ООО НПП
«Микропроцессорные
технологии»

Автор
Генеральный директор Пирогов М. Г.



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

Повышение надежности межсекционной автоматики 6-35 кВ

Как HSR-дублирование с GOOSE-обменом повышают надежность АВР и ВНР на подстанциях 6–10 кВ

Мы резервируем не только питание потребителя. Мы резервируем саму автоматику, которая должна это питание восстановить.

ВВЕДЕНИЕ

На подстанциях 6–35 кВ АВР, как правило, применяются автоматический ввод резерва (АВР) и автоматическое восстановление нормального режима работы (ВНР). Но в реальной эксплуатации оказывается, что резервировать целесообразно и саму межсекционную автоматику: цепи готовности, пуска, команды включения СВ и восстановления нормальной схемы. HSR/GOOSE между ВВ1–СВ–ВВ2 позволяет превратить межсекционную автоматику в резервированную и постоянно диагностируемую систему.

ЗАЧЕМ РЕЗЕРВИРОВАТЬ САМУ АВТОМАТИКУ?

Автоматическое включение резерва на подстанциях 6–35 кВ обычно воспринимается как классическая функция: две секции шин, два вводных выключателя, секционный выключатель, цепи положения, готовности, запретов и команд. Схема понятна проектировщику, привычна наладчику и знакома оперативному персоналу.

Однако у этой привычной схемы есть слабое место: межсекционная автоматика может годами находиться в состоянии ожидания, а ее вторичные цепи – стареть без явных признаков отказа. Контакт окислился, клемма ослабла, кабельная жила повреждена при ремонте, промежуточное реле вышло из строя – и до пуска реального цикла АВР дефект может оставаться необнаруженным.

Полное опробование АВР и ВНР на действующей подстанции часто требует переключений, согласования с потребителями и создания режимов, которые эксплуатация объективно старается минимизировать. В результате критически важная автоматика проверяется неполно: по отдельным входам, по сигналам, по имитациям, но не всегда как единый цикл опробования ВВ1–СВ–ВВ2.

Проблема эксплуатации

Скрытый отказ цепи в АВР/ВНР, который не проявляется до момента аварии – становится очень неприятным сюрпризом. HSR/GOOSE-дублирование снижает риск отказа межсекционной автоматики и делает систему наблюдаемой: ведь цифровой поток либо корректно принимается, либо формируется сигнал ошибки связи.

ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА В УСТРОЙСТВАХ АЛТЕЙ

Предлагаемая архитектура опирается не на внешнюю надстройку и дополнительное оборудование, а на уже предусмотренные функции устройств линейки Алтей. В **Алтей-О1** и **Алтей** реализовано исполнение с двумя Ethernet-портами, протоколы МЭК 61850 MMS/GOOSE, PRP, RSTP и HSR, а также штатные алгоритмы АВР, ВНР, АУВ, гибкая логика, журнал событий и контроль GOOSE-потоков.

Ключевой акцент
Серийно производимые устройства позволяют реализовать не «АВР по Ethernet», а «**цифровое резервирование и онлайн-контроль готовности АВР/ВНР на базе HSR/GOOSE**». Традиционная вторичная схема с использованием классических дискретных сигналов не исключается, а дублируется независимым цифровым каналом с непрерывной диагностикой.

ПОЛЬЗА ДЛЯ СЛУЖБ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для эксплуатационного персонала ценность решения формулируется не просто трендом обширного внедрения коммуникационных протоколов, а понятной оценкой снижения рисков и улучшения удобства обслуживания.

HSR нужен не потому, что это современный Ethernet. Он нужен потому, что позволяет ежедневно оценивать готовность межсекционной автоматики, не дожидаясь ежегодного регламента или реального аварийного события.

Было в классической схеме	Становится при добавлении HSR/GOOSE
Состояние межшкафных цепей неизвестно. Полная проверка связана с отключениями, переключениями и организационными ограничениями. Надеемся, что все хорошо.	Устройства постоянно обмениваются GOOSE-сообщениями. Пропадание потока, несоответствие подписок или деградация канала приводят к срабатыванию предупредительной сигнализации. Знаем, что все хорошо.

ПРАКТИЧЕСКИЕ АРГУМЕНТЫ ДЛЯ СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

• АВР/ВНР становится наблюдаемой системой.
• Потеря цифровой связи обнаруживается незамедлительно, состояние канала связи известно в любое время.
• Сохраняется классическая доказательная хронология с меткой времени: кто сформировал готовность, кто выдал запрет, кто отправил команду, кто ее принял и какое положение занял выключатель.

ПОЛЬЗА ДЛЯ ИНЖЕНЕРА-ПРОЕКТИРОВЩИКА

Для проектировщика традиционная схема АВР/ВНР – это не один провод. Это набор межшкафных связей: готовность смежной секции, положение выключателей, блокировки, запреты, команды включения СВ, команды отключения СВ при ВНР, признаки восстановления напряжения и подтверждения результата. Чем больше таких связей, тем больше клемм, жил, промежуточных реле, маркировок и точек потенциальной ошибки.

Цифровой канал позволяет разложить проект на два понятных слоя: локальная безопасность и межтерминальная логика. Локальная безопасность остается в терминале конкретного выключателя, а межтерминальная логика передается по резервированному HSR-кольцу. Такой подход легче описывать в проекте, легче проверять на наладке и легче сопровождать при реконструкции.

1. **Локальная безопасность**
   Каждый терминал управляет только своим выключателем: положение, цепи управления, блокировки, защиты
2. **Классическая проводная схема**
   Привычные вторичные цепи сохраняются как основной или резервный канал межсекционных сигналов
3. **Цифровой дублер HSR/GOOSE**
   Готовность, запреты, пуски и подтверждения передаются по резервированному HSR-кольцу
4. **Онлайн-диагностика**
   Контроль GOOSE-потоков, сигнал «Ошибка потока», сравнение проводного и цифрового каналов

Рисунок 1. Четыре слоя безопасной архитектуры: локальная безопасность, проводная схема, цифровой дублер и онлайн-диагностика

Повышается надежность решения

Проводные цепи остаются понятной и проверенной базой, а HSR/GOOSE становится резервируемой шиной межтерминальных связей.

АРХИТЕКТУРА ВВ1–СВ–ВВ2 НА HSR/GOOSE

Для типовой подстанции с двумя секциями шин схема может быть предельно компактной: терминал на вводном выключателе ВВ1, терминал на секционном выключателе СВ и терминал на вводном выключателе ВВ2 объединяются в HSR-кольцо. В нормальном режиме сообщения доставляются по двум направлениям. При повреждении (или выводе в ремонт) одного участка кольца обмен сохраняется по оставшемуся направлению.

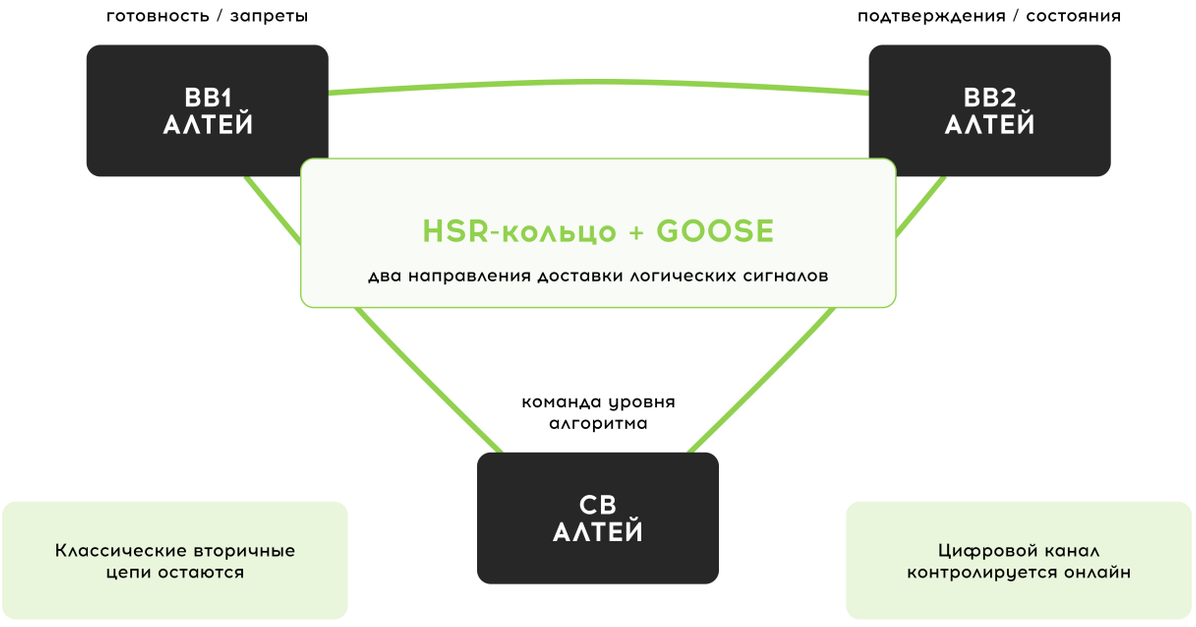


Рисунок 2. Принцип HSR-кольца между ВВ1, СВ и ВВ2: цифровой канал передает логические признаки

Самая правильная и безопасная архитектура – не прямое включение выключателя по сети. Терминал ВВ1 не «замыкает катушку привода» СВ через Ethernet. Он передает цифровой сигнал уровня алгоритма: например, «условия АВР выполнены, требуется включение СВ». Терминал СВ принимает этот сигнал, но выполняет собственные проверки: положение выключателя, исправность цепей управления, отсутствие блокировок, отсутствие запретов от защит, готовность АУВ и так далее.

При ВНР логика аналогична: цифровой канал передает готовность, восстановление напряжения, разрешение/команду возврата нормальной схемы и подтверждение результата. Но локальное включение ввода и отключение секционного выключателя выполняются только после проверки условий в соответствующих терминалах.

КАКИЕ СИГНАЛЫ ЦЕЛЕСООБРАЗНО ДУБЛИРОВАТЬ

Дублировать следует прежде всего те межтерминальные сигналы, отказ которых приводит к потере функции АВР/ВНР или к невозможности корректно восстановить нормальную схему. Передавать «все подряд» не нужно: для проектной прозрачности лучше формировать короткую таблицу GOOSE-сообщений с ролью каждого сигнала.

Группа	Примеры сигналов	Зачем дублировать
Готовность	«АВР готовность», «Готов к АВР»	Терминал аварийной секции знает, что соседняя секция может принять нагрузку
Команды цикла АВР	«Пуск АВР», «АВР на вкл. СВ», «Вкл. СВ по АВР»	При дефекте проводной цепи команда уровня алгоритма может быть доставлена вторым физическим путем
Команды цикла ВНР	«Пуск ВНР», «ВНР успешное», «ВНР на откл. СВ», «Откл. СВ по ВНР», «ВНР на вкл. ВВ»	Возврат нормальной схемы не зависит от одной межшкафной цепи
Запреты и блокировки	«АВР/ВНР блок.», «Запрет АВР внеш.», признаки защит	Исключается опасное действие при КЗ, неготовности выключателя или запрете
Диагностика	«Ошибка потока», расхождение проводного и цифрового каналов	Эксплуатация видит деградацию заранее, до аварии
Дополнительные признаки работы GOOSE	«Приемник GOOSE запущен», «Сервер запущен», «Синхронизация с GOOSE-потоком»	Сигнализируют о корректной работе по 61850

ОЦЕНКА ПРИРОСТА ВЕРОЯТНОСТИ УСПЕШНОЙ РАБОТЫ АВР И ВНР

Дублирование по HSR повышает надежность межсекционной автоматики.

На успешность цикла влияют ТН, ТТ, оперативное питание, выключатели, катушки управления, уставки, логика блокировок и состояние цепей управления. Поэтому правильно сначала оценивать прирост надежности канала межтерминального обмена, а затем переносить этот эффект на всю функцию.

Расчетная модель

$$P = P_{ост} \times (1 - q_{п})$$

$$P_{HSR} = P_{ост} \times (1 - [q_{общ} + (1 - q_{общ}) \times q_{п} \times q_{ц}]),$$

где $q_{п}$ – вероятность скрытого отказа проводной межсекционной цепи;
$q_{ц}$ – вероятность отказа цифрового HSR/GOOSE-канала;
$q_{общ}$ – вероятность общей причины отказа;
$P_{ост}$ – вероятность исправности остальных элементов цикла.

Сценарий	$q_п$	$q_ц$	$q_{общ}$	Успех без HSR	Успех с HSR	Снижение риска
Хорошее состояние цепей	1,0%	0,2%	0,1%	99,0%	≈ 99,898%	≈ в 10 раз
Стареющая схема	3,0%	0,3%	0,1%	97,0%	≈ 99,891%	≈ в 27 раз
Тяжелые условия эксплуатации	5,0%	0,5%	0,3%	95,0%	≈ 99,675%	≈ в 15 раз

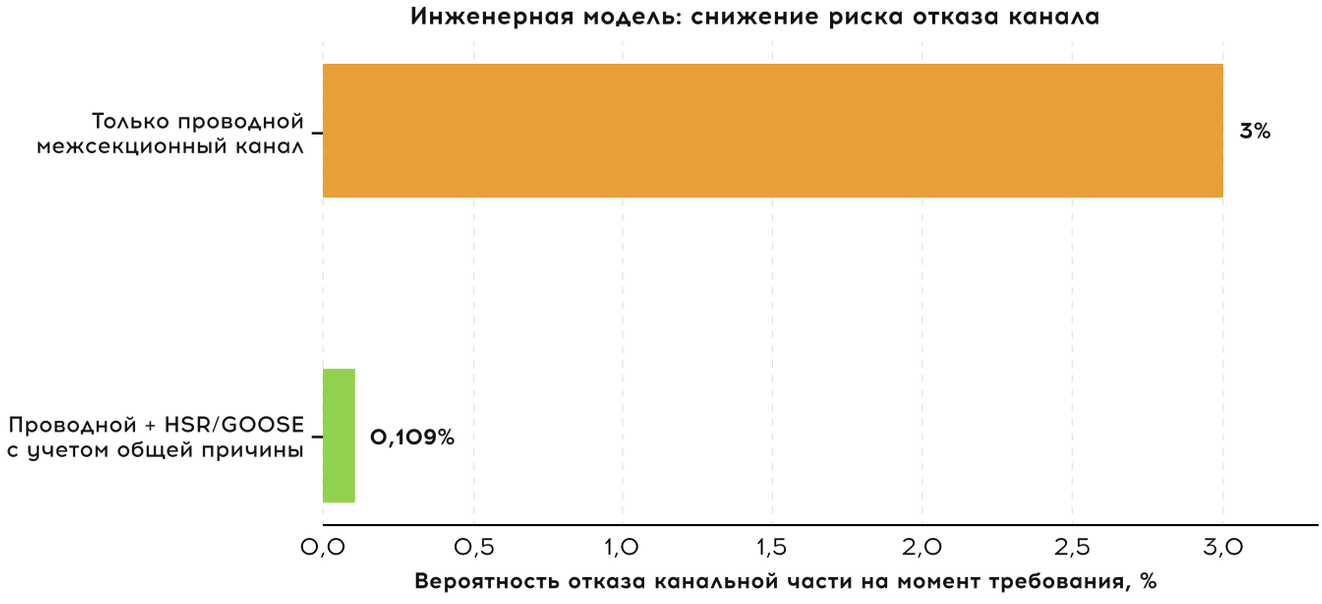


Рисунок 3. В типовом сценарии риск отказа именно канальной части снижается с 3% до примерно 0,109% с учетом общей причины отказа

Если принять вероятность исправности остальных элементов цикла $P_{ост}$ = 0,98, то для типовой стареющей схемы получаем: без цифрового дублера $P_{АВР}$ = 0,98 × 0,97 = 95,06%; с HSR/GOOSE-дублированием $P_{АВР}$ = 0,98 × 0,99891 ≈ 97,89%. Разница около 2,8 процентного пункта для всей функции и примерно 27-кратное снижение риска отказа межтерминального канала.

Объективно и честно

Это не паспортный показатель или результат сертификационных испытаний. Это инженерная модель, показывающая порядок эффекта. Вы можете сами заменить $q_п$, $q_ц$ и $q_{общ}$ на собственные эксплуатационные данные.

УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Для правильного применения решения его нужно проектировать как функцию РЗА. Цифровой сигнал должен быть входом локального алгоритма терминала РЗА, а не безусловной командой в цепи управления выключателями.

- Разрешающие сигналы при потере связи должны переходить в безопасное состояние: нет достоверного GOOSE – нет цифрового разрешения.
- Запрещающие сигналы нельзя проектировать так, чтобы потеря связи автоматически снимала важную блокировку.
- Терминал СВ включает выключатель только после проверки собственных условий: нет запрета, выключатель готов, цепи управления исправны, положения корректны.
- Проводной и цифровой каналы желательно прокладывать физически раздельно; иначе единое повреждение может вывести вариант из работы.
- В проекте должен быть отдельный раздел диагностики цифрового дублера АВР и ВНР в соответствии с типовым решением от производителя: контроль потоков, сигнализация деградации, тест разрыва одного участка HSR-кольца, проверка журналов, конфигурация и алгоритмы гибкой логики с участием цифровых сигналов.

В ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цена отказа АВР особенно на промышленной подстанции существенно выше стоимости цифрового резервирования между тремя терминалами. Ведь HSR не требует установки дорогостоящего коммутационного оборудования и для реализации HSR между тремя терминалами требуется просто Ethernet кабель – стоимость 25-35 метров коммуникационного кабеля несопоставима с потенциальным ущербом при отказе АВР, при том, что риск отказа АВР и ВНР снижается в 10...27 раз!



Михаил Пирогов

Генеральный директор
ООО НПП «Микропроцессорные технологии»

VK: vk.com/pirogovmg

Почта: pirogovmg@i-mt.net

СОЗДАЕМ
НАДЕЖНОЕ
БУДУЩЕЕ