реле частоты №1
fмин 1	Гц	49	35	55	0,01	+0,1 Гц	Уставка минимального реле частоты №1

Для пусковых органов по частоте вместо коэффициента возврата приведено смещение частоты возврата $\Delta f_{возвр}$, Гц.

[1] Для устройства **«Лютик-Плюс»**

13.7.2 Расчет уставок

ГОСТ Р 58601—2019 устанавливает требования к автономным регистраторам аварийных событий. Требования указанного стандарта непосредственно не распространяются на функции регистрации аварийных событий, встроенные в устройства РЗА. Положения ГОСТ Р 58601—2019 в части длительности записи, условий пуска и выбора пороговых значений контролируемых величин следует применять в качестве методической основы с учетом логики работы и диапазонов задания уставок устройств **«Алтей»** и **«Лютик»** по соответствующим РЭ.

13.7.2.1 Выбор длительности записи

Значение уставки **«Тосц доав»** следует выбирать по условию обеспечения регистрации предшествующего аварийному событию режима, необходимого для установления исходного состояния защищаемого присоединения, положения коммутационных аппаратов и последовательности формирования условий пуска защит и автоматики.

Согласно ГОСТ Р 58601—2019 длительность доаварийного режима записи должна составлять не менее 0,1 с [53, табл. 9.2]. При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тосц доав»** рекомендуется принимать равным 0,5 с. Увеличенное значение следует принимать при необходимости регистрации продолжительных процессов, предшествующих повреждению, в том числе пуска электродвигателя, работы автоматики восстановления нормального режима или последовательного переключения коммутационных аппаратов.

В устройстве **«Лютик»** длительность предаварийной записи составляет 0,1 с и отдельной уставкой не задается.

В импульсном режиме уставка **«Тосц»** определяет фиксированную длительность записи. В следящем режиме значение данной уставки определяет минимальную длительность записи; фактическая продолжительность записи зависит от длительности существования условия пуска и особенностей реализации ограничения длительного пуска в соответствующем устройстве **«Алтей»** и **«Лютик»**.

При отсутствии специальных требований значение уставки **«Тосц»** рекомендуется принимать равным 2 с. При этом следует проверить, что указанной длительности достаточно для регистрации действия защиты, собственного времени отключения выключателя и изменения состояния контролируемых дискретных сигналов. Для устройства **«Лютик»** значение уставки должно дополнительно соответствовать установленному для него диапазону от 0,1 до 3 с.

Значение уставки **«Тосц послеавар»** для устройств **«Алтей»**, а также значение уставки **«Тосц па»** для устройства **«Лютик-Плюс»** следует выбирать по условию регистрации послеаварийного режима после исчезновения условия пуска. Согласно ГОСТ Р 58601—2019 длительность послеаварийной записи должна составлять не менее 0,5 с [53, табл. 9.2]. Поэтому при наличии отдельной уставки длительности послеаварийной записи ее значение рекомендуется принимать равным 0,5 с. Для устройств, в которых допускается задание большего значения, его следует увеличивать только при необходимости регистрации последующего восстановления режима или действия автоматики.

Для устройства **«Лютик»** отдельная уставка длительности послеаварийной записи не предусмотрена; длительность записи определяется значением уставки **«Тосц»**, режимом работы осциллографа и продолжительностью существования причины пуска.

В следящем режиме должно обеспечиваться ограничение длительности аварийной записи при продолжительном сохранении условия пуска. Согласно ГОСТ Р 58601—2019 аварийный режим записи должен продолжаться в течение существования условия пуска, но не более времени блокировки от длительного пуска, установленного для соответствующего условия пуска [53, п. 9.2.1, табл. 9.2].

Ограничение длительного пуска в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»** реализуется следующим образом:

- в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** суммарная длительность последовательно записываемых осциллограмм в следящем режиме автоматически ограничена значением 60 с;
- в устройстве **«Алтей-01»** предусмотрена блокировка длительного пуска осциллографа. Параметр **«Длит.пуск блок.»** следует вводить в работу. Если продолжительность пуска превышает значение уставки **«Тдлит пуск»**, запись прекращается; блокировка снимается после исчезновения сигнала, являющегося причиной пуска осциллографа;

- в устройстве **«Лютик-Плюс»** при продолжительности события более 10 с выполняется последовательная запись трех осциллограмм максимальной длительности. При дальнейшем сохранении события запись прекращается и пуск осциллографа по данному сигналу блокируется;
- в устройстве **«Лютик»** предусмотрена опциональная блокировка длительного пуска осциллографа по уставке **«Тдлит пуск»**. При использовании следящего режима указанную блокировку следует вводить в работу. Блокировка снимается после исчезновения сигнала, являющегося причиной пуска осциллографа.

13.7.2.2 Выбор дополнительных условий пуска

Основными условиями пуска записи следует принимать пуск и срабатывание функций защиты, автоматики и диагностики, изменение положения выключателя, а также предусмотренные конфигурацией устройства команды ручного или дистанционного пуска.

Дополнительные условия пуска по контролируемым электрическим величинам следует предусматривать при необходимости регистрации ненормальных режимов, которые могут не сопровождаться пуском или срабатыванием функций защиты и автоматики. В соответствии с ГОСТ Р 58601—2019 в качестве основных условий автоматического пуска допускается использовать изменение напряжений и токов прямой, обратной и нулевой последовательностей, частоты, а также состояния дискретных сигналов. Допускается также использовать другие условия пуска по регистрируемым аналоговым и дискретным сигналам [53, табл. 9.3].

При наличии результатов измерений в нормальных и допустимых ремонтных режимах значения уставок дополнительных пусковых органов следует выбирать по условию отстройки от наибольших значений небаланса и отклонений контролируемых величин, зарегистрированных в процессе эксплуатации.

При отсутствии таких данных значения уставок допускается выбирать в соответствии с ГОСТ Р 58601—2019 [53, раздел 10]. Расчетные условия следует применять только для пусковых органов, предусмотренных соответствующим устройством и назначенных в качестве дополнительных причин пуска осциллографирования средствами гибкой логики или конфигурирования устройства.

Расчет уставок по токам и напряжениям следует выполнять в первичных величинах. Перед заданием в устройстве расчетные значения следует привести ко вторичным величинам в соответствии с разделом 2.1.

Исключение составляет уставка **«3U0 макс 3»**, значение которой следует выбирать непосредственно во вторичных величинах по условию отстройки от напряжения небаланса на вводах разомкнутого треугольника ТН в соответствии с указаниями раздела 12.2.

Расчет уставок **«U2 макс 1»**, **«I2 макс 1»**, **«3U0 макс 3»**, **«3I0 макс 1»** и **«U макс 1»** выполняется для устройств **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»**. Расчет уставки **«I1 макс 1»** и уставок пусковых органов по частоте выполняется только для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**.

Для пуска осциллографирования по повышению напряжения прямой последовательности в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** может использоваться сигнал пускового органа **«U1апвн пуск»**. Для пуска по снижению напряжения прямой последовательности в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** может использоваться сигнал пускового органа **«U1аосн пуск»**, а в устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** — сигнал пускового органа **«U1 мин 1»**. Для устройства **«Лютик»** приведенные ниже расчетные условия не применяются.

Значение уставки **«U2 макс 1»** следует выбирать по условию отстройки от напряжения обратной последовательности в нормальном нагрузочном режиме. При отсутствии эксплуатационных данных значение уставки следует определять по формуле:

$$\text{U2 макс 1} = 0{,}06 \cdot U_{\text{ф.ном}}\ [\text{В}] \tag{13.22}$$

где

$$U_{\text{ф.ном}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}}\ [\text{В}] \tag{13.23}$$

$U_{\text{ф.ном}}$ В номинальное фазное напряжение питающей сети

$U_{\text{ном}}$ В номинальное линейное напряжение питающей сети по ГОСТ Р 57382—2017 [51]

Значение уставки **«I2 макс 1»** следует выбирать по условию отстройки от тока обратной последовательности в нормальном нагрузочном режиме. При отсутствии эксплуатационных данных значение уставки следует определять по формуле:

$$I2\ макс\ 1 = 0{,}1 \cdot I_{дл.доп}\ [А] \quad (13.24)$$

где

$I_{дл.доп}$ А длительно допустимый ток по ЛЭП, оборудованию

Значение уставки **«3U0 макс 3»** следует выбирать по условию отстройки от напряжения небаланса на вводах разомкнутого треугольника ТН в нормальном режиме по аналогии с формулой (12.9) раздела 12.2.

При отсутствии данных измерений значение наибольшего вторичного напряжения небаланса следует принимать в соответствии с указаниями раздела 12.2 после формулы (12.9). При предварительном значении напряжения небаланса 4 В расчетное значение уставки **«3U0 макс 3»** составляет от 4,8 до 5,0 В. Окончательное значение уставки **«3U0 макс 3»** с учетом диапазона и дискретности задания следует принимать равным 5 В.

Значение уставки **«3I0 макс 1»** следует выбирать по условию отстройки от тока нулевой последовательности в нормальном нагрузочном режиме. При отсутствии эксплуатационных данных значение уставки следует определять по формуле:

$$3I0\ макс\ 1 = 0{,}06 \cdot I_{ав.доп}\ [А] \quad (13.25)$$

где

$I_{ав.доп}$ А аварийно допустимый ток по ЛЭП или оборудованию

Значение уставки **«I1 макс 1»** следует выбирать по условию отстройки от длительно допустимого тока ЛЭП или оборудования:

$$I1\ макс\ 1 = (1{,}1 - 1{,}5) \cdot I_{дл.доп}\ [А] \quad (13.26)$$

где

$I_{дл.доп}$ А длительно допустимый ток по ЛЭП, оборудованию

Конкретное значение коэффициента отстройки в диапазоне от 1,1 до 1,5 следует выбирать с учетом возможной перегрузки, погрешностей измерения и назначения дополнительного условия пуска. При наличии отдельной защиты от перегрузки значение уставки пуска осциллографа не должно приводить к непрерывному пуску при допустимых нагрузочных режимах.

ГОСТ Р 58601—2019 предусматривает в качестве основного условия пуска по напряжению повышение или снижение напряжения прямой последовательности U_1 [53, табл. 9.3]. Для непосредственной реализации данного условия в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует использовать сигналы пусковых органов **«U1апвн пуск»** и **«U1аосн пуск»**, контролирующих напряжение прямой последовательности.

Пусковой орган **«U макс 1»**, предусмотренный в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»**, контролирует максимальное из действующих значений линейных напряжений и не является полным функциональным аналогом максимального органа напряжения прямой последовательности. Указанный орган допускается применять как дополнительное условие пуска при необходимости регистрации повышения хотя бы одного из линейных напряжений. При несимметричных режимах условия пуска по максимальному линейному напряжению и по напряжению прямой последовательности могут не совпадать.

Значение уставки **«U1апвн пуск»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию отстройки от наибольшего рабочего значения напряжения прямой последовательности. Значение уставки **«U макс 1»** следует выбирать по аналогичному условию, но применительно к наибольшему рабочему линейному напряжению:

$$U1апвн\ пуск = (1{,}05 - 1{,}15) \cdot U_{1.макс.раб}\ [В] \quad (13.27)$$

$$U\ макс\ 1 = (1{,}05 - 1{,}15) \cdot U_{лин.макс.раб}\ [В] \quad (13.28)$$

где

$U_{1.макс.раб}$ В наибольшее рабочее значение напряжения прямой последовательности

$U_{лин.макс.раб}$ В наибольшее рабочее напряжение сети по ГОСТ Р 57382—2017

После ввода уставки следует проверить отсутствие пуска осциллографирования при наибольшем допустимом рабочем напряжении.

Значение уставки **«U1 мин 1»** для устройств **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»**, а также значение уставки **«U1аосн пуск»** для устройств **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** следует выбирать по условию выявления аварийного снижения напряжения прямой последовательности:

$$U1\ мин\ 1 = (0{,}7 - 0{,}85) \cdot U_{1.ном}\ [В] \quad (13.29)$$

$$U1аосн\ пуск = (0{,}7 - 0{,}85) \cdot U_{1.ном}\ [В] \quad (13.30)$$

где

$U_{1.ном}$ В номинальное значение напряжения прямой последовательности

При отсутствии специальных требований значения уставок **«U1 мин 1»** и **«U1аосн пуск»** рекомендуется принимать равными $0{,}8 \cdot U_{1.ном}$.

Расчетные значения уставок пусковых органов тока прямой и обратной последовательностей следует приводить ко вторичным величинам через коэффициент трансформации фазных ТТ по аналогии с формулой (2.18).

Расчетные значения уставок пусковых органов напряжения прямой и обратной последовательностей следует приводить ко вторичным величинам через коэффициент трансформации основной обмотки ТН по аналогии с формулой (2.21). При расчете и пересчете уставок U_1 и U_2 первичные и вторичные напряжения следует принимать в фазных величинах.

Для пускового органа **«U макс 1»**, контролирующего максимальное из линейных напряжений, расчетные и задаваемые значения следует принимать в линейных величинах.

Для величин нулевой последовательности следует учитывать особенности используемых измерительных цепей. Расчетное значение уставки **«3I0 макс 1»** следует приводить ко вторичным величинам через коэффициент трансформации ТТНП в соответствии с разделом **2.1**. Значение уставки **«3U0 макс 3»** следует выбирать непосредственно во вторичных величинах по условию отстройки от напряжения небаланса на выводах разомкнутого треугольника ТН в соответствии с указаниями раздела **12.2**.

При использовании дополнительных условий пуска по частоте значения уставок следует принимать:

$$f_{макс\ 1} = 50{,}5 \ \text{Гц} \tag{13.31}$$

$$f_{мин\ 1} = 49{,}2 \ \text{Гц} \tag{13.32}$$

Окончательные значения уставок дополнительных пусковых органов следует принимать с учетом диапазонов и дискретности задания, приведенных в таблицах 13.25 и 13.28. Значения уставок максимальных пусковых органов следует округлять вверх, а значения уставок минимальных пусковых органов — вниз до ближайшего значения, допускаемого соответствующим устройством. После ввода уставок следует проверить отсутствие пуска осциллографа в нормальном и допустимых ремонтных режимах, а также регистрацию предусмотренных проектом аварийных и ненормальных режимов.

13.8 ТЕХНИЧЕСКИЙ УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

13.8.1 Общие сведения

Техническим (контрольным) учетом электроэнергии называется учет, предназначенный для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций и предприятий. Показания технического учета используются для контроля электропотребления, определения и анализа потерь электроэнергии, составления балансов, а также учета расхода электроэнергии на собственные, хозяйственные и производственные нужды [**100**, п. 1.5.3; **110**, п. 2.2]. Технический учет не является расчетным учетом и не предназначен для денежных расчетов за электроэнергию [**100**, п. 1.5.2, 1.5.3; **110**, п. 2.1, 2.2].

На подстанциях напряжением 35 кВ и выше счетчики технического учета активной электроэнергии предусматриваются на сторонах среднего и низшего напряжений силовых трансформаторов и на каждой отходящей ЛЭП напряжением 6 кВ и выше, находящейся на балансе энергосистемы. Счетчики технического учета реактивной электроэнергии предусматриваются на сторонах среднего и низшего напряжений силовых трансформаторов [**100**, п. 1.5.41]. На предприятиях технический учет применяется для контроля соблюдения лимитов электропотребления цехами, технологическими линиями и отдельными энергоемкими электроприемниками, а также для определения удельного расхода электроэнергии на единицу продукции [**100**, п. 1.5.42].

При определении количества электроэнергии по показаниям средств учета допускается учитывать только коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов; применение иных поправочных коэффициентов не допускается [**110**, п. 1.3]. Для контроля достоверности учета на электростанциях месячные балансы составляются по показаниям счетчиков, снятым на 24-00 местного времени последних суток отчетного месяца. На подстанциях ежемесячное составление баланса предусматривается для подстанций, присоединенных к межсистемным ЛЭП; на остальных подстанциях баланс составляется по мере необходимости, но не реже одного раза в год [**110**, п. 3.8, 4.7]. Показания расчетных счетчиков и счетчиков технического учета также подлежат ежесуточной регистрации на 24:00 местного времени в журнале первичной записи [**110**, п. 10.21].

Выполнение требований к архивированию, регистрации времени и оформлению показаний следует обеспечивать принятой на объекте системой учета электроэнергии, в том числе средствами АСУ ТП при наличии соответствующей интеграции.

Функция **«Технический учет электроэнергии»** реализована в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик-Плюс»**. В устройстве **«Лютик»** функция не предусмотрена.

Основные параметры функции **«Технический учет электроэнергии»**, реализуемой в устройствах **«Алтей»** и **«Лютик»**, приведены в таблице 13.29.

Таблица 13.29. Функция «Технический учет электроэнергии»

ПАРАМЕТР	ЛЮТИК	ЛЮТИК-ПЛЮС	АЛТЕЙ-01	АЛТЕЙ-БЗП	АЛТЕЙ-БЗП2
Расчет потребленной трехфазной активной/реактивной/полной энергии	–	+	+	+	+
Расчет сгенерированной трехфазной активной/реактивной/полной энергии	–	+	+	–	–
Наличие счетчиков активной и реактивной электроэнергии по периодам: текущие/прошлые сутки, текущий/прошлый месяц	–	–	–	+	+
Набор уставок для ежемесячной фиксации и задания начальных показаний	–	–	–	+	+

Работу функции в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** определяет набор уставок, приведенный в таблице 13.30.

Таблица 13.30. Уставки функции «Технический учет электроэнергии» для «Алтей-БЗП» и «Алтей-БЗП2»

УСТАВКА		ЗНАЧЕНИЕ					ОПИСАНИЕ
		Начальное	Мин.	Макс.	Шаг	$K_{возвр}$	
Технический учет электроэнергии							
День замера	-	31	1	31	1	-	День ежемесячных замеров
Час замера	-	12	0	23	1	-	Час выполнения ежемесячных замеров
Рсум	МВт·ч	0	0	9999999	1	-	Начальное значение счетчика активной энергии
Qсум	Мвар·ч	0	0	9999999	1	-	Начальное значение счетчика реактивной энергии

13.8.2 Расчет уставок

Для согласования ежемесячной фиксации показаний технического учета электроэнергии в устройствах **«Алтей-БЗП»** и **«Алтей-БЗП2»** с моментом составления ежемесячного баланса значения уставок **«День замера»** и **«Час замера»** следует выбирать исходя из установленного на объекте регламентного времени снятия показаний.

Согласно РД 34.09.101-94 [110] снятие показаний для ежемесячных балансов (актов) выполняют на 24-00 местного времени последних суток отчетного месяца: для электростанций — п. 3.8, для подстанций — п. 4.7.

Поскольку момент 24-00 последних суток отчетного месяца совпадает с моментом 00-00 первых суток следующего месяца, значение уставки **«День замера»** следует принимать равным 1, а значение уставки **«Час замера»** — равным 0.

Значения уставок **«Рсум»** и **«Qсум»** следует принимать равными соответственно начальным значениям накопленной активной и реактивной электроэнергии на момент ввода устройства в работу или его замены. При необходимости обеспечения непрерывности технического учета указанные значения следует определять по зафиксированным показаниям ранее применявшегося устройства либо по данным действующей системы учета электроэнергии с приведением полученных значений к единицам задания уставок **«Рсум»** и **«Qсум»** — соответственно МВт·ч и Мвар·ч. При вводе новой точки технического учета и отсутствии ранее накопленных показаний значения уставок **«Рсум»** и **«Qсум»** следует принимать равными нулю.

В устройствах **«Алтей-01»** и **«Лютик-Плюс»** уставки момента ежемесячной фиксации и начальных значений счетчиков не предусмотрены. Снятие и архивирование показаний в установленный регламентный момент следует обеспечивать внешними средствами принятой на объекте системы учета электроэнергии.

14 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.М. Выбор уставок срабатывания защит асинхронных электродвигателей напряжением выше 1 кВ: методические указания с примерами. — СПб.: ПЭИПК, 2007. — 76 с.
2. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебник для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 2006. — 639 с.: ил.
3. Арриллага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 320 с.
4. Аюурзана Э., Мамбетжанов А. Д., Такырбашев Б. К., Джамагидзе Д., Петров М. И., Кузьмин А. А. Оценка составляющих тока однофазного замыкания на землю при проведении натурных экспериментов в сетях среднего класса напряжения различного назначения // Вестник Чувашского университета. — 2016. — № 3. — С. 21–29.
5. Бажанов С. А. Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации (Часть 1). — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2005. — 80 с.: ил. — (Библиотечка электротехника: приложение к журналу «Энергетик». Вып. 5 (77))
6. Балаков Ю. Н., Мисриханов М. Ш., Шунтов А. В. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. — 2-е изд., стереот. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 288 с.: ил.
7. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем: Учебное пособие для ВУЗов/ Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. — 296 с.: ил.
8. Батищев А.М., Зуев С.В., Беляков В.Б., Добин Д.С. Оценка эффективности тепловизионного реле защиты по результатам опытно-промышленных испытаний // Экспозиция Нефть Газ. 2025. № 7. С. 136–140.
9. Беляев А. В. Противоаварийное управление в узлах нагрузки с синхронными двигателями. — М.: НТП «Энергопрогресс», 2004. — 144 с. — (Библиотечка электромонтера)
10. Беляев, А.В. Защита, автоматика и управление на электростанциях малой энергетики (Часть 1) / А.В. Беляев. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2010 – (Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик», Вып. 6 (138)). – 84 с.
11. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 172 с.
12. Беркович М. А., Молчанов В. В., Семенов В. А. Основы техники релейной защиты. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 376 с.: ил.
13. Беркович М. А., Гладышев В. А., Семенов В. А. Автоматика энергосистем: учебник для техникумов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.
14. Бирг А.Н., Нудельман Э.К., Федоров Э.К. и др. Устройства дистанционной и токовой защит типов ШДЭ2801, ШДЭ 2802. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 144 с.: ил. — (Библиотечка электромонтера)
15. Богдан А.В., Тропин В.В., Перекопский К.В. Установка для компенсации реактивной мощности. – Мат. международ. Научно-практ. конф. КубГТУ «Электроэнергетические комплексы и системы», 2006, с. 176—179
16. Богорад А. М., Назаров Ю. Г. Автоматическое повторное включение в энергосистемах. — М.: Энергия, 1969. — 336 с.: ил.
17. Бойченко В.И., Дзекцер Н.Н. Контактные соединения токоведущих шин. Л.: Энергия, 1978. 144 с.
18. Буткевич Г. В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. — М.: Энергия, 1973. — 260 с.
19. Вавин В. Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор: учебное пособие. — М.: Энергоиздат, 1982. — 257 с.: ил.
20. Вавин В.Н. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1977. — 104 с. — (Библиотека электромонтера; вып. 461)
21. Ванин В. К., Павлов Г. М. Релейная защита на элементах аналоговой вычислительной техники. — Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1983. — 206 с.: ил.
22. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических специальностей вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1985. — 536 с.: ил.
23. Винокурова Т. Ю., Шагурина Е. С., Шуин В. А. Методика выбора параметров срабатывания максимальных токовых защит от замыканий на землю на основе высших гармоник в компенсированных кабельных сетях 6–10 кВ // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2015. — Вып. 3. — С. 20–28.

24. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. -. СПб.: Питер, 2010. - 350 с.: ил.
25. ВВУ-СЭЩ-П3-10. Выключатель вакуумный. Руководство по эксплуатации (6ГК.202.026 РЭ). — Самара: ЗАО «Группа компаний „Электрощит“ — ТМ Самара», 2014. — 42 с.
26. Гоник Я. Е., Иглицкий Е. С. Автоматика ликвидации асинхронного режима. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 112 с.
27. Гимоян, Г. Г. Релейная защита горных электроустановок: учебное пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1978. — 348 с
28. Глазырин В. Е., Шалин А. И. Расчет уставок микропроцессорной релейной защиты блока генератор–трансформатор: учеб. пособие. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. — 130 с.
29. ГОСТ 183-74. Межгосударственный стандарт. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия, изд. июль 2001 г. (отменен 01.07.2010 г)
30. ГОСТ 687–78. Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия (утратил силу в РФ с 01.04.2007)
31. ГОСТ IEC 60034-1–2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные данные и характеристики. — Введ. 2015-07-01. — М.: Стандартинформ, 2015. — 73 с.
32. ГОСТ IEC 60034-11-2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 11. Тепловая защита. Применяется с 01.01.2025
33. ГОСТ IEC 60255-151-2014. Реле измерительные и защитное оборудование. Часть 151. Функциональные требования к защите от сверхтоков и/или минимального тока. Применяется с 01.01.2016
34. ГОСТ 14209—85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые перегрузки. — Введ. 01.01.1987. — М.: Издательство стандартов, 1986. — 15 с.
35. ГОСТ Р 52719—2007. Трансформаторы силовые. Общие требования к эксплуатации. – М.: Стандартинформ, 2007. — 53 с.
36. ГОСТ 11677—85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия: с изм. № 1–4. – Введ. 1986-07-01. – М.: Госстандарт СССР, 1985. — 48 с.
37. ГОСТ 14693—90. Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1990. — 31 с.
38. ГОСТ 1983—2015. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия. — Введ. 2017-07-03. — М.: Стандартинформ, 2016. — 41 с
39. ГОСТ 8865-93 (МЭК 85-84) Системы электрической изоляции. Оценка нагревостойкости и классификация. Применяется с 01.01.1995 взамен ГОСТ Р 50324-92, ГОСТ 8865-87
40. ГОСТ 30804.4.7–2013 (IEC 61000-4-7:2009, MOD). Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. — Введ. 2014-01-01. — М.: Стандартинформ, 2013. — 40 с.
41. ГОСТ 7746-2015. Трансформаторы тока. Общие технические условия. — Введ. 2017-07-01. — М.: Стандартинформ, 2016. — 46 с
42. ГОСТ 32144—2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. — Введ. 2014-07-01. — М.: Стандартинформ, 2014. — 28 с.
43. ГОСТ 34045—2023. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. — Введ. 2023-06-01. — М.: Стандартинформ, 2016. — 28 с
44. ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ. Общие технические условия. — Введен в действие с 01.04.2007. — 97 с
45. ГОСТ Р 52776—2007. Национальный стандарт РФ. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и характеристики. (отменен 01.03.2016 г.)
46. ГОСТ Р 54827-2011 (МЭК 60076-11:2004) Трансформаторы сухие. Общие технические условия. Применяется с 01.12.2012

47. ГОСТ Р 55105-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. — Введ. 2020-03-01. — М.: Стандартинформ, 2020.
48. ГОСТ Р 55190—2022. Устройства комплектные распределительные в металлической оболочке (КРУ) на номинальное напряжение до 35 кВ. Общие технические условия (с Поправкой). — Введен в действие с 01.01.2023 взамен ГОСТ Р 55190–2012.
49. ГОСТ Р 55890—2013. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования. — Введ. 2014-09-01. — М.: Стандартинформ, 2014. — 23 с
50. ГОСТ Р 57114— 2022. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике и оперативно-технологическое управление. Термины и определения. — Введ. 2023-02-01. — М.: Стандартинформ, 2022. — 36 с
51. ГОСТ Р 57382-2017 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электроэнергетические системы. Стандартный ряд номинальных и наибольших рабочих напряжений (с Поправкой, с Изменением N 1). Применяется с 01.09.2017
52. ГОСТ Р 58335—2018. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое ограничение снижения частоты при аварийном дефиците активной мощности. — Введ. 2019-03-01. — М.: Стандартинформ, 2019. — 23 с
53. ГОСТ Р 58601-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Релейная защита и автоматика. Автономные регистраторы аварийных событий. Нормы и требования (утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 октября 2019 г. N 995-ст) (с изменениями и дополнениями)
54. ГОСТ Р 59232—2020. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматической частотной разгрузки. Нормы и требования. — Введ. 2021-01-01. — М.: Стандартинформ, 2020. — 32 с.
55. ГОСТ Р 59373-2021. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматики ограничения повышения частоты. Нормы и требования. — Введ. 2021-04-01. — М.: Стандартинформ, 2021. — 30 с.
56. ГОСТ Р 59909-2021. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Классификация. — Введ. 2022-01-01. — М.: Стандартинформ, 2021. — 8 с.
57. ГОСТ IEC/TR 61641—2022. Низковольтное комплектное распределительное устройство. Руководство по проведению испытаний на воздействие электрической дуги в месте внутреннего короткого замыкания. — Введ. 2023-01-01. — М.: Российский институт стандартизации, 2022. — 24 с.
58. ГОСТ Р 70411-2022. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства автоматики ограничения снижения напряжения. Нормы и требования. Применяется с 01.12.2022
59. ГОСТ 8024-90. Аппараты и электротехнические устройства переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Норма нагрева при продолжительном режиме работы и методы испытаний (с Изменением N 1). Применяется с 01.01.1991 взамен ГОСТ 8024-84
60. Гринев Н. Алгоритм встречно-направленной логической защиты шин. Новости электротехники, 2006, № 4(40)
61. Гуменюк В.И., Гренчук А.М. О возможности массового применения средств диагностики пожароопасного состояния электрооборудования. – Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2014, № 2(195), с. 210–215.
62. Екимуков С.С., Цивилев И.Ю. Особенности эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (защита от перенапряжений, диагностика и испытания) // Кабели и провода. 2011. № 2 (326). С. 22–27.
63. Ершов, А.М. Релейная защита и автоматика в системах электроснабжения. Часть 3: Защита электрических сетей напряжением 6–10 кВ: учебное пособие / А.М. Ершов. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. — 161 с.

64. Ефремов В.А., Воронов П.И., Ластовкин В.Д. Защита от однофазных замыканий в сетях с малыми токами замыканий на землю. Опыт эксплуатации // Релейная защита и автоматизация. — 2017. — № 3, сентябрь. — С. 52–55.
65. Жежеленко И.В., Толпыго О.Б. «Чувствительность сигнализации замыканий на землю с использованием высших гармоник в сетях промпредприятий», Электричество, 1969, № 10, с. 32–39.
66. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2010. — 375 с.
67. Зайцев А.Н. Применение методов определения коммутационного ресурса выключателей в условиях эксплуатации // Энергия единой сети. — 2022. — № 5–6 (66–67). — С. 49–54.
68. Засыпкин, А. С. Релейная защита трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1989. – 240 с.
69. Ильяшов В. П. Конденсаторные установки промышленных предприятий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 152 с.: ил. — (Экономия топлива и электроэнергии).
70. Исследование пожаров, связанных с аварийным режимом работы электрооборудования: Метод. рекомендации. Красноярск: Изд-во СЭУ ФПС ИПЛ по Красноярскому краю, 2013. 22 с.
71. Каштенни, Б. Усовершенствованный алгоритм отстройки от бросков тока намагничивания / Б. Каштенни, Л. Севов // Релейщик. – 2009. – № 1. – С. 30–41.
72. Кискачи В.М. «Селективность сигнализации замыканий на землю с использованием высших гармоник», Электричество, 1967, № 9, с. 24–29.
73. Колесников А.А., Куликов А.Л., Старшов И.С. Исследование возможности применения направленной логической защиты шин 6–10 кВ на подстанциях с распределенными источниками энергии. 2025
74. Корогодский В.И., Кужеков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. -. М.: Энергоатомиздат. 1987. — 248 с.
75. Кравченко И. В., Костин В. Н. Автоматика ограничения снижения напряжения в энергосистемах мегаполисов // Глобальная энергия. 2011. №4 (135)
76. Крюков О.В. Особенности релейной защиты и автоматики вдольтрассовых линий электропередачи // Электричество. — 2018. — № 11. — с. 4-9.
77. Курганов, В. В. Особенности выбора установок тепловой защиты электродвигателей напряжением выше 1 кВ / В. В. Курганов, А. Г. Баранов // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого: научно - практический журнал, 2004, № 3. — с. 75-78.
78. Кучеров Ю.Н., Окин А.А., Мартыненко М.М., Данильчук В.Н. Современное состояние автоматической частотной разгрузки энергосистем и пути ее совершенствования. РАО (ЕЭС России) – ЦДУ ЕДС России – ОДУ Центра // Электрические станции. - 2001.- №12
79. Лезнов С.И., Фаерман А. Л., Махлина Л. Н. Устройство и обслуживание вторичных цепей электроустановок. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. - 149, [2] с., ил.; – Библиогр.: с. 150
80. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. -. М.: Энергия. 1971. — 152 с.
81. Львов М.Ю., Никитина С.Д., Лесив А.В. Применение термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электрооборудования // Электрические станции. — 2023. — № 2. — С. 44–51.
82. Майстренко Г.В. Работа дифференциальной защиты при насыщении трансформатора тока [Электронный ресурс] // НПП «Микропроцессорные технологии»: официальный сайт. — 2026. — 26 марта. — URL: https://i-mt.net/company/blog/stati-po-rza/rabota-differentsialnoy-zashchity-pri-nasyshchenii-transformatora-toka/
83. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей (с изменениями на 17 марта 2020 года); утверждена Приказом Минэнерго России от 26.07.2017 N 676
84. Методические указания по техническому обслуживанию устройства автоматического повторного включения ПДЭ-2004.01. СО 34.35.667-94. Дата актуализации: 01.01.2021
85. Методические указания по расчету и выбору параметров настройки дистанционных защит линий электропередачи 110 кВ и выше: утв. распоряжением АО «СО ЕЭС» от 17.08.2021 № 89р

86. Микропроцессорный комплект защиты присоединений сборных шин 6-35 кВ от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью Геум-И: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»
87. Микропроцессорный комплект защиты присоединений сборных шин 6-35 кВ от замыканий на землю в сетях с компенсированной нейтралью Геум-К: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»
88. МУ 34-70-163-87 Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах 110-500 кВ с электромагнитными трансформаторами напряжения и выключателями, содержащими емкостные делители напряжения Методические указания от 09.02.1987 N 34-70-163-87. Применяется с 01.09.1987
89. Мусин А.М. Аварийные режимы асинхронных электродвигателей и способы их защиты. — М.: Колос, 1979. — 112 с.
90. Нагай В.И., Сарры С.В., Чмыхалов Г.Н., Луконин А.В., Нагай И.В., Украинцев А.В. Релейные защиты от дуговых коротких замыканий и замыканий на землю в электрических сетях 6–10 кВ // Вестник ИГЭУ. 2011. Вып. 1. С. 42–47.
91. Нагай В.И., Украинцев А.В., Луконин А.В. Построение релейной защиты электроустановок 6–10 кВ с функциями упреждения развивающихся повреждений // Глобальная ядерная безопасность. 2011. № 1(1). С. 97–105
92. Носов К.Б., Дворак Н.М. Средства и способы самозапуска электродвигателей. — Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1985. — 128 с.
93. Неклепаев Б.Н., Востросаблин А.А. Механическая и коммутационная износостойкость выключателей // Промышленная энергетика. –1992. — № 8. — С. 14–16
94. Неклепаев Б.Н., Востросаблин А.А. Методика оценки остаточного ресурса выключателей при эксплуатации // Промышленная энергетика. — 1995. — № 1. — С. 31–32.
95. Нормы технологического проектирования подстанций с высшим напряжением 35– 750 кВ. — 3-е изд., перераб. и доп. № 13865. Т. 1. — М.: ВГПИ и НИИ Энергосетьпроект, 1991
96. НПП «Микропроцессорные технологии». Методика определения допустимого времени отключения дугового замыкания в ячейках 6–35 кВ // Микропроцессорные технологии. — 11.09.2026. — URL: https://i-mt.net/company/blog/dugovaya-zashchita/metodika-opredeleniya-dopustimogo-vremeni-otklyucheniya-dz/ (дата обращения: 15.11.2026).
97. Охлопков А.В., Сигитов О.Ю., Битней В.Д., Лапухин С.Н., Куницкий А.Г. Технические решения по обнаружению перегрева элементов распределительных устройств напряжением 0,4–10 кВ // Электричество. — 2022. — № 3. — С. 58–66.
98. Павлов Г. М., Меркурьев Г. В. Автоматика энергосистем. — СПб.: Центр подготовки РАО «ЕЭС России», 2001. — 388 с.
99. Павлюченко Д.А., Прохоренко Е.В., Черепанский В.Н., Хайруллин В.А., Жиляев М.Р. Определение и мониторинг коммутационного ресурса синхронного вакуумного выключателя среднего напряжения // Энергия единой сети. — 2025. — № 5–6. — С. 18–24.
100. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. (утв. приказом Минэнерго РФ № 204 от 08.07.2002; введено в действие с 01.01.2003), отдельные разделы и главы. – [Электронный ресурс]. – Издатель: ОАО «ВНИИЭ», Минэнерго России. – Режим доступа: https://www.elec.ru/library/direction/pue.html (дата обращения: 07.07.2025).
101. Пион-Т. Блок питания от трансформаторов тока. Руководство по эксплуатации — технический паспорт. МТ.ПИОН-Т.01.21.РЭ. — НПП «Микропроцессорные технологии». — 16 с.
102. Пирогов М.Г. Инженерная методика обоснования применения дуговой защиты в распределительных устройствах 0,4 кВ // Релейная защита и автоматизация. — 2026. — № 2 (63). — С. 66–71.
103. ПТЭЭП. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Утв. Минэнерго РФ 13.01.2003 г. №6. *(утратили силу; использованы в справочных целях).*
104. ПТЭЭП. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей: утв. приказом Минэнерго России от 12.08.2022 № 811. — 25 с.
105. ПТЭЭС. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: утв. приказом Минэнерго России от 04.10.2022 № 1070. — 157 с.

106. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций, т.2/Под ред. О.В. Крюкова. Н. Новгород: Вектор ТиС, 2011
107. Рабинович Р.С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1989. — 352с
108. Разработка рекомендаций по расчету и выбору параметров срабатывания защит на микроэлектронной элементной базе ВЛ 110–750 кВ. Т. 1. Рекомендации по расчету защит ВЛ 110–220(330) кВ / № 11735тм-т1. — М.: Энергосетьпроект, 1985. — 140 с.
109. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ: утв. приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 288. – М.: Минэнерго России, 2003. — 55 с.
110. РД 34.09.101-94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении (утв. Минтопэнерго РФ 02.09.1994) (ред. от 22.09.1998, с изм. от 13.11.2010)
111. РД 153-34.0-20.363-99 Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. Применяется с 01.06.2000
112. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – М.: НЦ ЭНАС, 2002. — 152 с.
113. Релейная защита элементов сети собственных нужд 6,3 и 0,4 кВ электростанций с турбогенераторами: типовая работа. С изм. № 1 (Информационное сообщение техотдела ВГНИПКИ «Атомэнергопроект» от 23.02.1989 № 4-3).
114. Рожкова Л.Д., Л. К. Карнеева, Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 448 с.
115. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7. Дистанционная защита линий 35–330 кВ. – М.: Энергия, 1966. — 186 с.: ил., черт.
116. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 7 (дополнение). Дистанционная защита линий 35-330 кВ. – М.: Энергия, 1968. — 16 с.: ил.
117. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 9. Руководящие указания по релейной защите. Дифференциально-фазная высокочастотная защита линий 110 - 330 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1972. — 114 с., ил.
118. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13Б. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: Расчеты. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 96 с.
119. Сборник распорядительных материалов по эксплуатации энергосистем. Электротехническая часть. Издание пятое, переработанное и дополненное. Часть 1. ОАО Фирма ОРГРЭС, 2002. — 223 с.
120. СО 34.47.616. Методика расчета режимов перерыва питания и самозапуска электродвигателей 3–10 кВ собственных нужд электростанций упрощенными методами. — М.: СПО ОРГРЭС, 1993. — 140 с.
121. СО 34.45-51.300-97, РД 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования, 6-е издание (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.10.2006)
122. Слодарж М. И. Режимы работы, релейная защита и автоматика синхронных электродвигателей. — М.: Энергия, 1976. — 264 с.
123. Соловьев А.Л. Обратнозависимые времятоковые характеристики максимальных токовых защит от междуфазных КЗ в сетях 6–35 кВ // Электрические станции. – 2006. – №3. – С.67–69.
124. Соловьев А.Л. Изменение стандарта МЭК для цифровых терминалов токовых защит с зависимой характеристикой // Энергетик. – 2010. – №1. – С.35–37.
125. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина [и др.]; сост.: И. С. Бабаханян [и др.]. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 576 с.
126. СТО Газпром 2-1.11-070-2006. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром». — М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2006. — 24 с.
127. СТО 56947007-29.120.70.305-2020. Методические указания для выбора параметров настройки и срабатывания МП устройств РЗА оборудования 6–35 кВ объектов ЕНЭС. — Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». — М.: ПАО «ФСК ЕЭС», 2020. — 130 с. — Дата введения: 15.05.2020
128. СТО 56947007-29.240.10.248-2017 Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС). Применяется с 25.08.2017 взамен СТО 56947007-29.240.10.028-2009

129. СТО 56947007-29.240.10.191-2014. Методические указания по защите от резонансных повышений напряжения в электроустановках 6–750 кВ. — М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2014. — 33 с. Применяется с 19.11.2014
130. СТО 56947007-29.120.40.102-2011. Методические указания по инженерным расчетам в системах оперативного постоянного тока для предотвращения неправильной работы дискретных входов микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики при замыканиях на землю в цепях оперативного постоянного тока подстанций ЕНЭС. — Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». — М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2011. — 13 с. — Дата введения: 11.10.2011
131. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. Применяется с 29.05.2017
132. СТО 34.01-12-002-2023 Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений электрооборудования с использованием термоиндикаторных наклеек. Применяется с 31.10.2023 взамен СТО 34.01-12-002-2022
133. СТО 34.01-3.1-005-2024 Типовые технические требования к КРУ классов напряжения 6-35 кВ. Применяется с 11.10.2024 взамен СТО 56947007-29.130.20.104-2011
134. СТО 34.01-3.2-005-2016 Камеры сборные одностороннего обслуживания. Общие технические требования (с Изменениями от 28.12.2022). Применяется с 07.04.2016
135. СТО РусГидро 02.02.146-2023 "Необратимые термоиндикаторы. Общие технические требования. Оценка технического состояния контактов и контактных соединений электрооборудования и ЛЭП, электродвигателей и гидрогенераторов с помощью термоиндикаторов»
136. СТО 59012820.29.020.004-2025. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Правила определения параметров настройки устройств автоматики ограничения снижения напряжения. — АО «СО ЕЭС», 2025.
137. СТО ИНТИ М.130.1-2023 Методические указания по контролю состояния контактов и контактных соединений
138. СТО 34.01-21.1-001-2017. Распределительные электрические сети напряжением 0,4–110 кВ. Требования к технологическому проектированию (с изменениями от 28.09.2021, 28.12.2022). — М.: ПАО «Россети», 2017. — 242 с.
139. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей/ Под ред. Мамиконянца Л.Г. - М.: Энергоатомиздат, 1984. — 240 с.
140. Ткачук А. А., Копырин В. С. Групповой плавный пуск высоковольтных синхронных электроприводов компрессорных станций // Электротехнический рынок. 2007. № 12.
141. Ткачук А. А., Кривовяз В. К., Копырин В. С., Силуков А. Ю. Плавный пуск группы синхронных электроприводов центробежных механизмов // Силовая электроника. — 2008. — № 3. — С. 54–58.
142. Трансформаторы напряжения трехфазной антирезонансной группы НАЛИ-СЭЩ-6(10). Техническая информация. 0РТ.135.006 ТИ. Самара: АО «ГК «Электрощит» – ТМ Самара», Производство «Русский трансформатор», 2019. 54 л.
143. Требования к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов РЗА: утв. приказом Минэнерго России от 13.02.2019 № 101; в ред. от 10.07.2020 № 546; зарегистрировано в Минюсте России 25.04.2019, рег. № 54503.
144. Требования к перегрузочной способности трансформаторов и автотрансформаторов, установленных на объектах электроэнергетики, и ее поддержанию: утв. приказом Минэнерго России от 08.02.2019 № 81; в ред. от 03.08.2023 № 583; зарегистрировано в Минюсте России 28.03.2019, рег. № 54199
145. Требования к релейной защите и автоматике различных видов и ее функционированию в составе энергосистемы: утв. приказом Минэнерго России от 10.07.2020 № 546 (приложение № 1).
146. Требования к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики»: утв. приказом Минэнерго России от 12.07.2018 № 548; зарегистрировано в Минюсте России 20.08.2018, № 51938; (с изменениями на 21.07.2025)
147. Цифровое устройство релейной защиты и автоматики Алтей-01: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»

148. Цифровое устройство релейной защиты и автоматики Алтей-БЗП: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»
149. Цифровое устройство релейной защиты и автоматики Алтей-БЗП2: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»
150. Цифровое устройство релейной защиты и автоматики Лютик: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»
151. Цифровое устройство релейной защиты и автоматики Лютик-Плюс: руководство по эксплуатации. – Новосибирск: ООО НПП «Микропроцессорные технологии»
152. Удрис А.П. Панель релейной защиты типа ЭПЗ-1636 для ВЛ110—220 кВ. М.: НТФ Энергопрогресс, 2000 [Библиотека электротехника, вып. 6 (18)]
153. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. — М.: Энергия, 1970. — 520 с.
154. Фабрикант В.Л. Дистанционная защита (при синусоидальных входных величинах): учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1978. 215 с., ил.
155. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем: Учебник для вузов. -М.: Энергия, 1976. — 560 с.
156. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электрических систем: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1992. — 528 с.
157. Филатов А.А**.** Переключения в электроустановках 0,4–10 кВ распределительных сетей. – М.: Энергоатомиздат, 1991. — 112 с.
158. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем: учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. — 800 с.
159. Чистохин А.С. Методика повышения надежности электроснабжения нефте- и газопроводов// Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2024. 4(121). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17315
160. Шабад М.А. Автоматизация распределительных электрических сетей с использованием цифровых реле. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2003. — 68 с.: ил. — (Библиотечка электротехника. Приложение к журналу «Энергетик»; вып. 1 (49)).
161. Шабад, М. А. Защита от однофазных замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2007. — (Библиотечка электротехника; вып. 103). — 64 с.
162. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. — 296 с.
163. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – СПб.: ПЭИПК, 2010. — 350 с.
164. Шабад М. А. Защита трансформаторов 10 кВ. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 144 с. — (Библиотека электромонтера; Вып. 623)
165. Шабад М. А. Релейная защита и автоматика на электроподстанциях, питающих синхронные двигатели. — Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1984. — 64 с.: ил. — (Библиотека электромонтера; Вып. 565)
166. Шалин А.И. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Достоинства и недостатки различных защит // Новости Электротехники. – 2005. – № 3 (33).
167. Шалин А.И., Хабаров А.М. Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Небалансы // Новости Электротехники. – 2006. – № 3(39), с. 51–54. – № 4(40), с. 49–52. – № 5(41), с. 57–60.
168. Шалин А.И., Хабаров А.М. Небалансы в направленных защитах от замыканий на землю. — Новосибирск: ООО «ПНП БОЛИД»; Новосибирский государственный технический университет, 2006. — 18 с
169. Шалин А.И. Защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. Пример расчета уставок // Новости Электротехники. – 2005. – № 4 (34).
170. Шалин А.И. Защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. Расчет уставок ненаправленных токовых защит // Новости Электротехники. – 2005. – № 5 (35).
171. Шалин А.И. Защиты от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. Расчет уставок направленных токовых защит // Новости Электротехники. – 2006. – № 6 (42).

172. Шалин А.И. Влияние переходного сопротивления на поведение направленных защит от замыканий на землю в сетях 6–35 кВ. — Новосибирск: ООО «ПНП БОЛИД», 2006. — 8 с
173. Ширковец А., Сарин Л., Шалин А. и др. Резистивное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ с СПЭ-кабелями: подходы к выбору резисторов и принципам построения защиты от ОЗЗ // Новости электротехники. – 2008. – № 2 (50).
174. Шнеерсон Э.М. Дистанционные защиты. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 448 с.: ил.
175. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. — М.: Энергоатомиздат, 2007. — 549 с.: ил.
176. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. (Библиотечка электротехника). – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001.– Вып. 11(35). — 104 с.
177. Шуин В.А. Расчет перенапряжений при дуговых прерывистых замыканиях на землю. Зависимость от режима заземления нейтрали // Новости ЭлектроТехники. — 2009. — № 4 (58).
178. Эрнст А.Д. Самозапуск асинхронных электродвигателей: учеб. пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. — 48 с.
179. Эрнст А.Д. Электромеханические переходные процессы в электрических системах: курс лекций. — Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2013. — 130 с.
180. Bajánek, T. Instantaneous and Definite Time Overcurrent Protection Algorithms // Proceedings of the 21st Conference STUDENT EEICT 2015. — Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. — P. 590–594. — ISBN 978-80-214-5148-3.
181. Bhattacharyya S., Cobben S. Consequences of Poor Power Quality — An Overview // Power Quality. — 2011. DOI: 10.5772/13787
182. Benmouyal, G.; Zocholl, S. E. The Impact of High Fault Current and CT Rating Limits on Overcurrent Protection // Proceedings of the 29th Annual Western Protective Relay Conference. — Spokane, WA, 2002. — P. 1–12.
183. Chittora S. M. Monitoring of Mechanical Seals in Process Pumps. Master's Thesis. Linköping University, 2018
184. Eaton/Cooper Power Series. Calculation of Inrush Currents in Single- and Multi-Step Capacitor Bank Installations. Reference Data TD230004EN, November 2016.
185. Hunt, R. Practical Experience in Setting Transformer Differential Inrush Restraint / R. Hunt, J. Schaefer, B. Bentert // 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 1–3 April 2008. – IEEE, 2008. – P. 118–141. – DOI: 10.1109/CPRE.2008.4515051
186. IEEE PES PSRC Working Group D1. Cold Load Pickup Issues. Report to the Line Protection Subcommittee of the Power System Relay Committee. 2004
187. IEEE Std 1584-2018. IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations. — New York: IEEE, 2018. — URL: https://standards.ieee.org/ieee/1584/5802/
188. KSB SE & Co. KGaA. Dry running // *KSB Centrifugal Pump Lexicon*. URL: https://www.ksb.com/en-global/centrifugal-pump-lexicon/article/dry-running-1116984.
189. Lawhead L., Horak J., Madani V., Vaziri M. A Survey of Cold Load Pickup Practices // Proceedings of the 32nd Annual Western Protective Relay Conference (WPRC). Spokane, WA, USA, 2005.
190. Lee R.H. The Other Electrical Hazard: Electric Arc Blast Burns // IEEE Transactions on Industry Applications. — 1982. — Vol. IA-18. — No. 3. — P. 246–251.
191. Luo Y., Zhixiang X., Sun H., Yuan S., Yuan J. Research on the induction motor current signature for centrifugal pump at cavitation condition // Advances in Mechanical Engineering. 2015. Vol. 7(11). DOI: 10.1177/1687814015617134
192. Nagpal M., Delmée G., El-Khatib A., Stich K., Ghangass D., Bimbhra A. *A* Practical and Cost Effective Cold Load Pickup Management Using Remote Control // Proceedings of the Western Protective Relay Conference (WPRC). Spokane, WA, USA, 2014.
193. NFPA 70E-2015. Standard for Electrical Safety in the Workplace. — Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2015.
194. Patterson, R. W. A Consideration of Inrush Restraint Methods in Transformer Differential Relays / R. W. Patterson, W. P. McCannon, G. L. Kobet // 54th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, May 3–5, 2000.
195. Venkataraman B., Godsey B., Premerlani W., Shulman E., Thakur M., Midence R. Fundamentals of a Motor Thermal Model and its Applications in Motor Protection // Motor Thermal Model Protection Applications. — 2004. — C. 41–55. — 15 с.

196. Wang, J. Analysis of Transformer Inrush Current and Comparison of Harmonic Restraint Methods in Transformer Protection / J. Wang, R. Hamilton // 61st Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 1–3 April 2008. – IEEE, 2008. – P. 142–169. – DOI: 10.1109/CPRE.2008.4515052.

Sk
Сколково



www.i-mt.net
8-800-555-25-11 (РФ)
+7-495-127-97-07 (СНГ)
+7-717-276-05-23 (KZ)
+998-71-205-16-78 (UZ)
01@i-mt.net