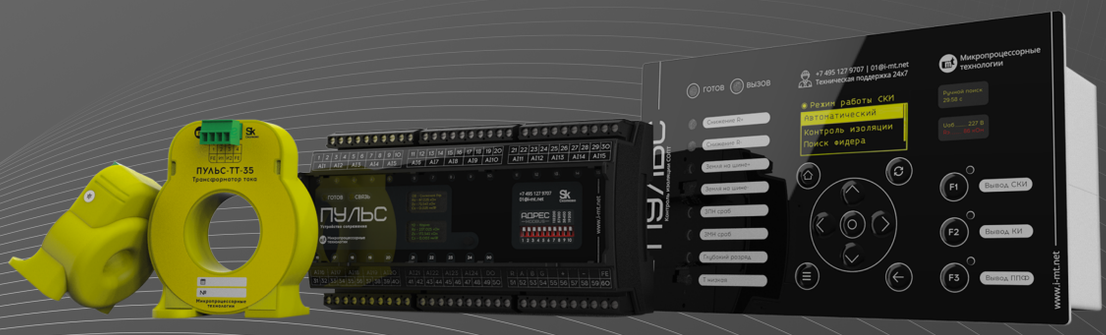
ООО НПП
«Микропроцессорные технологии»

Автор
Генеральный директор Пирогов М. Г.



www.i-mt.net
8 800 555-25-11
01@i-mt.net

ПУЛЬС: автоматическая оценка состояния изоляции СОПТ

Как совместный контроль полюсов и эквивалентного сопротивления помогает настроить сигнализацию под задачи эксплуатации СОПТ

ПУЛЬС позволяет одновременно контролировать сопротивление изоляции каждого полюса системы оперативного постоянного тока и эквивалентное сопротивление всей сети. Для полюсного и эквивалентного критериев предусмотрены собственные предупредительные и аварийные уставки. Благодаря этому эксплуатационная служба может отдельно оценивать достижение предела по одному из полюсов и увеличение суммарной проводимости изоляции относительно земли.

Такая возможность особенно полезна в разветвлённой СОПТ, где одинаковое общее сопротивление может соответствовать разному распределению изоляции между положительным и отрицательным полюсами. Сигнализация становится содержательнее: персонал получает информацию о том, какой критерий и какая ступень сработали, и может связать эти сигналы с принятой на объекте последовательностью действий.

ДВА КРИТЕРИЯ С РАЗНЫМ ИНЖЕНЕРНЫМ СМЫСЛОМ

Для оценки изоляции двухпроводной сети постоянного тока необходимо различать три величины. R_+ — сопротивление изоляции положительного полюса относительно земли; R_- — отрицательного. Каждое из них характеризует совокупность подключённых к соответствующему полюсу цепей. Эквивалентное сопротивление $R_{экв}$ учитывает проводимости изоляции обоих полюсов:

$$R_{экв} = \frac{R_+ \cdot R_-}{R_+ + R_-}; \quad \frac{1}{R_{экв}} = \frac{1}{R_+} + \frac{1}{R_-}$$

Таким образом, $R_{экв}$ — сопротивление параллельного соединения R_+ и R_-. Оно уменьшается при ухудшении изоляции любого из полюсов и учитывает совместное влияние обоих. Полюсный критерий фиксирует достижение установленного предела сопротивлением хотя бы одного из полюсов. При одинаковых уставках для положительного и отрицательного полюсов это равнозначно контролю минимального из двух сопротивлений.

Разницу удобно показать на двух состояниях сети. В первом случае R_+ = 30 кОм, а R_- = 150 кОм; во втором оба сопротивления равны 50 кОм. Эквивалентное сопротивление в обоих случаях составляет 25 кОм. Однако в первом состоянии один полюс имеет заметно меньшее сопротивление, чем другой, а во втором сопротивления полюсов равны. Одно значение $R_{экв}$ не сохраняет информацию об этом распределении.

При симметричном снижении изоляции напряжения полюсов относительно земли могут оставаться близкими по модулю. Поэтому небольшой перекос напряжений сам по себе не подтверждает хорошую изоляцию: для такой оценки нужны сопротивления. Возможность выявлять симметричное снижение относится к принципу контроля изоляции; преимущество гибкой сигнализации заключается в том, как результаты измерения используются для принятия решений.

ЧТО ДАЁТ НЕЗАВИСИМАЯ НАСТРОЙКА В ПУЛЬС

У некоторых других производителей способ встроенной сигнализации задаётся общим выбором: контроль по эквивалентному сопротивлению сети либо по сопротивлениям полюсов. Такая схема позволяет применять каждый из критериев, но ограничивает их совместное использование во встроенной сигнализации.

В ПУЛЬС полюсный и эквивалентный контроль вводятся независимо. Можно использовать один из них или оба одновременно. Для каждого критерия задаётся своя пара порогов, поэтому инженер может согласовать реакцию системы на разные состояния изоляции.

Критерий	Предупреждение	Авария
Сопротивления полюсов R_+ и R_-	R1ст	R2ст
Эквивалентное сопротивление сети $R_{экв}$	Rэ1ст	Rэ2ст

Полюсная пара уставок общая для R_+ и R_-, однако сигналы формируются отдельно по каждому полюсу. Для эквивалентного сопротивления предусмотрены собственные сигналы.

В результате доступны шесть признаков срабатывания: предупреждение и авария по положительному полюсу, отрицательному полюсу и эквивалентному сопротивлению. Это четыре независимо задаваемых порога и раздельная информация о трёх контролируемых величинах.

Практический смысл такой организации — возможность сохранить привычные для объекта полюсные уставки и дополнить их отдельным контролем общего состояния изоляции. При этом не требуется переопределять смысл уже используемых сигналов: полюсная сигнализация продолжает сообщать о достижении своего предела, а эквивалентная — о достижении другого, дополнительно заданного предела.

КАК ДВА КРИТЕРИЯ ДОПОЛНЯЮТ ДРУГ ДРУГА

Рассмотрим расчётный пример. Зададим предупредительную и аварийную уставки по полюсам 50 и 25 кОм, а по эквивалентному сопротивлению — 30 и 15 кОм. Общий сигнал соответствующей ступени будем формировать при срабатывании любого из её критериев, сохраняя раздельные признаки причин.

Все значения в примере служат для объяснения логики. Это не нормативные, заводские или рекомендуемые уставки для конкретного объекта.

R_+, кОм	R_-, кОм	$R_{экв}$, кОм	По полюсам	По $R_{экв}$
120	120	60,0	Пороги не достигнуты	Пороги не достигнуты
45	150	34,6	Предупреждение по +	Пороги не достигнуты
55	55	27,5	Пороги не достигнуты	Предупреждение
22	150	19,2	Авария по +	Предупреждение
28	28	14,0	Предупреждение по обоим	Авария

Один полюс достиг предупредительного предела

При R_+ = 45 кОм и R_- = 150 кОм эквивалентное сопротивление составляет около 34,6 кОм. Оно ещё выше своей предупредительной уставки 30 кОм. При этом положительный полюс уже пересёк установленную для полюсного контроля границу 50 кОм.

ПУЛЬС формирует полюсное предупреждение и сохраняет указание на положительный полюс. Это позволяет связать сигнал с проверкой соответствующих цепей, даже если выбранный общий критерий ещё не достиг своего порога. В данном примере дополнительную реакцию обеспечивает именно независимая полюсная уставка.

Оба полюса вместе достигли общего предела

При R_+ = R_- = 55 кОм каждый полюс остаётся выше предупредительной уставки 50 кОм, но $R_{экв}$ уже равно 27,5 кОм. Срабатывает предупреждение по эквивалентному сопротивлению 30 кОм.

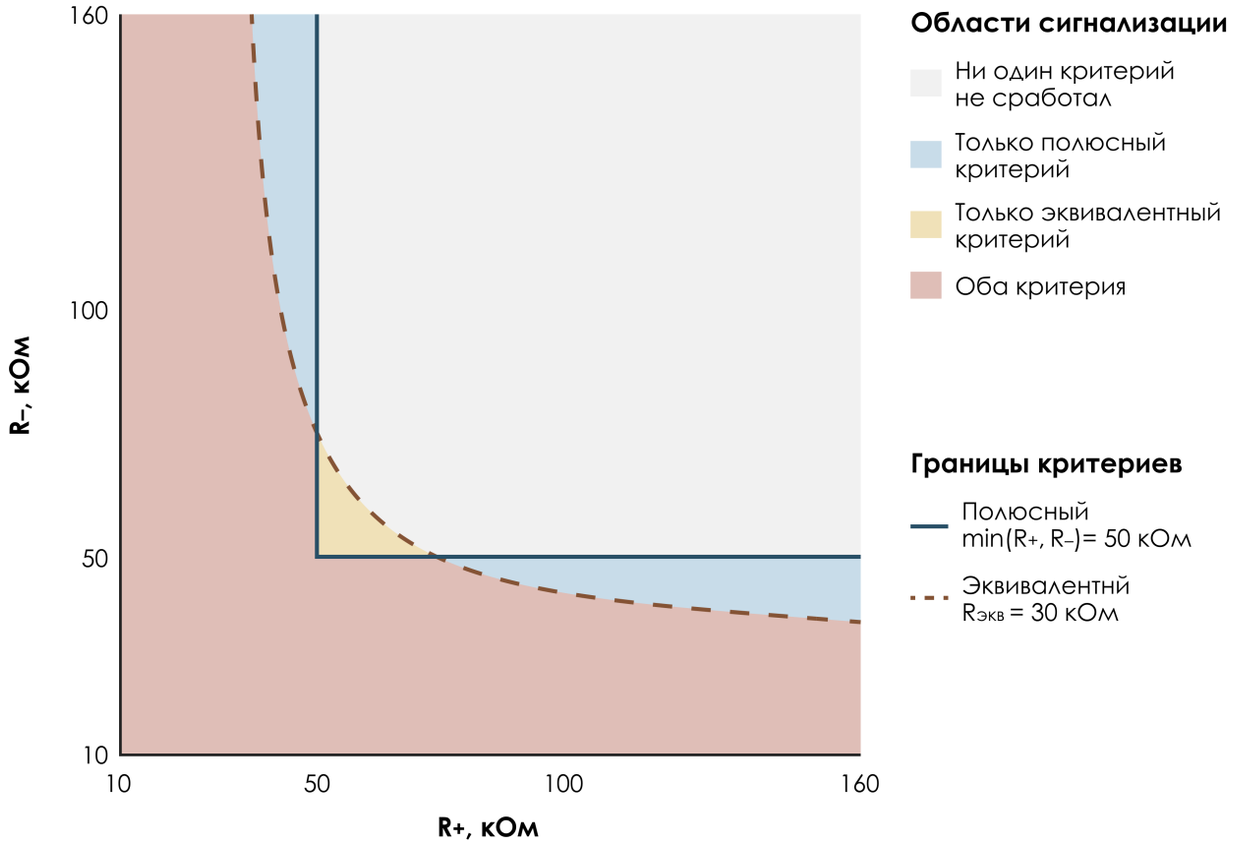
Теперь дополнительную информацию даёт общий критерий. Он позволяет отметить состояние, при котором совместная проводимость изоляции достигла принятого на объекте предела, хотя отдельно ни один полюс ещё не пересёк своей границы. Для эксплуатации такой сигнал означает основание проверить общее состояние подключённых цепей и историю изменения обоих сопротивлений.

Разные критерии определяют аварийную ступень

При R_+ = 22 кОм и R_- = 150 кОм аварийная ступень возникает по положительному полюсу: его сопротивление ниже 25 кОм. Эквивалентный критерий при $R_{экв}$ около 19,2 кОм находится на предупредительном уровне. При $R_+ = R_-$ = 28 кОм соотношение другое: оба полюса находятся на предупредительном уровне, а $R_{экв}$ = 14 кОм уже вызывает аварийную сигнализацию по общему критерию.

Система позволяет отнести оба состояния к аварийной ступени и при этом сообщить разные причины.

Персоналу доступны сведения о том, какое именно произошло событие: уменьшение сопротивления конкретного полюса или совместное уменьшение изоляции обоих полюсов.



Порог включен в область срабатывания. Погрешность и время подтверждения не учитываются.

Области предупредительной сигнализации в расчётном примере. Полюсная уставка — 50 кОм, эквивалентная — 30 кОм. При объединении критериев по ИЛИ каждая из двух областей самостоятельного срабатывания дополняет другую.

ПОЧЕМУ УСТАВКИ НУЖНО СОГЛАСОВЫВАТЬ

Независимость настроек полезна, когда пороги выбраны с учётом физического смысла величин. Эквивалентное сопротивление всегда меньше сопротивления каждого из полюсов. При симметрии оно ровно вдвое меньше полюсного сопротивления. Для минимального полюсного сопротивления выполняется соотношение:

$$\frac{R_{min}}{2} \le R_{экв} < R_{min}; \quad R_{min} = min(R_+, R_-)$$

При выраженной несимметрии $R_{экв}$ приближается к меньшему полюсному сопротивлению, а при равенстве полюсов составляет его половину. Поэтому постоянного коэффициента пересчёта между полюсной и эквивалентной уставками для всех состояний сети не существует. Независимые пороги позволяют учесть именно эту особенность.

Поэтому одинаковое численное значение, например 40 кОм, имеет разный смысл для полюсного и эквивалентного критериев. Если оба сравниваются с 40 кОм, полюсное срабатывание уже входит в область срабатывания эквивалентного критерия. При объединении сигналов по ИЛИ полюсный критерий в такой настройке не добавляет новых состояний срабатывания, хотя раздельные сигналы по-прежнему помогают понять распределение сопротивлений.

СИГНАЛЫ С ПОНЯТНОЙ ПРИЧИНОЙ ДЛЯ ПЕРСОНАЛА И АСУ

Раздельные сигналы сохраняют ценность на всех этапах эксплуатации. Они позволяют построить более понятную индикацию в системе автоматизации: показывать полюс, уровень срабатывания и факт достижения общего порога изоляции. Инженерный персонал получает основание для действий вместе с самим предупреждением.

В ПУЛЬС предусмотрена пользовательская логика KIWI Logic. Выходы штатных алгоритмов можно использовать в дополнительных логических схемах, назначать полученные сигналы на выходные реле, регистрацию событий и передачу в АСУ. Поэтому способ объединения и представления информации можно согласовать с проектом непосредственно в устройстве.

Например, общую предупредительную сигнализацию можно сформировать по ИЛИ трёх предупредительных признаков, а общую аварийную — по ИЛИ трёх аварийных. Одновременно в АСУ сохраняются индивидуальные причины. Тогда изменение логики общего сигнала не приводит к потере сведений о том, какой полюс или какой общий критерий достиг порога.

Именно здесь проявляется прикладное преимущество встроенных независимых настроек ПУЛЬС. У некоторых других производителей все необходимые сопротивления также доступны по цифровой связи, и аналогичную дополнительную обработку можно реализовать во внешней системе. ПУЛЬС позволяет использовать обе пары порогов и соответствующие сигналы уже внутри прибора. Это сокращает объём логики, которую требуется дополнительно разрабатывать и согласовывать на верхнем уровне.

ПЕРЕХОД ОТ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ К ПОИСКУ ПРИЧИНЫ

Общие сопротивления описывают сеть на уровне полюсов. По ним нельзя достоверно установить, в каком фидере находится дефект и сколько мест снижения изоляции имеется в сети. Для этого в ПУЛЬС предусмотрена отдельная функция поиска присоединения со сниженной изоляцией, работающая совместно с устройствами сопряжения ПУЛЬС-УСО-24I и трансформаторами тока ПУЛЬС-ТТ.

При разрешённом автоматическом поиске система может перейти к нему после выявления снижения изоляции. Также предусмотрен ручной запуск. Общий контроль задаёт основание для диагностики, а пофидерное измерение помогает сузить область дальнейшей проверки. Для оценки эквивалентного сопротивления фидеров предусмотрены свои предупредительный и аварийный пороги.

Порог изоляции отдельного фидера следует согласовывать с общими уставками: сопротивление всей разветвлённой сети определяется совокупностью параллельных путей утечки. Поэтому значения для всей СОПТ и для одного присоединения нельзя автоматически считать взаимозаменяемыми. Независимые настройки общего контроля и поиска позволяют учитывать эту разницу.

ИСТОРИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПОМОГАЕТ ОЦЕНИТЬ РАЗВИТИЕ СИТУАЦИИ

Для эксплуатации имеет значение и момент срабатывания, и поведение сопротивления до и после него. ПУЛЬС предусматривает регистрацию событий, статистику срабатываний и графики R+ и R- за последние 72 часа с сохранением параметров через 60 секунд. Новые значения сопротивлений поступают по мере выполнения циклов контроля, а частота обновления зависит от заданной паузы. История даёт материал для сопоставления эпизодов снижения изоляции с переключениями, режимами работы оборудования и проведёнными ремонтами.

Инженер может оценить, было ли изменение постепенным или скачкообразным, затронуло ли оно один полюс или оба, восстановилось ли сопротивление после выполненных работ. Причину изменения устанавливают с учётом схемы и результатов обследования.

ПРЕИМУЩЕСТВО ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Более гибкая оценка изоляции полезна тем, что позволяет точнее связать измеряемое состояние сети с действиями персонала. Один объект может сохранять полюсную сигнализацию как основной эксплуатационный критерий и дополнять её общим предупреждением. Другому необходимо одновременно контролировать оба критерия на двух уровнях. ПУЛЬС предоставляет для этого штатные средства.

Для проектировщика это возможность согласовать две пары уставок с принятой концепцией контроля. Для наладчика — проверить конкретные условия срабатывания и назначение сигналов. Для оперативного персонала — видеть причину и уровень предупреждения. Для службы эксплуатации — сопоставлять события с историей сопротивлений и результатами поиска повреждённого присоединения.

Реальное преимущество ПУЛЬС — совместное применение полюсного и эквивалентного критериев с независимыми уставками и раздельными сигналами. При обоснованной настройке это помогает различать состояния сети, которые одна общая оценка объединяет, и выстраивать уточненную диагностику.



Михаил Пирогов

Генеральный директор
ООО НПП «Микропроцессорные технологии»

VK: vk.com/pirogovmg

Почта: pirogovmg@i-mt.net

СОЗДАЕМ
НАДЕЖНОЕ
БУДУЩЕЕ