

Вопросы построения каналов для систем РЗА при миграции от сетей SDH/PDH к сетям MPLS

В последние годы в системах РЗА широкое распространение получили устройства передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК) и продольные дифференциальные токовые защиты линий (ДЗЛ), работающие по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС). При этом используются как каналы по выделенным оптическим волокнам (ОВ), так и каналы по цифровым системам передачи информации (ЦСПИ).

Авторы:
Харламов В.А.,
Хасанов А.Х.

На сегодняшний день большинство ЦСПИ в российской электроэнергетике построено с использованием технологий SDH/PDH [1] с временным разделением каналов. УПАСК и ДЗЛ подключаются к ним по синхронным цифровым интерфейсам G703.1, X.21, E1 и C37.94.

С ростом объема Ethernet трафика эффективность использования потенциально доступной пропускной способности сетей SDH/PDH будет падать и возникнет необходимость миграции к сетям с пакетной коммутацией. Рядом специалистов в области телекоммуникаций технологии пакетной коммутации на базе MPLS [1] считаются одними из самых перспективных и позволяют обеспечить надежность высокоприоритетных каналов, приближающуюся к надежности каналов в сетях SDH/PDH.

При миграции к сетям MPLS возникает ряд вопросов, одним наиболее важных среди которых является сохранение работоспособности уже установленных и эксплуатируемых в системах РЗА по сетям SDH/PDH УПАСК и ДЗЛ с синхронными цифровыми интерфейсами.

СЕТИ SDH/PDH С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Общая схема построения сетей SDH/PDH в единой технологической сети связи электроэнергетики (ЕТССЭ) России приведена на рис. 1.

С использованием транспортных мультиплексов SDH по ОВ организуется транспортная сеть STM-4/16 (622 Мбит/с / 2.5 Гбит/с), к которой по STM-1 (155 Мбит/с) подключаются мультиплексы доступа SDH/PDH. При отсутствии необходимости в высокой скорости передачи данных сеть или ее сегменты могут быть построены на уровне STM-1 с использованием только мультиплексов доступа SDH/PDH. Транспортные мультиплексы имеют интерфейсы пользователя STM-1, E1 и Ethernet. Мультиплексы доступа имеют более широкий набор интерфейсов пользователя: 2-х и 4-х проводные телефонные окончания, E1, Ethernet, RS-232, X.21 и т.д.

В мультиплексах данные с различных синхронных интерфейсов объединяются в один поток с использованием временного разделения каналов

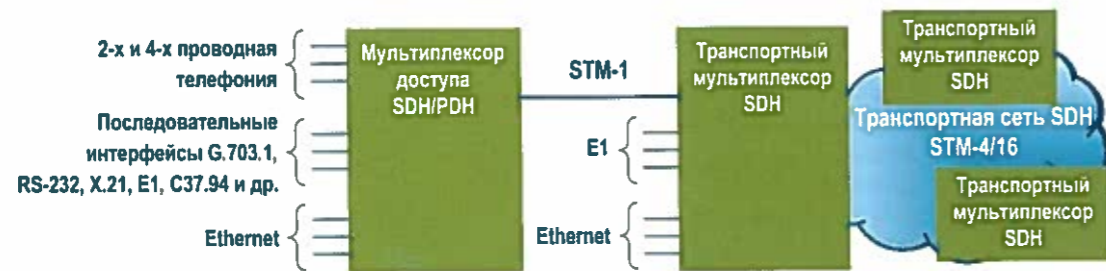


Рис. 1. Типовое решение по построению сетей SDH/PDH в российской электроэнергетике

(рис. 2) с кадрами длительностью 125 мкс, которые непрерывно следуют друг за другом. При этом для каждого канала гарантированно резервируется заданная пропускная способность. Это обеспечивает надежную передачу данных всех мультиплексируемых каналов с малой детерминированной задержкой и без какого-либо взаимного влияния между ними.

Пакетный трафик в мультиплексах SDH/PDH с помощью стандартизированной технологии Ethernet over SDH (EoS) [1] инкапсулируется в отдельные виртуальные контейнеры, что обеспечивает его полную изоляцию от всех других каналов и гарантирует для него заданную пропускную способность.

Важнейшими параметрами для работающих по синхронным каналам сетей SDH/PDH устройств РЗА являются:

- синхронизация;
- задержка в канале;
- симметрия задержки в разных направлениях канала (принципиально важна для ДЗЛ);
- вероятность ошибок в канале;
- резервирование путей в сети.

В синхронных сетях осуществляется синхронизация по тактовой частоте всех передающих и принимающих устройств мультиплексов. Данная тактовая частота также используется для синхронизации подключаемых к ней по интерфейсам G.703.1, X.21, E1 и C37.94 устройств РЗА. Отсутствие качественной синхронизации приводит из-за различия тактовых частот в мультиплексах к частому появлению проскальзываний (слипов, от англ. slip), которые заключаются в исключении или повторении в потоке цифровых данных одного или нескольких бит, что приводит к возникновению ошибок в цифровом канале.

Для обеспечения синхронизации реализуются системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС) от источников хронизирующих сигналов. В качестве переносчиков синхросигналов в сетях SDH/PDH используются линейные сигналы STM-1/4/16. Устройства тактовой синхронизации в мультиплексах восстанавливают синхросигнал из принимаемых линейных сигналов, по которым передаются данные, т.е. синхронизация осуществляется на физическом уровне. При этом по сети передается информация только о частоте, а не о времени (синхронизация по времени отсутствует).

При формировании ТСС требуется наличие основного и резервных путей син-

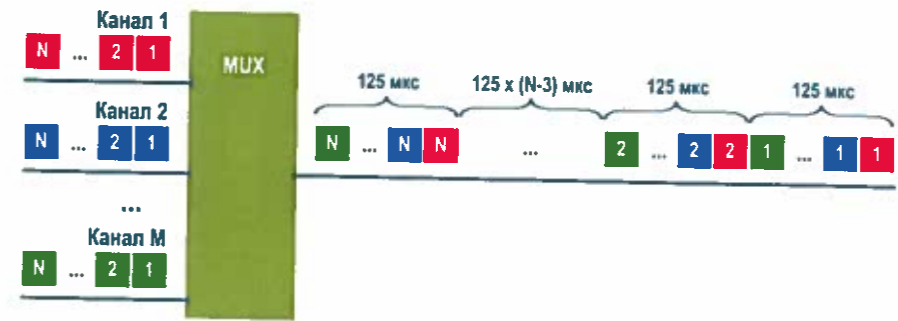


Рис. 2. Мультиплексирование с временным разделением каналов

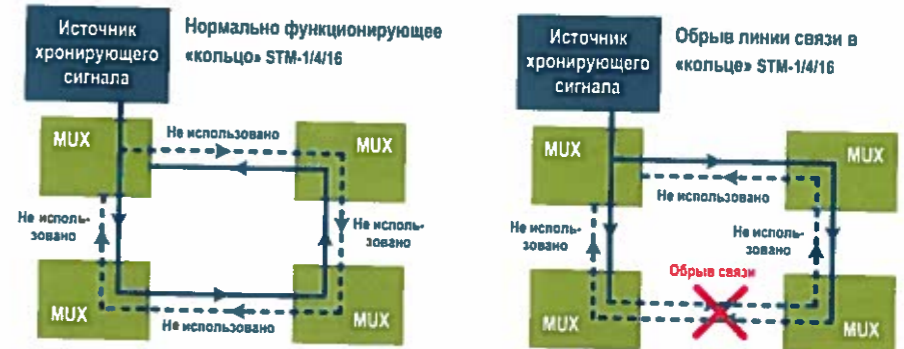


Рис. 3. Схема синхронизации в кольцевой сети SDH

хронизации. В случае небольшой сети синхронизация осуществляется относительно просто. Например, на рис. 3 показана синхронизация в кольцевой сети SDH в нормальном режиме и при обрыве одной из линий связи. Но для больших сетей со сложной топологией организация синхронизации всех ее устройств представляет довольно трудно решаемую задачу.

В положении о технической политике ПАО «Россети» [2] указано, что основные принципы построения сети ТСС изложены в руководящем техническом материале [3]. Согласно [2] для ЕТССЭ должна быть создана сеть ТСС со своими первичными эталонными генераторами (ПЭГ) и ведомыми задающими генераторами (ВЗГ). При этом сеть ТСС должна работать с базовой сетью ТСС ПАО «Ростелеком» в

псевдосинхронном режиме и вместе с ней составлять систему ТСС ЕТССЭ.

ПЭГ – высокостабильный генератор с долговременным относительным отклонением частоты не более 10^{-11} . ПЭГ обладают в сети ТСС наивысшим качеством.

ВЗГ – генератор, фаза которого подстраивается по сигналу от генератора более высокого или того же качества. ВЗГ обычно устанавливаются на узлах разветвления синхронизации и на транзитных узлах через некоторое количество промежуточных мультиплексов для фильтрации фазовых дрожаний цифрового сигнала (джиттера, от англ. jitter).

Руководящий технический материал [3] определяет четыре режима работы сети ТСС, приведенные в таблице 1.

Синхронный режим – нормальный режим работы сети, при котором проскаль-

Таблица 1. Режимы синхронизации

Режим	Число проскальзываний
Синхронный	В идеале проскальзываний нет
Псевдосинхронный (точность установки частоты 10^{-11})	Не более одного проскальзывания за 70 суток
Плэзиохронный (точность установки частоты 10^{-6})	Не более одного проскальзывания за 17 часов
Асинхронный (точность установки частоты 10^{-4})	Не более одного проскальзывания за 7 секунд

Харламов В.А., Хасанов А.Х., ООО «Юнител Инжиниринг»

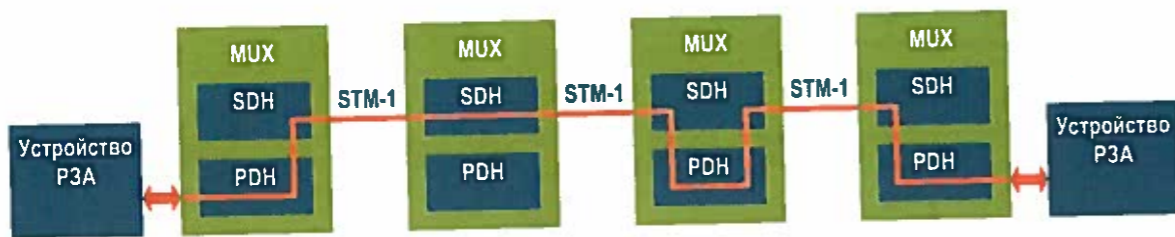


Рис. 4. Организация цифрового канала с пере приемами в сети SDH/PDH



Рис. 5. Собственные механизмы резервирования сетей SDH/PDH

звания носят только случайный характер. Данный режим обеспечивается в пределах региона синхронизации (синхронизации от одного ПЭГ).

Псевдосинхронный режим имеет место, когда в сети независимо друг от друга работают два или более генераторов с точностью установки частоты не хуже 10^{-11} . Такой режим работы возникает, например, при наличии в сети сегментов, синхронизируемых от разных регионов синхронизации ПАО «Ростелеком». При этом ухудшение качества за счет расхождения частот будет незначительным по сравнению с нарушениями по другим, часто трудно предсказуемым причинам, которые могут произойти между проскальзываниями, и приводят к ошибкам в цифровом канале (например, при переходе управления мультиплексором при отказе его основного процессорного модуля на резервный).

Плезиохронный режим работы возникает в сети, когда генератор устройства тактовой синхронизации ведомого мультиплексора полностью теряет возможность внешней принудительной синхронизации при отказе как основного, так и всех резервных путей синхронизации. В этом случае генератор переходит в режим удержания (англ. holdover mode), при котором запоминается частота принудительной синхронизации. У транзитных узлов относительная неточность запоминания частоты не должна превышать 5×10^{-10} , а суточный дрейф частоты – 10^{-9} . Работа в режиме удержания, в отличие от псевдосинхронного режима, должна быть ограничена срочными мерами по восстановлению принудительной синхронизации так, чтобы она не превышала одних суток в течение года [3].

Асинхронный режим в ЕТССЭ России неприемлем. Обычно он возникает при ошибках в конфигурации оборудования ЦСПИ или его отказе.

Таким образом, по указанным выше причинам в сети ЕТССЭ возможны ошибки, связанные с проскальзываниями, но допустимая частота их появления крайне мала. Совпадение моментов проскальзываний с аварийными ситуациями в энергосистеме может привести к небольшой задержке в действии систем РЗА, но данное событие маловероятно.

Другим важным параметром является задержка в канале по ЦСПИ, т.к. она уменьшает быстродействие систем РЗА. Данная задержка в сетях SDH/PDH зависит не только от числа мультиплексоров, через которые организован канал, их типа (транспортный мультиплексор или мультиплексор доступа) и производителя, но и от способа выполнения пере приемов в них. Так на рис. 4 показан пример организации канала, где в одном мультиплексоре доступа пере прием осуществляется на уровне SDH, а в другом – на уровне PDH с большей из-за дополнительной обработки задержкой.

В больших сетях по практическому опыту авторов число промежуточных мультиплексоров в канале для РЗА может быть более 10, и, соответственно, задержка может составить несколько миллисекунд.

Для обеспечения тактовой синхронизации в мультиплексорах используются буферные устройства. Их наличие приводит к разным величинам задержки в разных направлениях канала, т.е. появляется асимметрия задержки в канале. Следует отметить, что величина асимметрии может изменяться после потери синхрониза-

ции с последующим ее восстановлением, например, после выключения и последующего включения питания мультиплексора. Асимметрия не существенна для УПАСК, т.к. приводит только к небольшому отличию времени передачи команд в разных направлениях канала. Для ДЗЛ нарушение симметрии – причина погрешности измерения задержки методом «эхо-сигнала», что приводит к ошибке вычисления дифференциального тока [4]. Результатом данной ошибки может быть ложное действие ДЗЛ при коротких замыканиях вне защищаемой линии. Допустимая для ДЗЛ величина асимметрии составляет 250-300 мкс. При большей асимметрии необходимо синхронизировать терминалы ДЗЛ от ГЛОНАСС/GPS, что уменьшает надежность системы, или загружать чувствительность защиты. Измерить на территориально разнесенных объектах величину асимметрии канала довольно проблематично, т.к. это требует синхронизации приборов от одного источника времени. К сожалению, производители оборудования ЦСПИ не приводят данные по симметрии каналов, что делает необходимым ее измерение в лабораторных условиях с целью определения возможности использования конкретного типа оборудования для организации каналов для ДЗЛ. Причем опыт показывает, что величина асимметрии зависит не только от типа, но и конфигурации сетевого оборудования.

Резервирование путей в ЦСПИ – один из способов повышения надежности каналов. При отказе линии связи в сети SDH/PDH в зависимости от ее масштаба и топологии обеспечивается переключение каналов на резервные пути за время до 50 мс (рис. 5). Данные прерывания в 50 мс незначительно повлияют на общий коэффициент готовности канала, но отказы линий связи могут быть коррелированы с аварийными ситуациями в энергосистемах, и такая их длительность недопустима для штатной работы ряда систем РЗА. Следует отметить, несмотря на то, что все каналы в сетях SDH/PDH принципиально дуплекс-

ные, при некоторых отказах основного пути может возникнуть ситуация, когда в одном направлении канал переключится на резервный путь несколько раньше, чем в другом. При этом на некоторое время в канале для РЗА возникнет асимметрия задержки. Для УПАСК это не приведет к каким-либо серьезным последствиям. Но для ДЗЛ, где допустимая величина асимметрии задержки крайне мала, это может привести к существенной погрешности вычисления дифференциального тока и соответственно к ложному отключению защищаемой линии.

Поэтому при резервировании каналов для РЗА предпочтительней использовать статические (фиксированные) пути через разные линии связи (рис. 6). Здесь отказ канала определяет не сеть SDH/PDH, а само устройство РЗА, и при проблемах в одном из путей его работа продолжается по другому.

Существующие сети SDH/PDH позволяют организовать высоконадежные синхронные каналы для РЗА с небольшой детерминированной задержкой и возможностью их резервирования по статическим путям, что сейчас широко используется на практике.

ПРОБЛЕМЫ ПРИ МИГРАЦИИ К СЕТЯМ С ПАКЕТНОЙ КОММУТАЦИЕЙ

На данный момент времени организация передачи пакетного трафика и других данных по сетям SHD/PDH удовлетворяет потребностям электроэнергетики и позволяет организовывать высоконадежные каналы для систем РЗА. Но уже сегодня в энергопредприятиях доля как корпоративного, так и технологического Ethernet трафика возрастает. При этом эффективность использования потенциально доступной пропускной способности сетей SDH/PDH падает и возникает необходимость поиска решений на базе технологий пакетной коммутации.

Некоторые примеры возможной реализации пакетной коммутации каналов показаны на рис. 7. В данных случаях суммарный объем данных, поступающих от пользователей каналов Ethernet 1 и Ethernet 2, ничем не ограничен и может превысить пропускную способность канала между маршрутизаторами, что приведет к потере части пакетов. Поэтому гарантировать пропускную способность каждого из каналов Ethernet нельзя. Кроме того, канал с более низким приоритетом может оказывать влияние на работу более высокоприоритетного канала

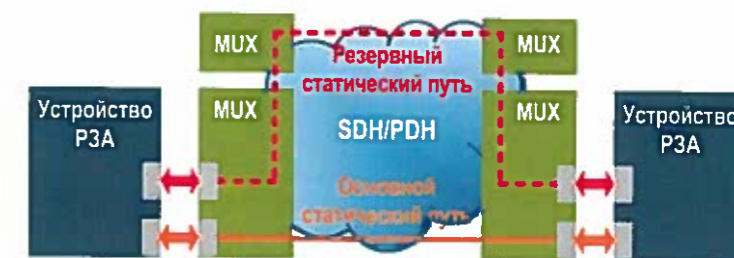


Рис. 6. Резервирование каналов для РЗА по статическим путям в сетях SDH/PDH

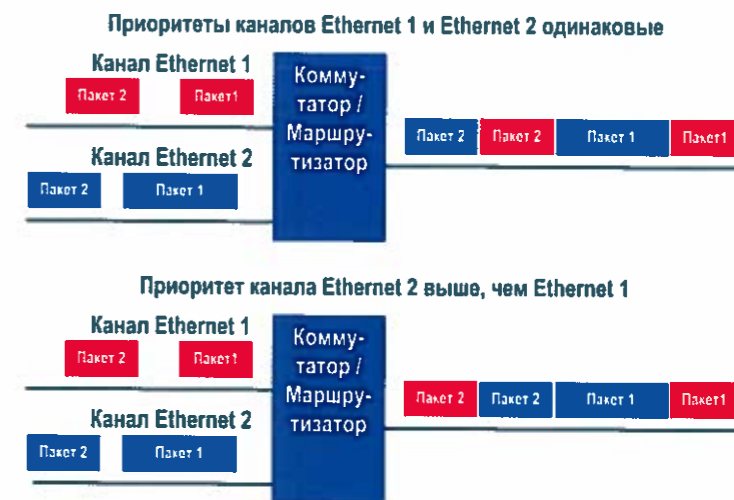


Рис. 7. Примеры реализации пакетной коммутации каналов

(пока передача низкоприоритетного пакета не будет завершена, более приоритетный пакет не будет передаваться). Таким образом, даже высокоприоритетный канал Ethernet будет иметь переменную задержку (джиттер задержки канала).

Изначально протокол Ethernet предназначен только для древовидных топологий сетей и не предполагает замкнутых контуров (в том числе и кольцевых топологий), т.е. сама природа протокола Ethernet запрещает построение резервных каналов.

Для реализации резервирования используют протоколы, обеспечивающие только один активный путь между устройствами при наличии нескольких физических, например, RSTP [1]. Но RSTP обеспечивает время переключения с одного пути на другой порядка 1 с и более, что неприемлемо для РЗА.

Таким образом, использование сетей на базе коммутаторов Ethernet и маршрутизаторов IP/Ethernet для каналов РЗА ограничено сложностями организации в них основного и резервного каналов по статическим путям с заданными стабильными задержками и пропускными способностями.

В настоящее время в системах РЗА эксплуатируется большое число УПАСК

и ДЗЛ с синхронными цифровыми интерфейсами. При миграции к сетям с пакетной коммутацией крайне важно обеспечить организацию высоконадежных каналов не только для новых устройств РЗА с интерфейсами Ethernet, но и для уже существующих УПАСК и ДЗЛ, подключенных к сетям SDH/PDH по интерфейсам G703.1, X.21, E1 и C37.94.

Кроме того, при миграции к сетям с пакетной коммутацией необходимо решить еще ряд важных вопросов, среди которых

- обеспечение информационной безопасности (ИБ) [5];
- формирование принципов построения каналов для РЗА по сетям с пакетной коммутацией;
- разработка методик испытаний каналов для РЗА по сетям с пакетной коммутацией (например, в отличие от сетей SDH/PDH, где взаимное влияние между каналами отсутствует, здесь необходимо проверять работу высокоприоритетных каналов с высокими требованиями к надежности при штормовых нагрузках в сети);
- подготовка энергопредприятий, в том числе служб РЗА, к эксплуатации решений на базе новых технологий (наличие обученного персонала, приборов и т.д.).



Рис. 8. Проверка синхронного канала для РЗА с помощью СИ в сетях SDH/PDH

СЕТИ MPLS НА БАЗЕ ПАКЕТНОЙ КОММУТАЦИИ КАНАЛОВ

Как ранее уже отмечалось, технологии пакетной коммутации на базе MPLS (IP/MPLS, MPLS-TE, MPLS-TP) считаются одними из самых перспективных и позволяют обеспечить надежность части каналов (но не всех), приближающуюся к надежности каналов в сетях SDH/PDH.

Важнейшие параметры для работающих по сетям MPLS устройств РЗА:

- синхронизация (только для устройств РЗА с синхронными цифровыми интерфейсами);
- задержка в канале;
- джиттер задержки канала (новый параметр по сравнению с сетями SDH/PDH);
- симметрия задержки в разных направлениях канала;
- вероятность ошибок в канале;
- резервирование путей в сети.

Синхронизация маршрутизаторов MPLS по частоте (но не по времени) осуществляется использованием синхронного Ethernet согласно рекомендации [6]. При этом синхронизация, также как и в сетях SDH/PDH, осуществляется по линейным сигналам на физическом уровне. При этом качество синхронизации не зависит от нагрузки в сети MPLS и сопоставимо с сетями SDH/PDH. Наличие синхронизации по частоте делает принципиально возможной реализацию в оборудовании сетей MPLS синхронных цифровых интерфейсов G.703.1, X.21, E1 и C37.94, которые используются в сетях SDH/PDH для подключения УПАСК и ДЗЛ.

Проведенные авторами испытания показали, что маршрутизаторы MPLS, если они аппаратно реализованы на базе специализированных микросхем, а не микропроцессорных устройств, при соответствующей их конфигурации вносят в составные каналы Ethernet с переприемами задержку не более 50 мкс на узел.

Джиттер задержки канала Ethernet может быть уменьшен использованием при конфигурации сети MPLS приоритезации, резервирования пропускной полосы канала и ограничения трафика в других

каналах. Но использование данных механизмов существенно снижает общую пропускную способность сети MPLS.

В случае реализации синхронных цифровых каналов для существующих УПАСК и ДЗЛ на передающей стороне необходима инкапсуляция данных в пакеты Ethernet, а на приемной стороне – использование буфера для выравнивания джиттера задержки в канале. Данные операции вносят дополнительную задержку в несколько миллисекунд. Но инкапсуляция низкоскоростных данных синхронных каналов, например, 64 кбит/с, в пакеты Ethernet приводит к тому, что требуемая пропускная способность в сети MPLS многократно превышает скорость обмена между устройствами РЗА [5, 7, 8].

Проведенные испытания [5, 7, 8], в том числе и со штормовыми нагрузками, показали возможность реализации по сетям MPLS высоконадежных синхронных цифровых каналов с требуемыми задержками и симметрией для эксплуатируемых в настоящее время в системах РЗА как УПАСК, так и ДЗЛ. Но принципиально уменьшить задержки в каналах и повысить эффективность использования доступной полосы сетей MPLS позволит использование новых устройств РЗА с интерфейсами Ethernet.

При отказах основных путей собственные механизмы резервирования сетей MPLS, также как и сетей SDH/PDH (рис. 5), обеспечивают переключение на резервные за время до 50 мс (испытания, проведенные при участии авторов, подтвердили это), но не всегда такое переключение приемлемо для систем РЗА. В сетях MPLS по аналогии с сетями SDH/PDH (рис. 6) существует возможность организации основных и резервных каналов по статическим путям с потенциально гарантированной пропускной способностью, что подтвердили проведенные испытания УПАСК и ДЗЛ по синхронным цифровым интерфейсам маршрутизаторов [5, 7].

Таким образом, перспективные сети MPLS позволяют организовать высоконадежные каналы с возможностью резервирования по статическим путям как для существующих УПАСК и ДЗЛ с синхронными интерфейсами, так и для новых с интерфейсами Ethernet. Но следует отметить, что при использовании маршрутизаторов MPLS разных типов параметры каналов отличаются. Причем отличия параметров каналов наблюдаются

даже при использовании одних и тех же маршрутизаторов с разными версиями встроенного программного обеспечения (разными «прошивками»). Поэтому решение о возможности использования конкретного типа маршрутизатора MPLS в качестве каналообразующего оборудования для РЗА требует проведения предварительных лабораторных испытаний.

ПРОВЕРКА КАНАЛОВ ДЛЯ РЗА ПО ЦИФРОВЫМ СЕТЯМ

Без проведения необходимого объема проверок при наладке в принципе невозможно гарантировать стабильную работу устройств РЗА по цифровым сетям. К сожалению, в нормативно-технической документации (НТД) российской электроэнергетики нет норм на параметры, объемы и методики проверок каналов для РЗА даже по существующим сетям SDH/PDH. В стандарте ПАО «ФСК ЕЭС» [9] указано, что для цифровых каналов объем проверок на этапе наладки должен быть согласован с положениями норм [10]. При этом специфика цифровых каналов для РЗА в данном стандарте не обозначена. Нормы [10] предназначены для сетей операторов связи и тем более не учитывают специфику систем РЗА. Так, неготовность канала по данным нормам наступает только после 10 последовательных секунд с коэффициентом ошибок больше 10^{-3} . Но, тем не менее, некоторые положения норм [10] необходимо учитывать (а не копировать) при проверке каналов для РЗА, т.к. они основаны на большом опыте ввода в эксплуатацию и технического обслуживания сетей операторов связи.

По мнению авторов, исходя из их практического опыта, как и в нормах [10] проверку синхронных каналов для РЗА при наладке необходимо проводить с использованием средств измерений (СИ), обеспечивающих подачу в канал сигнала в виде псевдослучайной последовательности (ПСП). Требования к ПСП и другим параметрам СИ приведены в тех же нормах. Данные СИ позволяют фиксировать проскальзывания и битовые ошибки в синхронных цифровых каналах.

Схема проведения проверок с использованием СИ в сетях SDH/PDH приведена на рис. 8. С одной стороны канала осуществляется подача ПСП, а на другой стороне канала – заворот принимаемого сигнала на передачу.

Согласно нормам [10] проверка проводится в два этапа. Длительность первого

этапа испытаний с помощью ПСП – не менее 15 минут. В течение данного периода СИ не должно зафиксировать ошибок. В случае появления даже одной ошибки испытание должно быть повторено. Если при втором испытании будут наблюдаться ошибки, должна быть проведена локализация неисправности в канале и ее устранение.

На втором этапе вместо СИ и заворота с обеих сторон канала подключаются устройства РЗА. Измерения на втором этапе проводятся в течение одних суток. Если в течение этих суток произойдет ошибка, зафиксированная средствами встроенного контроля устройств РЗА или сети SDH/PDH, то должна быть найдена их причина и проведены новые испытания.

Такая проверка в сетях SDH/PDH является корректной, так как в них полностью отсутствует взаимное влияние между разными каналами. В сетях MPLS это далеко не так. В зависимости от конфигурации сети на проверяемый канал другие каналы могут оказывать довольно существенное влияние. Испытания, проведенные с участием авторов, показали, что некорректная конфигурация высоконадежных синхронных каналов для РЗА приводит при возрастании менее приоритетной нагрузки в сети MPLS к появлению в них битовых ошибок и проскальзываний, в то время как при малой нагрузке в сети данные явления не наблюдаются. Поэтому при проведении проверки синхронных каналов для РЗА необходимо обеспечить штормовую нагрузку сети MPLS менее приоритетным трафиком с использованием специального генератора (рис. 9). Подобные испытания должны быть проведены и для высокоприоритетных каналов Ethernet, только при этом должно быть использовано СИ для проверки каналов Ethernet.

При проведении испытаний штормовой нагрузкой возникают два основных вопроса. Первый – ввод штормовой нагрузки может нарушить другие менее приоритетные каналы (IP телефонию, передачу телемеханики, каналы для корпоративных систем и т.д.) и это надо учитывать при проведении испытаний. С учетом того, что рекомендуемая нормами [10] продолжительность первого этапа проверки канала 15 минут, а второго – 1 сутки, прерывание менее приоритетных каналов на такое время недопустимо. Второй вопрос – если канал для РЗА составной, т.е. используются переопределенные в проме-

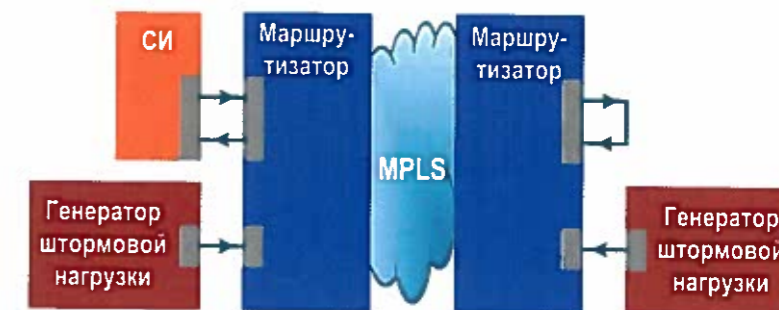


Рис. 9. Проверка синхронного канала для РЗА с помощью СИ в сетях MPLS

жуточных маршрутизаторах, то при проверке необходимо создавать штормовую нагрузку и в промежуточных узлах, что при их большом числе довольно затруднительно. Очевидно, что указанные выше вопросы по проверке каналов для РЗА в сетях MPLS требуют решения, т.е. должна быть разработана соответствующая НТД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективные сети MPLS позволяют организовать высоконадежные каналы с возможностью резервирования по статическим путям как для существующих и уже эксплуатируемых в российской электроэнергетике УПАСК и ДЗЛ с синхронными интерфейсами G.703.1, X.21, E1 и C37.94, так и для новых устройств РЗА с интерфейсами Ethernet.

При миграции от сетей SDH/PDH к сетям MPLS требуется решение ряда вопросов:

- разработка НТД на общие принципы построения в сетях MPLS каналов для корпоративных и технологических (включая РЗА) систем;
- проведение испытаний разных типов маршрутизаторов MPLS на предмет возможности реализации каналов для РЗА;
- обеспечение ИБ сетей MPLS, т.к. в них в отличие от сетей SDH/PDH некоторые поражения каналов для РЗА могут быть обнаружены далеко не сразу, а только лишь при штормовых нагрузках;
- разработка НТД на параметры, объемы и методики проверки каналов для РЗА в сетях MPLS;
- подготовка персонала энергопредприятий к эксплуатации решений на базе новых технологий.

Без решения данных вопросов миграция к сетям на базе технологий MPLS несет в себе много потенциальных рисков для надежной работы систем РЗА без технологических нарушений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010.
2. Положение ОАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. Утверждено Советом директоров ОАО «Россети» (протокол № 138 от 23.10.2013).
3. Руководящий технический материал по построению тактовой сетевой синхронизации на цифровой сети связи Российской Федерации. Решение ГКЭС России от 01.11.1995 г. № 133.
4. Харламов В.А. Реализация цифровых каналов технологической связи для РЗА и ПА // Воздушные линии. 2013. № 2. С. 66–71.
5. Харламов В.А., Хасанов А.Х. Высоконадежные каналы по цифровым сетям связи для существующих и перспективных систем РЗА. // Релейщик. 2015. № 2. С. 37–41.
6. Recommendation ITU-T G.8261/Y.1361 (08/2013). Timing and synchronization aspects in packet networks.
7. Харламов В.А. Каналы для релейной защиты и автоматики в сетях с пакетной коммутацией // Энергия единой сети. 2014. № 5. С. 90-93.
8. Leroy T., Experiences with an IP/MPLS Network in Utility Environment, ICGRE Technical Session 2014, SC D2-302.
9. СТО 56947007-33.180.10.185-2014. Технологическая связь. Правила проведения технического надзора за проектированием и строительством волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше.
10. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризональных первичных сетей. Приказ Минсвязи России от 10.08.1996 № 92.