

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ КОМАНД РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

В.А. Харламов, к.т.н., начальник отдела оборудования ЗАО «Юнител Инжиниринг»

В системах релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА) широко используется передача сигналов команд и управляющих воздействий, осуществляемая с помощью устройств передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК). К УПАСК предъявляются очень высокие требования ко времени передачи команд и вероятностям пропуска переданных команд (надежности) и приема ложных команд (безопасности) [1, 2]. Одним из основных способов повышения надежности передачи команд РЗ и ПА является резервирование каналов их передачи.

Традиционно в электроэнергетике для передачи команд РЗ и ПА применяются УПАСК, которые работают по каналам высокочастотной (ВЧ) связи, использующим в качестве среды распространения сигналов фазные провода линий электропередачи (ЛЭП) 35 кВ и выше. Это обусловлено тем, что ЛЭП связывают те объекты электроэнергетики, между которыми необходима передача команд РЗ и ПА, их высокой надежностью и минимальным временем устранения их неисправностей. Резервирование каналов передачи команд РЗ и ПА только по ВЧ каналам, когда основной и резервный каналы организуются по разным фазным проводам ЛЭП, является довольно дорогостоящим решением, т.к. требует удвоения оборудования обработки и присоединения. Кроме того, для организации резервных ВЧ каналов требуются дополнительные рабочие частоты, которые являются исчерпаемым природным ресурсом. Иногда их просто нет, и наличие даже очень больших материальных ресурсов никак не поможет решить эту проблему. В данном случае для резервирования каналов передачи ко-

манд РЗ и ПА требуются отличные от проводов ЛЭП среды распространения сигналов.

В последние годы для передачи команд РЗ и ПА все более широко используются волоконно-оптические кабели (ВОК). Существует два варианта построения цифровых каналов связи для УПАСК:

- использование выделенных оптических волокон (ОВ) в ВОК;
- использование цифровых систем передачи информации (ЦСПИ), которые нашли широкое применение в электроэнергетике для организации телефонных каналов и передачи различных видов данных.

Сложность использования только выделенных ОВ, что является с технической точки зрения более предпочтительным решением в силу его относительной простоты и надежности, состоит в следующем:

- ограниченное число ОВ в ВОК (замена существующих ВОК на ВОК с большим числом ОВ или прокладка дополнительных ВОК только для каналов релейной защиты и автоматики (РЗА) не всегда экономически оправдана);
- ограничения на допустимую длину ВОК между оконечными устройствами без переприемов (длины ЛЭП иногда превышают сотни километров);
- при необходимости обеспечения резервирования цифровых каналов часто сложно найти две географически разнесенные трассы прокладки ВОК допустимой длины для основного и резервного каналов даже для коротких ЛЭП (резервирование по географически не разнесенным трассам прокладки ВОК практически теряет смысл).

Поэтому для организации каналов РЗА применяют ЦСПИ, большинство из которых в российской электроэнергетике построены с использованием технологий Synchronous Digital Hierarchy (SDH) и Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) на базе временного разделения каналов [3]. УПАСК подключаются к мультиплексорам доступа SDH/PDH по цифровым интерфейсам G.703.1, X.21, E1 и C37.94 или встраиваются в них в виде специализированных модулей для передачи команд РЗ и ПА [4].

При отказе линии связи между мультиплексорами механизмы резервирования самой сети SDH/PDH обеспечивают переключение каналов на резервные пути за время до **50 мс** в зависимости от топологии и масштаба сети, что прерывает на это же время канал для подключенного к ней УПАСК (рис. 1). Нормируемое время передачи команд РЗ и ПА по цифровым каналам согласно [1, 2] составляет **10 мс**. В ряде случаев, например, при одновременном обрыве грозозащитного троса со встроенным ВОК (ОКГТ) и коротком замыкании на ЛЭП время передачи команд РЗ и ПА может превышать нормируемое из-за потери канала при переключениях. Но это не особенно критично при наличии для передачи команд параллельного ВЧ канала.

Иногда по ряду причин ВЧ каналы для передачи команд РЗ и ПА не используются, например, из-за

сложности подключения к кабельным линиям (КЛ), что требует изготовления специальных фильтров присоединения (ФП), а в некоторых случаях даже теоретически невозможно изготовить ФП для КЛ с требуемым диапазоном рабочих частот, или высокого затухания КЛ из-за транспозиций их экранов. К сожалению, далеко не все проектные организации могут выполнить должным образом проектирование ВЧ каналов по КЛ или по воздушным линиям с вставками КЛ, и не все производители берутся за изготовление специальных ФП для КЛ. В этих случаях возникает необходимость резервирования путей с меньшим временем переключения, чем обеспечивают сами сети SDH/PDH. Для этого в сетях SDH/PDH организуются основной и резервный каналы с использованием статических (фиксированных) путей через разные линии связи без использования механизмов резервирования сетей. При отказе одного из путей передача данных по нему прерывается, но работа УПАСК продолжается по другому и совершенно не зависит от переключений в сети.

Один из способов резервирования, приведенный на рис. 2, состоит в том, что команды РЗ и ПА, поступившие на дискретный вход УПАСК, параллельно передаются двумя передатчиками через два цифровых интерфейса по статическим основному и резервному путям. Приемник в УПАСК анализирует



Рис. 1. Механизмы резервирования сетей SDH/PDH для канала УПАСК

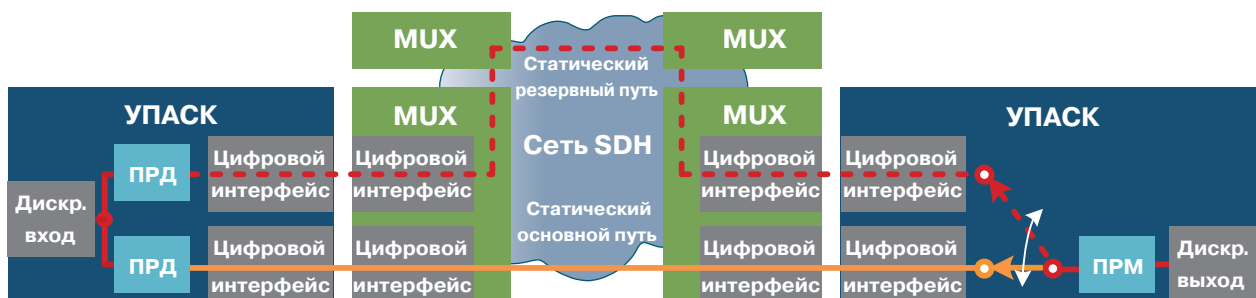


Рис. 2. Основной и резервный каналы по статическим путям в сети SDH/PDH с параллельной передачей и переключением приемника в УПАСК

качество принимаемого сигнала по основному пути и в случае его ухудшения или пропадания переходит на резервный путь. При этом для принятия решения и переход на другой путь требуется некоторое время. Например, в модулях УПАСК ТЕВИТ, встроенных в широко распространенные в российской электроэнергетике мультиплексоры доступа FOX515 компании ABB (UMUX1500 компании KEYMILE), данное время лежит в пределах **4 мс**, что гораздо меньше, чем обеспечивают механизмы резервирования сетей SDH/PDH. Но потеря основного пути может быть не полной, а частичной, т.е. в нем по разным причинам могут возникать битовые ошибки, которые увеличат по сравнению с номинальным реальное время передачи команд РЗ и ПА, а переключения на резервный путь, в котором ошибок нет, производиться не будет.

Существует и другой способ, реализованный в УПАСК ПКУС СР24 и ПКУС СР24 Модуль СКО из семейства оборудования ПКУ, разработанного и производимого ЗАО «Юнител Инжиниринг» в России.

На рис. 3 приведено решение с подключением указанных УПАСК к мультиплексорам по ВОК через преобразователи интерфейсов оптический / электрический ПКУС СР24 Модуль ЭОх.

Использование преобразователей интерфейсов и отказ от встроенных в мультиплексоры доступа модулей оптических интерфейсов С37.94, например, модулей ОРТИФ в упомянутых выше мультиплексорах FOX515 компании ABB, обусловлен следующим:

- ограниченная функциональность (реализация каналов передачи команд только «точка-точка», реализовать каналы «точка-несколько точек» невозможно из-за отсутствия возможности передачи данных, поступающих на интерфейс С37.94, в разных направлениях);

- энергозависимые регистраторы событий (очищаются снятием питания), что усложняет расследование технологических нарушений;
- невозможность вывода информации о состоянии каналов РЗА в автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы центральной сигнализации объектов «сухими» контактами или по протоколам, используемым в РЗА;
- несовместимость на канальном уровне встроенных модулей С37.94 разных производителей, что делает необходимым при организации каналов РЗА использование мультиплексоров доступа одного производителя, и, как следствие, приводит к монополизации рынка и завышению стоимости оборудования ЦСПИ;
- отсутствие встроенных модулей С37.94 в транспортных мультиплексорах SDH, что приводит к необходимости обязательного использования мультиплексоров доступа SDH/PDH для организации каналов РЗА (в ряде случаев усложнение и удорожание решений с уменьшением надежности и ухудшением параметров каналов РЗА).
- Выбор электрического интерфейса Е1, а не G.703.1 или X.21, для подключения к мультиплексорам связан с
- возможностью реализации каналов передачи команд как «точка-точка», так и «точка-несколько точек» с использованием кросс-коммутации тайм-слотов (цифровых каналов 64 кбит/с) потока Е1 в мультиплексорах доступа SDH/PDH, что позволяет передавать данные в разных направлениях;
- наличием интерфейса Е1 как в мультиплексорах доступа SDH/PDH, так и в транспортных мультиплексорах SDH;
- наличием аварийной сигнализации RDI, что позволяет обеспечить мониторинг соединения

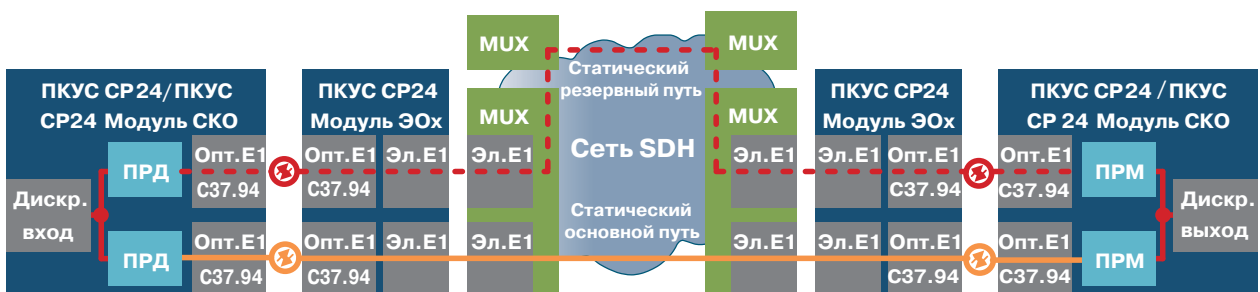


Рис. 3. Основной и резервный каналы по статическим путям в сети SDH/PDH с параллельными передачей и приемом в УПАСК

по интерфейсу E1 и локализовать места возникновения неисправностей;

- устойчивой работой при внештатных ситуациях в оборудовании ЦСПИ (например, в мультиплексорах FOX515 / UMUX1500 при переходе управления с основного процессорного модуля COBUX на резервный происходит прерывание передачи данных на интерфейсах G.703.1 модулей GECOD на время **до нескольких секунд (!!!)**, а в случае выхода из строя обоих процессорных модулей — **полная потеря передачи данных**, что известно, но все равно даже в новых проектах в каналах дифференциальных защит линий (ДЗЛ) используются модули GECOD);
- совместимостью интерфейсов E1 у разных мультиплексоров на канальном уровне, что позволяет не привязываться к одному производителю оборудования ЦСПИ при организации каналов РЗА.

В предложенном на рис.3 решении команды РЗ и ПА, поступившие на дискретный вход УПАСК, так же как и на Рис.2, параллельно передаются двумя передатчиками через два цифровых интерфейса по статическим основному и резервному путям. Но прием осуществляется параллельно двумя приемниками, выходы которых объединены. В данном случае при потере одного из путей работающий по нему приемник будет заблокирован, но прием команд РЗ и ПА будет непрерывно осуществляться по

оставшемуся работоспособному пути. Таким образом, для передачи команд РЗ и ПА обеспечивается **нулевое** время переключения, или как говорят **бесшовное** переключение, между основным и резервными путями. Следует отметить, что в данном случае, когда выходы двух приемников объединены, в два раза увеличивается требование по безопасности для каждого из параллельно работающих приемников по сравнению с вариантом переключения одного приемника между двумя статическими путями. Вероятность приема ложной команды УПАСК должна быть не хуже 10^{-8} согласно [1] и 10^{-6} согласно [2]. Вероятность приема ложной команды в одном приемнике ПКУС СР24 / ПКУС СР24 Модуль СКО в наихудшем случае не выше 10^{-40} . Поэтому при параллельной работе двух приемников с объединением их выходов общая безопасность намного превышает предъявляемые к ней требования.

В ПКУС СР24 и ПКУС СР24 Модуль СКО реализована возможность бесшовного резервирования по статическим путям в ЦСПИ и при подключении по одному цифровому интерфейсу (рис. 4), что может быть использовано при ограниченном числе ОВ в ВОК между УПАСК и мультиплексорами или недостаточном количестве интерфейсов E1 в оборудовании ЦСПИ. Здесь данные с выходов двух передатчиков объединяются в одном потоке E1 или С37.94 с использованием разных тайм-слотов в нем,

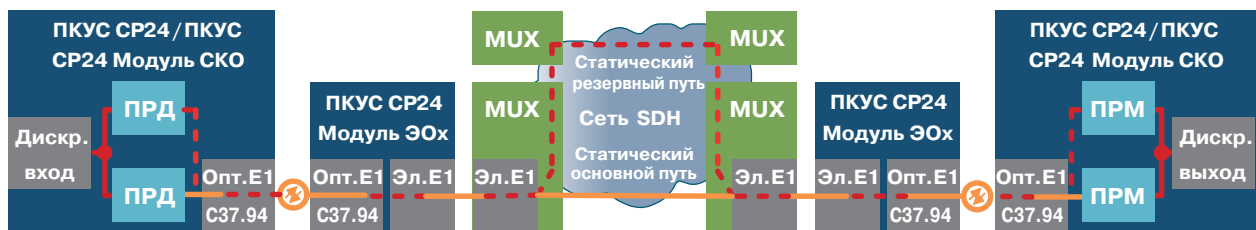


Рис. 4. Бесшовное резервирование по статическим путям в сети SDH/PDH при подключении УПАСК по одному цифровому интерфейсу

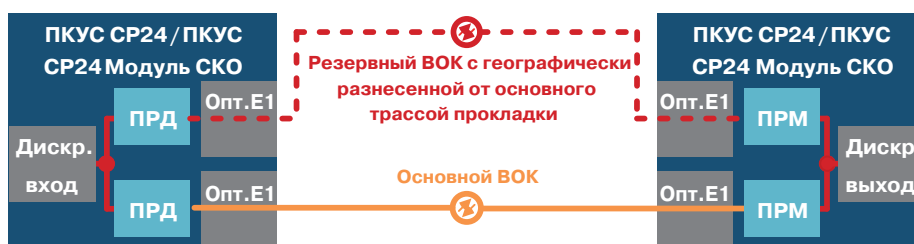


Рис. 5. Бесшовное резервирование по географически разнесенным ВОК

а в мультиплексоре доступа SDH/PDH с помощью кросс-коммутации тайм-слотов с интерфейса E1 эти данные распределяются по двум путям. Соответственно на приемной стороне в мультиплексоре доступа данные, пришедшие с основного и резервного путей, опять объединяются в один поток E1, а в УПАСК из одного потока E1 или C.37.94 распределяются на входы разных приемников. Отметим, что здесь, так же как и на рис.1, производится подключение УПАСК к ЦСПИ по одному интерфейсу, но за счет использования параллельной передачи и приема команд по статическим путям, а не механизмов резервирования сети SDH/PDH, обеспечивается нулевое время переключения. При этом себестоимости обоих решений одинаковы. Следует обратить внимание, что описанное беспроводное резервирование в принципе не реализуемо при подключении к одному интерфейсу C37.94 на встроенных в мультиплексоры доступа модулях, а так же при подключении к G.703.1 и X.21 из-за отсутствия возможности кросс-коммутации данных с указанных интерфейсов.

Беспроводное резервирование цифровых каналов передачи команд РЗ и ПА применимо не только для работы по ЦСПИ, но и по ВОК (рис. 5). Максимальная длина ВОК определяется его типом и используемыми SFP (Small Form-factor Pluggable) модулями (сменными малогабаритными оптическими приемопередатчиками) в ПКУС СР24 и ПКУС СР24 Модуль СКО и может достигать 240 км.

Как ранее уже отмечалось, для резервирования часто невозможно найти вторую географически разнесенную трассу прокладки ВОК. В данном случае для резервного пути можно использовать ЦСПИ. При этом резервный путь по ЦСПИ может быть как статическим (рис. 6), так и использовать механизмы резервирования ЦСПИ (рис. 7).

Длина ВОК между УПАСК ПКУС СР24 / ПКУС СР24 Модуль СКО и преобразователем оптический / электрический интерфейс ПКУС СР24 Модуль ЭОх определяется его типом и используемыми SFP модулями. Допустимо расположение УПАСК и

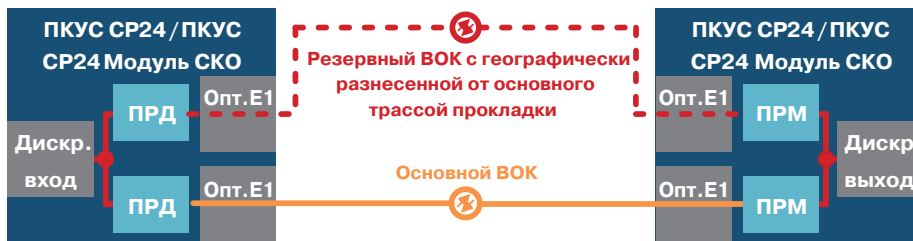


Рис. 6. Беспроводное резервирование по основному пути по ВОК и статическому резервному по ЦСПИ

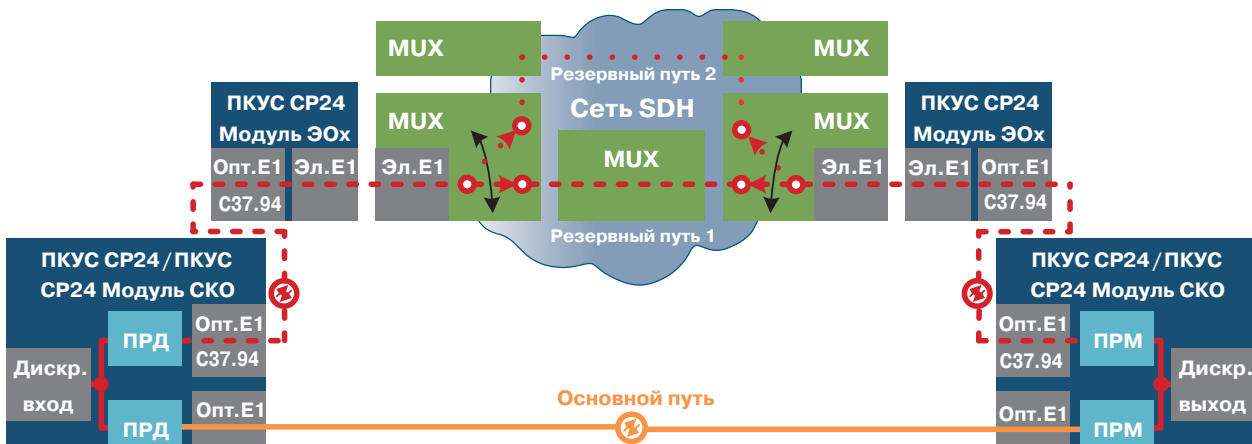


Рис. 7. Беспроводное резервирование по основному пути по ВОК и двум резервным по ЦСПИ с использованием ее механизмов резервирования

мультиплексирующего оборудования с преобразователями интерфейсов на разных объектах, что может быть использовано в тех случаях, когда на объекте, где расположен УПАСК, оборудования ЦСПИ для организации резервирования нет, но оно есть на удаленном объекте, куда проложен ВОК со свободными ОВ.

Следует отметить, что все описанные выше способы резервирования передачи команд РЗ и ПА реализуемы и в сетях с пакетной коммутацией на базе технологии MPLS, которая считается рядом специалистов в области телекоммуникаций одной из наиболее перспективных и позволяет реализовывать каналы РЗА с надежностью, приближающейся к сетям SDH/PDH [5, 6].

В случае отсутствия ВЧ каналов передачи команд РЗ и ПА требуется еще и аппаратное резервирование цифровых каналов с установкой на объектах дополнительных мультиплексоров и комплектов УПАСК. При этом для каждого из комплектов УПАСК так же может быть обеспечено беспровное резервирование по статическим основным и резервным путям.

Таким образом, реализованная в ПКУС СР24 и ПКУС СР24 Модуль СКО возможность беспровного резервирования по статическим основным и резервным путям с нулевым временем переключения позволяет

- организовывать высоконадежные цифровые каналы передачи команд РЗ и ПА параллельно с ВЧ каналами;

- в случае отсутствия ВЧ каналов организовывать передачу команд РЗ и ПА по высоконадежным цифровым каналам с аппаратным резервированием.

Литература

1. IEC 60834-1. Teleprotection equipment of power systems – Performance and testing – Part 1: Command systems

2. ГОСТ Р 55105-2012. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования

3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. — СПб.: Питер, 2010

4. Харламов В.А. Проблемы использования встроенных в мультиплексоры доступа модулей передачи сигналов команд релейной защиты и противоаварийной автоматики. // Воздушные линии. 2013. № 3. С. 36–40

5. Харламов В.А. Сети Ethernet для каналов релейной защиты и автоматики. // Воздушные линии. 2014. № 1. С. 38–43

6. Харламов В.А., Хасанов А.Х. Вопросы использования IP сетей для организации каналов РЗА // Сборник докладов XXII конференции «Релейная защита и автоматизация энергосистем». Москва. 27–29 мая 2014. С. 140–145