

СЕТИ ETHERNET ДЛЯ КАНАЛОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

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

В последние годы в области телекоммуникаций активно внедряются решения на основе технологий пакетной коммутации. Это связано с тем, что трафик Internet Protocol (IP), например, IP телефония, IP телевидение, видеонаблюдение по IP и т.д., занимает преобладающую долю в общем трафике операторов связи и эта доля постоянно растет. Поэтому в цифровых системах передачи информации (ЦСПИ) традиционные технологии Synchronous Digital Hierarchy (SDH) и Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH) на базе временного разделения каналов (Time Division Multiplexing, TDM) уступают место новым технологиям пакетной коммутации, которые позволяют более эффективно использовать доступные пропускные способности (полосы) каналов при передаче больших объемов пакетного трафика. Наибольшее распространение для передачи пакетных данных получил протокол Ethernet.

В российской электроэнергетике большинство ЦСПИ построено с использованием технологии SDH/PDH. В мультиплексорах SDH/PDH осуществляется инкапсуляция данных с интерфейсов пользователя в виртуальные контейнеры определенного объема, которые непрерывно передаются друг за другом [1,2]. Это обеспечивает надежную передачу данных с малой детерминированной задержкой и без взаимного влияния между разными каналами/пользователями. Параметры сетей SDH/PDH позволяют организовывать по ним каналы для терминалов дифференциальных защит линий (ДЗЛ) и устройств передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК) в комплектах ступенчатых защит (КСЗ) и системах противоаварийной автома-

тики (ПА) с подключением по синхронным интерфейсам G.703.1, X.21, E1 и S37.94 [3].

Вместе с тем IP в электроэнергетике все более широко используется не только для передачи между ее объектами корпоративного трафика (Internet, e-mail, SAP и т.д.), но и трафика технологической зоны, например, автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированных систем технологического управления (АСТУ) по ГОСТ Р МЭК 60870-5-104 (TCP/IP), систем мониторинга переходных режимов (СМНР) согласно С37.118.2 (UDP/IP и TCP/IP) и других. С развитием активно-адаптивных сетей (Smart Grid), в том числе и с возобновляемой распределенной генерацией, доля пакетных данных в ЦСПИ электроэнергетики будет возрастать.

В мультиплексорах SDH/PDH передаваемый пакетный трафик с помощью стандартизированной технологии Ethernet over SDH (EoS) [4] инкапсулируется в виртуальные контейнеры и для него выделяется определенная полоса с использованием процедуры разбиения на кадры (General Framing Procedure, GFP), виртуальной конкатенации (Virtual Concatenation, VCAT) и схемы регулировки пропускной способности канала (Link Capacity Adjustment Scheme, LCAS). При этом могут быть организованы различные схемы каналов. На рис.1 приведена схема, организации каналов, в которой для двух приложений с интерфейсами Fast Ethernet (FE) или Gigabit Ethernet (GbE) организованы два независимых прямых канала через сеть SDH. Передача пакетного трафика по данным каналам совершенно независимая, не имеет взаимного влияния и никак не влияет на другие каналы, в том чис-

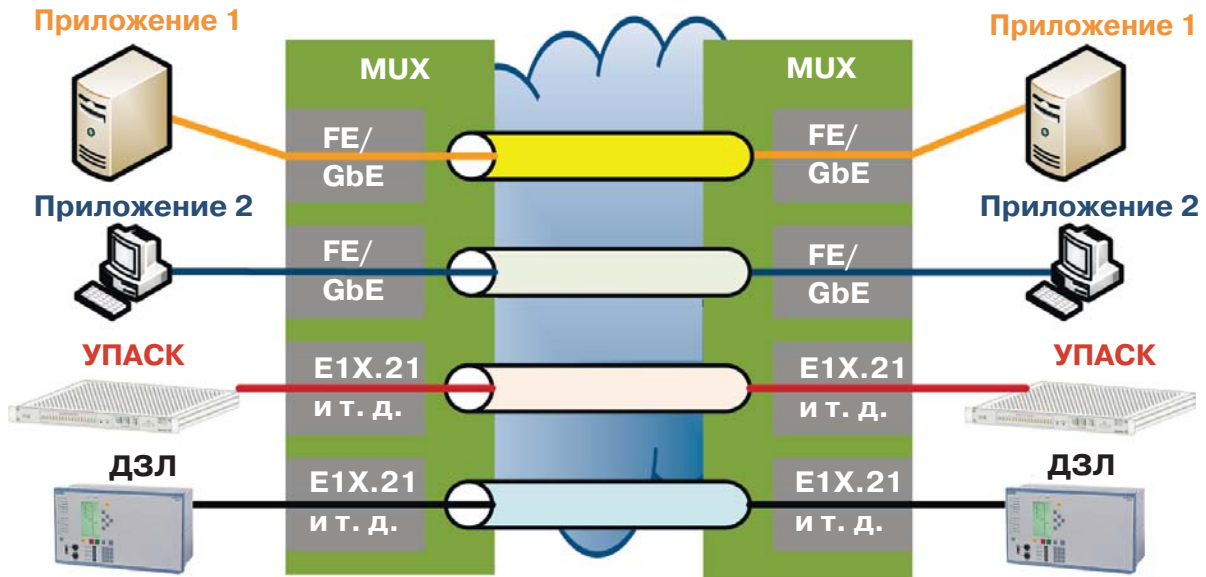


Рис. 1. Соединение Ethernet «точка-точка» через сеть SDH параллельно с другими каналами

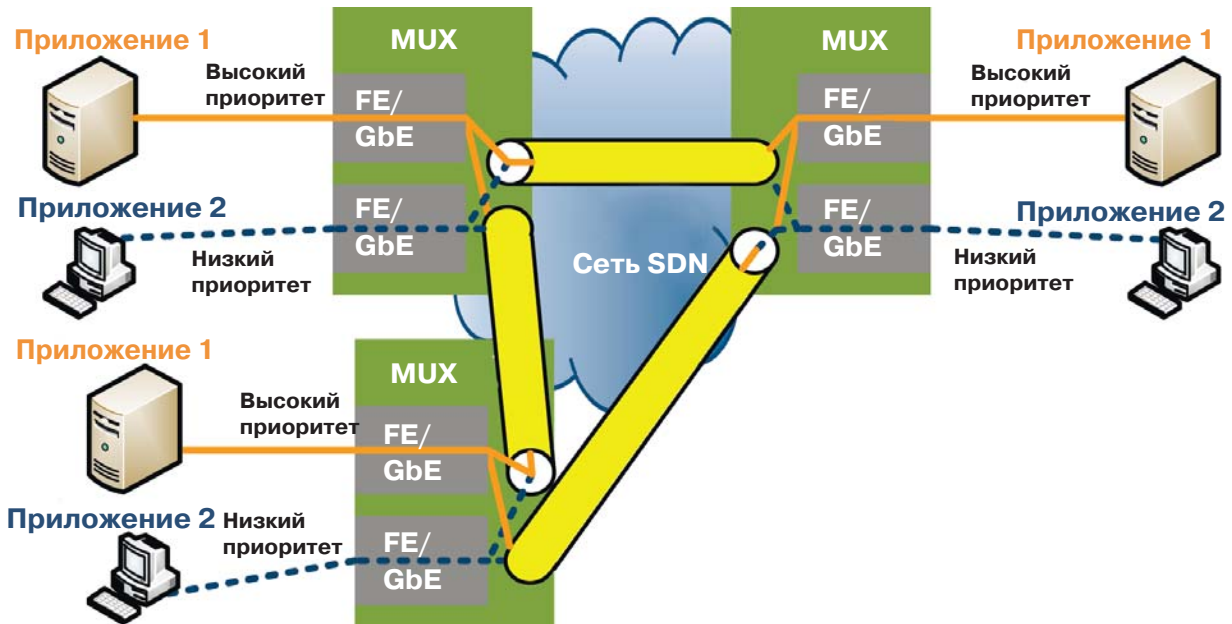


Рис. 2. Коммутация и приоритезация пакетного трафика

ле РЗА и ПА. Данный подход позволяет не только разделить корпоративный и технологический пакетные трафики, но и в технологической зоне при необходимости реализовать отдельные независимые каналы для каждой системы.

В отличие от TDM трафика, пакетный трафик неравномерно распределен по времени и имеет пульсирующий характер. Поэтому несколько приложе-

ний могут использовать один канал со множественным доступом, например, как показано на рис.2. Здесь между тремя мультиплексорами организованы общие, а не изолированные как на Рис.1, каналы Ethernet для двух приложений с разными приоритетами. Следует отметить, что протокол Ethernet предназначен только для древовидных топологий сети и не предполагает в ней замкнутых контуров,

■ Другие вопросы

показанных на Рис.2. Для их исключения необходимо использование протокола Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) [2], который обеспечивает наличие только одного активного пути между устройствами при наличии нескольких физических.

В канале со множественным доступом между пользователями есть взаимное влияние. Если высокоприоритетный трафик займет всю полосу канала, то низкоприоритетный передаваться не будет. Низкоприоритетный трафик также будет оказывать влияние на передачу высокоприоритетного (вносить дополнительную задержку и т.д.).

В сетях SDH/PDH при отказе линии связи между мультиплексорами обеспечивается переключение каналов на резервные пути в течение 50 мс. Но при необходимости резервирования в них каналов РЗА и ПА организуют основной и резервный каналы с использованием фиксированных (статических) путей через разные линии связи. При отказе одного из путей работа устройств РЗА и ПА продолжается по другому и не зависит от переключений в сети (по сути дела, для устройств РЗА и ПА обеспечивается практически нулевое время переключения).

На данный момент времени организация передачи пакетного трафика и других данных по сетям SHD/PDH удовлетворяет потребностям электроэнергетики. При возрастании доли пакетного трафика, возможно, что эффективность использования доступной полосы сетей SDH/PDH будет падать и возникнет необходимость поиска решений на базе других технологий. Объективных исследований данного вопроса применительно к существующим и перспективным приложениям электроэнергетики с учетом их специфики в настоящее время нет.

Но уже сегодня ряд компаний предлагает для электроэнергетики решения на базе технологий пакетной коммутации, используемых у операторов связи. Ими иногда позиционируется, что каналы для всех систем электроэнергетики, включая РЗА и ПА, станут лучше и эффективней, чем в сетях SDH/PDH. Аргумент простой – если у операторов связи лучше и эффективнее, то так должно быть и везде. При этом совершенно не учитывается следующее:

- требования по надежности каналов (прерывание некоторых сервисов для пользователей сетей операторов связи на несколько секунд не очень критично),
- требования к задержке в каналах, ее стабильности и симметрии [3],
- цикл реконструкции объектов в электроэнергетике значительно превышает время жизни

устройств абонентов операторов связи, что приводит к необходимости поддержки старых интерфейсов и протоколов, например, сигнализации АДАСЭ и низкоскоростных модемов с частотной манипуляцией в каналах Voice over IP (VoIP), интерфейсов G.703.1, X.21, E1 и C37.94 для УПАСК и ДЗЛ и т.д.,

- проблемы обеспечения информационной безопасности (ИБ) [5],
- отсутствие методик испытаний каналов, использующих различные технологии и протоколы пакетной коммутации, как каналов технологической зоны,
- неопределенность границ применения различных технологий и протоколов пакетной коммутации при организации каналов технологической зоны,
- отсутствие принципов построения каналов РЗА и ПА по сетям с пакетной коммутацией,
- неготовность персонала энергопредприятий, в том числе служб РЗА и ПА, к эксплуатации решений на базе новых технологий.

Использование сетей на базе коммутаторов Ethernet и маршрутизаторов Ethernet/IP для построения каналов РЗА и ПА ограничено сложностью обеспечения надежности каналов, заданных стабильных задержек и полос с возможностью резервирования каналов по статическим основному и резервному путям.

Как ранее уже отмечалось, сама природа протокола Ethernet не предполагает наличия замкнутых контуров в сети, тем самым запрещая построение резервных каналов. Для разрешения указанного противоречия используются специальные протоколы резервирования, которые обеспечивают наличие только одного активного пути между устройствами при физическом наличии нескольких. Упомянутый выше протокол RSTP основан на мониторинге линий связи, обнаружении их неисправности и в случае нарушения активного пути переключении на один из доступных резервных путей. При этом время переключения с одного пути на другой составляет порядка 1 с, что неприемлемо для РЗА и ПА. При использовании RSTP в кольцевых топологиях достигается время переключения порядка 100 мс, что также недопустимо, например, для передачи команд РЗ и ПА. Для использования только в кольцевых топологиях был разработан протокол Media Redundancy Protocol (MRP) [6], который позволяет обеспечить время переключения даже менее 50 мс, но обеспечение нулевого времени переключения с активного пути на резервный для него не достижимо.

Для обеспечения нулевого времени восстановления канала предлагается другой подход, реализованный в протоколах Parallel Redundancy Protocol (PRP) и High-availability Seamless Redundancy (HSR) [7], которые используют не один активный путь, а два. Основа данного подхода – отправитель посылает одновременно пакетные данные по двум активным путям, а получатель с помощью протокола резервирования принимает первый пришедший пакет и отклоняет второй. Такой подход позволяет обеспечить практически нулевое время восстановления при отказе одного из активных путей, если задержка в них примерно одинакова. PRP использует две параллельных сети с произвольной

топологией, что показано на Рис.3. В случае отказа пути в одной из сетей данные будут передаваться по другой. HSR предназначен только для кольцевых топологий, и в нем данные параллельно отправляются в двух направлениях по и против часовой стрелки (рис.3), организуя два активных пути. В случае обрыва кольца в одном месте, данные до получателя будут приходить по оставшемуся работоспособному активному пути.

PRP позволяет организовывать сети произвольной топологии с высокой готовностью, но требует больших затрат на оборудование и инфраструктуру. Использование его для связи между объектами проблематично, т.к. практически между объектами

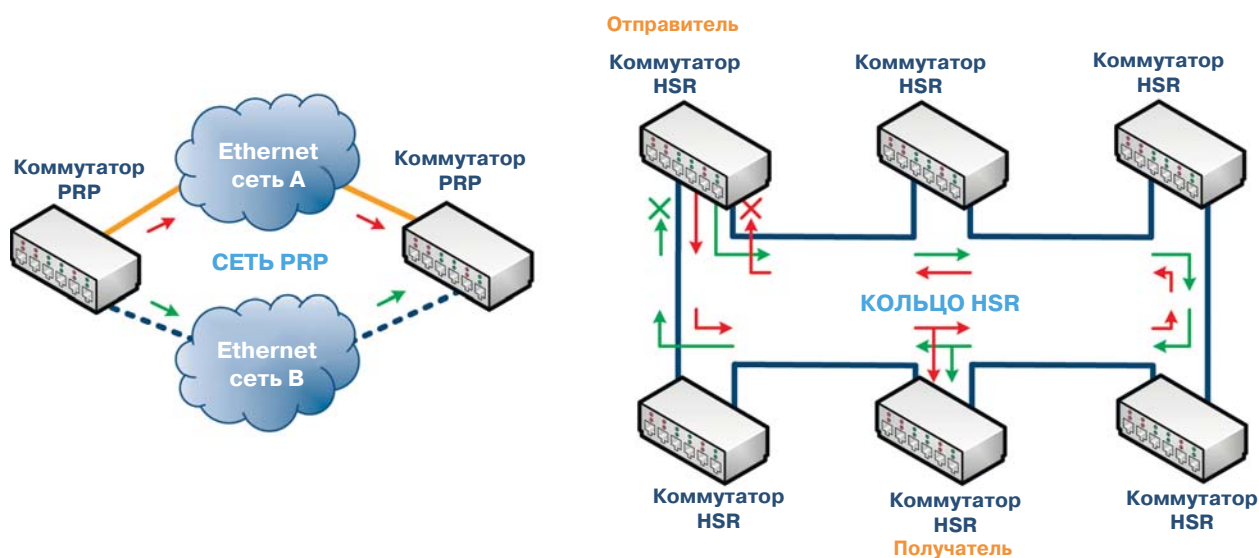


Рис. 3. Резервирование с двумя активными путями в PRP и HSR

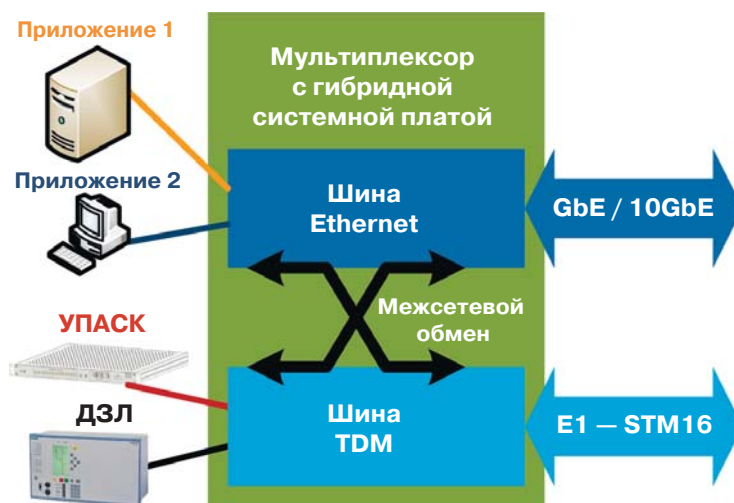


Рис. 4. Мультиплексор с гибридной системной платой

■ другие вопросы

надо создавать две сети. HSR позволяет реализовать кольцевые топологии, по которым передается двухкратный объем трафика, и сложен в реализации на больших скоростях передачи данных. Его использование при организации связи между объектами проблематично и неэффективно (с нулевым временем переключения будет резервироваться весь трафик, что не требуется). Область использования PRP и HSR — внутриобъектовые сети Ethernet с высокой надежностью, например, для передачи GOOSE сообщений согласно МЭК 61850.

Протоколы резервирования в сетях Ethernet/IP, например, Routing Information Protocol (RIP), осуществляющий при прокладке пути в сети оптимизацию по числу переприемов в ней, или более совершенный Open Short Path First (OSPF), принимающий решение о выборе пути исходя из доступной полосы канала, имеют еще большее время сходимости при выборе нового пути даже по сравнению с RSTP [2].

Организация каналов РЗА и ПА при передаче большого объема пакетного трафика может быть реализована использованием мультиплексов с гибридной системной платой, на которой присутствуют две шины: TDM и Ethernet (рис.4). Данное устройство представляет собой SDH/PDH мультиплексор (шина TDM) и Ethernet/IP коммутатор/маршрутизатор (шина Ethernet) с функцией межсетевого обмена. Соответственно пакетный трафик передается через шину Ethernet, а данные синхронных интерфейсов через шину TDM.

Недостатки данного решения:

- увеличения затрат на инфраструктуру (удвоение числа оптических волокон в кабелях между объектами) или использование оборудования

волнового уплотнения каналов (Wave Division Multiplexing, WDM),

- увеличение себестоимости в ряде проектов по сравнению с использованием отдельных мультиплексов SDH/PDH и коммутаторов или маршрутизаторов.

Многие операторы связи рассматривают мультиплексы с гибридной системной платой как промежуточное решение для миграции от традиционных SDH/PDH к более приемлемым для них технологиям пакетной коммутации.

Технология многопротокольной коммутации с помощью меток (Multi-protocol Label Switching, MPLS) [2] считается рядом специалистов в области телекоммуникаций одной из самых перспективных и позволяет обеспечить для некоторых каналов (не для всех) надежность, которая приближается к надежности каналов в сетях SDH/PDH. Наряду с передачей пакетного трафика маршрутизаторы MPLS поддерживают последовательные синхронные и асинхронные интерфейсы. При отказах путей в сетях MPLS обеспечивается время переключения до 50 мс. В них существует потенциальная возможность организации основных и резервных каналов РЗА и ПА с заданной полосой по статическим путям (рис. 5).

Для проверки указанного выше предположения ЗАО «Юнител Инжиниринг» провело в сетях MPLS измерения задержек каналов с интерфейсами E1 и их симметрии, в том числе при штормовой нагрузке. Результаты показали, что при соответствующих настройках маршрутизаторов MPLS величины задержек и их симметрия приемлемы как для УПАК, так и ДЗЛ. Но следует отметить, что симметрия каналов E1 в сетях MPLS несколько

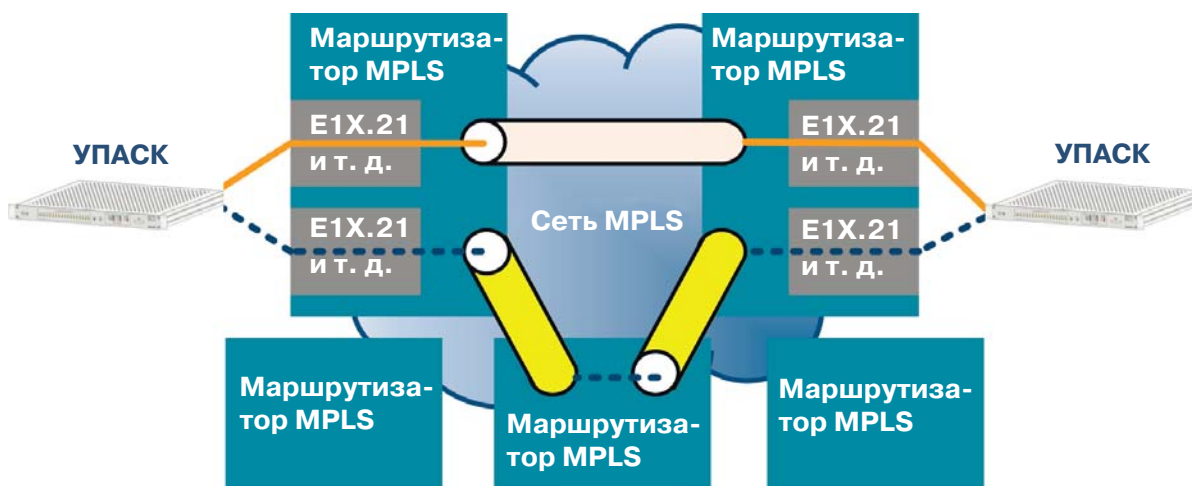


Рис. 5. Основной и резервный каналы по статическим путям в сети MPLS

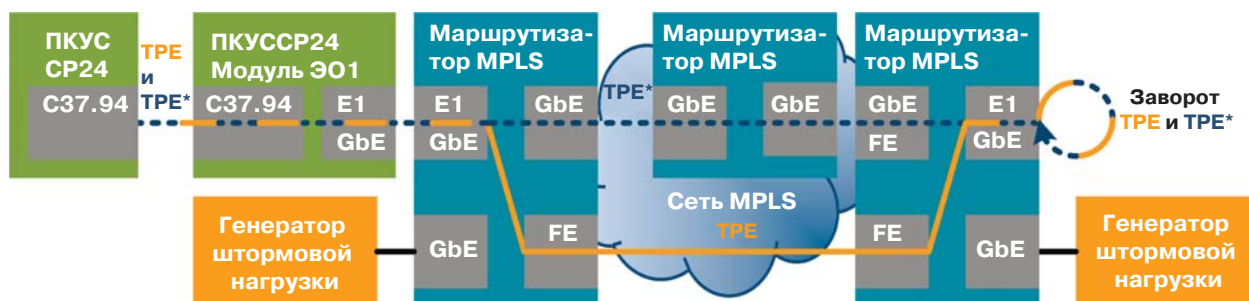


Рис. 6. Схема проведения испытаний с основным и резервным каналами в сети MPLS

хуже, чем в SDH/PDH, а накладные расходы, многократно превышают скорость передачи данных на интерфейсах пользователя.

Проведено тестирование работы по сетям MPLS оборудования из семейства ПКУ разработки и производства ЗАО «Юнител Инжиниринг» (рис. 6). ПКУС CP24 – устройство, объединяющее УПАСК и промежуточную панель с ключами ввода/вывода команд РЗ и ПА в одном конструктиве. ПКУС CP24 Модуль ЭО1 – преобразователь интерфейсов для подключения УПАСК и ДЗЛ с оптическими интерфейсами С37.94 к оборудованию ЦСПИ с интерфейсами E1.

Команды РЗ и ПА передавались ПКУС CP24 одновременно по двум логическим направлениям TPE и TPE* в одном потоке данных С37.94. В сети MPLS логические направления TPE и TPE* разделялись с помощью кросс-коммутации и отдельно передавались по основному и резервному каналам с разными путям. Испытания, как при штормовой нагрузке, так и без нее, показали, что физическое прерывание одного из каналов не приводит к прерыванию постоянно передаваемых ПКУС CP24 команд РЗ и ПА, т.е. обеспечивается нулевое время переключения.

Таким образом, можно предположить, что при возрастании доли пакетного трафика альтернативой сетям SDH/PDH в электроэнергетике могут служить сети MPLS, которые обеспечивают:

- поддержку традиционно используемых в ней интерфейсов и протоколов,
- построение высоконадежных каналов РЗА и ПА с требуемыми параметрами.

Для подтверждения данного предположения, прежде всего, необходимы:

- объективные исследования преимуществ и недостатков сетей MPLS по сравнению с SDH/PDH при учете специфики существующих и перспективных приложений,

- проведение испытаний разных типов маршрутизаторов MPLS на предмет возможности организации каналов технологической зоны (реализация высоконадежных каналов в маршрутизаторах разных типов отличается),
- выработка общих принципов построения в сетях MPLS каналов технологической зоны, в том числе РЗА и ПА, и разработка методик их проверки,
- проверка маршрутизаторов MPLS на отсутствие незадекларированных возможностей, без чего не возможно обеспечение ИБ каналов технологической зоны.

Без решения обозначенных выше вопросов внедрение сетей MPLS вместо SDH/PDH в электроэнергетике не представляется возможным.

Список литературы:

1. Н.Н. Слепов, Синхронные цифровые сети SDH. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1997
2. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер, Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010
3. В.А. Харламов, Реализация цифровых каналов технологической связи для РЗА и ПА. – Воздушные линии, 2013, № 2, с. 53–58
4. ITU-T Recommendation G.707/Y.1322 (01/2007), Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).
5. С.Е. Романов, В.А. Харламов, Эшелонированная оборона. Универсальность и безопасность каналов технологической связи. – Энергонадзор, 2014, № 1/2(53/54), с. 28–29
6. IEC 62439-2 ed1.0: 2010, Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 2: Media Redundancy Protocol (MRP)
7. IEC 62439-3 ed2.0: 2012, Industrial communication networks – High availability automation networks – Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) and High-availability Seamless Redundancy (HSR)