

Изучение способов защиты оптических сетей

Лабораторно-практическое занятие.

Число часов – 2

Цель: изучение принципов построения
защищённых оптических транспортных сетей и
сетей тактовой синхронизации

Содержание учебного занятия

- 1. Изучение основных видов соединений в оптических транспортных сетях и способов их защиты.
- 2. Изучение основных соединений в оптических сетях доступа и способов их защиты.
- 3. Изучение соединений в сетях тактовой синхронизации и способов их защиты.
- 4. Составление ответов на контрольные вопросы.
- 5. Разработка и описание схем защиты соединений по вариантам.

Содержание отчёта

- 0. Титульный лист с названием работы, исполнителем, руководителем и датой выполнения
- 1. Цель работы.
- 2. Содержание работы.
- 3. Ответы на контрольные вопросы.
- 4. Схемы соединений до защиты и после активации защиты с пояснениями принципа защиты.
- 5. Краткие выводы.

Задание студенту на выполнение работы и рекомендуемая литература

- 1. Изучить способы построения схем оптических транспортных сетей, синхронизации и их защиты.
- 2. Ответить письменно на контрольные вопросы.
- 3. Составить схемы защиты соединений по варианту, согласно номеру бригады.
- 4. Составить отчёт с краткими выводами.
- Рекомендуемая литература:
- 1. Когерентные оптические сети [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [Фокин, В. Г.](#) *Когерентные оптические сети.*[Текст]: учебное пособие, СибГУТИ, 2015. 371с. Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. - Новосибирск : СибГУТИ, 2015. - 371 с. : ил. - Библиогр.: с. 356-364.
- 2. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы РХС в мультисервисной транспортной сети [Электронный ресурс] : учеб. пособие / [Фокин, В. Г.](#) [Текст]: учебное пособие, СибГУТИ, Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. - Новосибирск: [б. и.], 2011. - 204с.
- 3. [Фокин, В. Г.](#) , Ибрагимов Р.З. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи.[Текст]: учебное пособие, СибГУТИ, 2016. -162с.
- 4. Фокин В.Г., Ибрагимов Р.З. Гибкие транспортные сети [Электронный ресурс] : учеб. пособие, СибГУТИ, 2020. - 219с.
- 5. Фокин В.Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети [Электронный ресурс]: учебное пособие. Издание «СибГУТИ», 2019. – 241 с.

1. Изучение основных видов соединений в оптических транспортных сетях и способов их защиты

- Важнейшим качеством транспортных оптических сетей является защищённость аппаратуры, секций и трактов от неисправностей и повреждений. Это достигается благодаря избыточности аппаратных средств (линии, интерфейсные модули, кроссовые коммутаторы и т.д.) и использованию систем управления с программными средствами управления физическими и логическими ресурсами.
- Базовые принципы защиты транспортных сетей изложены в рекомендациях МСЭ-Т G.805, G.841, G.842 и в рекомендациях соответствующих технологий:
 - - для сетей SDH это G.803, G.783 и др.;
 - - для сетей ATM это I.630, I.731;
 - - для сетей OTN/OTH это G.798, G.873.1;
 - - для сетей Ethernet это G.8031, G.8032.

2. Изучение основных видов соединений в оптических транспортных сетях и способов их защиты

- Соединения пользователей в транспортной сети различаются на защищенные и незащищенные. Защищенность соединений может определяться физическим построением сети (структурой физических связей сетевых элементов, маршрутами передачи цифровых циклических блоков) и логической организацией соединений (виртуальных каналов и виртуальных трактов, образованных потоками случайных ячеек и кадров).
- Соединение пользователей транспортной сети может проходить через ряд участков: секцию мультиплексирования MS; подсеть SNC; тракт или маршрут транспортной сети через точки терминирования ТТ (см. рис.).

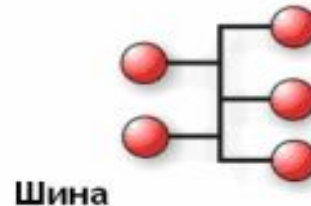
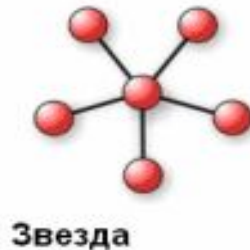


3. Изучение основных видов соединений в оптических транспортных сетях и способов их защиты. Виды защищаемых соединений

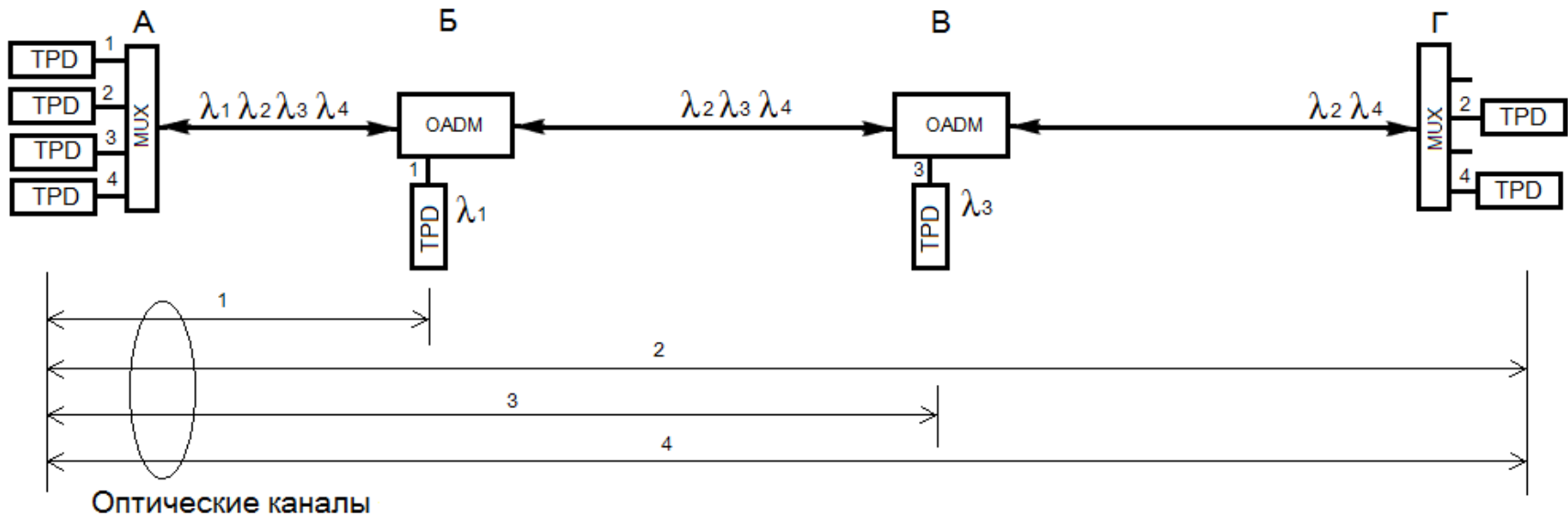
- **Маршрут передачи называется трактом**, если на его концах находятся две точки окончания (TP, Termination Point) тракта. Например, точка окончания тракта в сети SDH выполняет функции окончания тракта для получения виртуального контейнера (VC-n/m) с заголовком тракта (POH). Тракт может проходить через другие сетевые элементы в составе других соединений и при этом контролироваться через встроенные функции тандемных соединений (TCM).
- **Соединение подсети SNC** (Sub-Network Connection) является частью тракта, завершаемого двумя точками окончания соединения, рассчитанными на функцию контроля соединения. В точке окончания соединения осуществляется только мониторинг сигналов. Например, эти точки реализуются в сетевых элементах с интерфейсами SDH или OTH. На соединении подсети SNC (или оптической подсети OSNC) между двумя точками могут быть установлены другие сетевые элементы (регенераторы, оптические усилители, мультиплексоры).
- **Секцией мультиплексирования MS** (Multiplex Section) является участок соединения (линии) между двумя мультиплексорами (SDH, OTH, ATM, Ethernet) наделённый функциями окончания секции мультиплексирования (MST, Multiplex Section Termination), используемыми для обмена сигналами (STM-N, ODUk, OCh, OTM-n.m). На таком пути передачи могут быть установлены регенераторы, оптические усилители, оптические мультиплексоры и демультимплексоры и могут быть образованы секции регенерации и оптической передачи.

4. Топологии транспортных сетей и виды соединений. Физические и логические соединения сетевых элементов

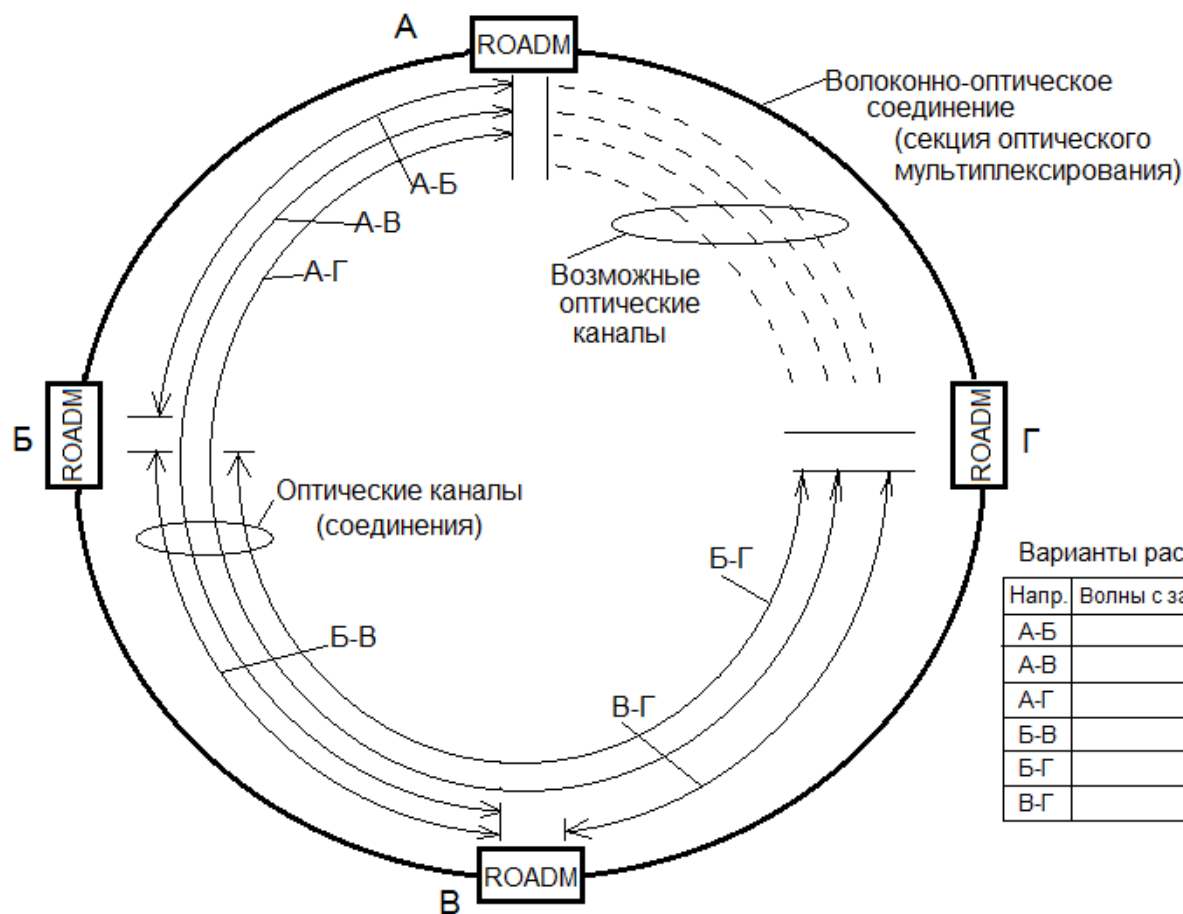
Сетевым элементом (СЭ) транспортной сети, по определению рекомендации М.3060 МСЭ-Т, принято считать архитектурную концепцию, которая представляет оборудование электросвязи (или группу/часть оборудования электросвязи) и оборудование поддержки или любые другие группы изделий, которые считаются принадлежащими к оборудованию электросвязи, выполняющее не менее одной функции элемента обслуживания (ФЭО) или функции транспортного элемента (ФТЭ).



4. Пример организации линейной оптической сети с каналами по
древовидной топологии (физическая организация – линейная цепь,
логическая структура – дерево)



4. Пример организации кольцевой оптической сети с оптическими каналами между всеми узлами и возможными защитами соединений

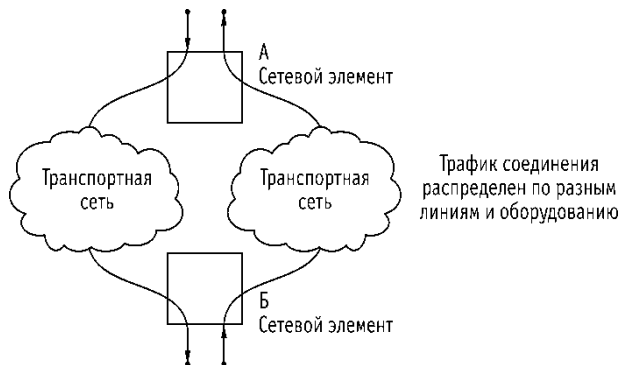


Варианты распределения волн для оптических каналов

Напр.	Волны с защитой соединений	Волны с защитой секций
А-Б	λ_1	λ_1
А-В	λ_2	λ_2
А-Г	λ_3	λ_3
Б-В	λ_4	λ_1
Б-Г	λ_5	λ_4
В-Г	λ_6	λ_2

4. Виды соединений в транспортной сети

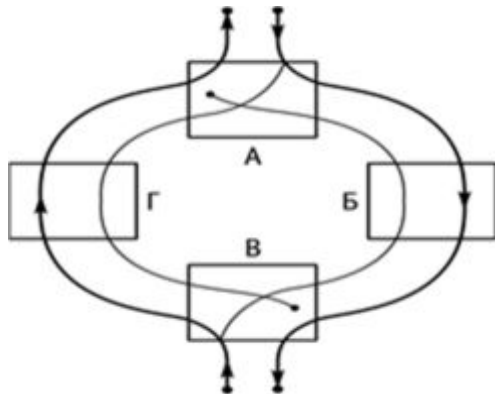
- Соединения в транспортной сети подразделяют на односторонние и двухсторонние. Кроме того, двухсторонние соединения, в свою очередь, подразделяют на соединения в одном маршруте и в различных маршрутах. Все виды соединений представлены на рис. а, б, в.



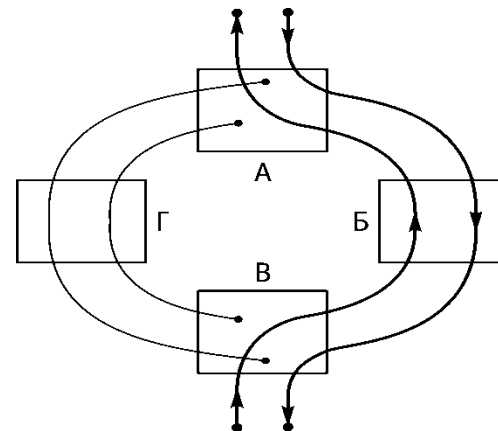
5. Виды соединений в транспортной сети

- На рис. а и б представлены примеры схем однонаправленного и двунаправленного соединений в кольцевой транспортной сети.
- Как видно из рисунков в кольцевой сети при любом из видов передачи (однонаправленной или двунаправленной) существует потенциальный резерв соединения, который может быть использован для защиты соединения с передачей трафика. Толстые линии – рабочее соединение. Тонкие линии – резерв.
- Приведенные способы организации соединений в транспортных сетях применимы не только для передачи и защиты электрических сигналов, но и подходят для оптических канальных и групповых сигналов в многоканальной сети DWDM.

• а



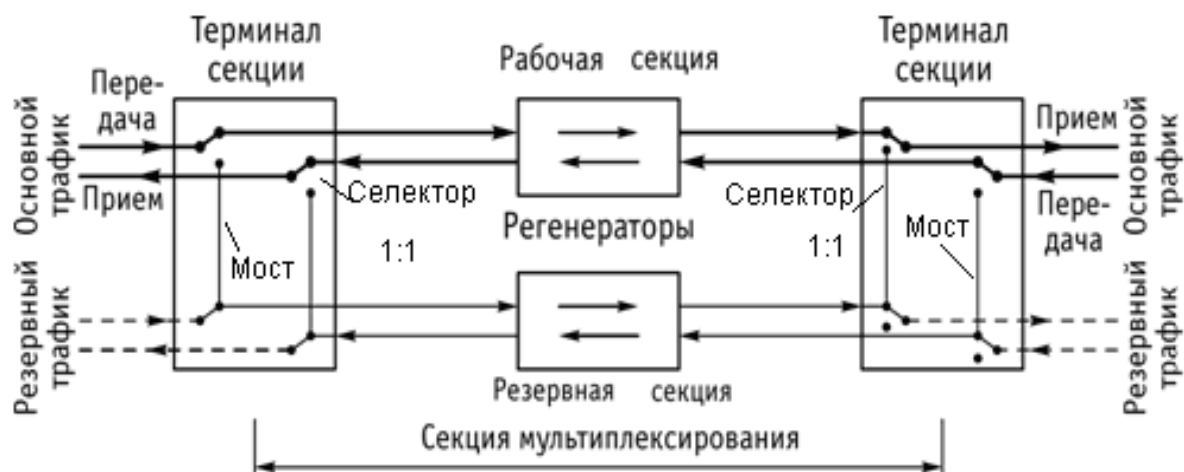
б



6. Защита секции мультиплексирования

- **Защита секции мультиплексирования вида 1+1 (1:1)** относится к защите линейного тракта за счет резервного кабеля и оборудования. При этом в этой защите различают две возможности:
- (1+1) это одна рабочая секция мультиплексирования непрерывно дублируется одной резервной секцией мультиплексирования (рис. ниже). При аварии рабочей секции селектор приёмной стороны подключит резервную секцию;
- (1:1) это одна рабочая секция мультиплексирования может быть продублирована в аварийном состоянии резервной секцией, которая в нормальном режиме переносит дополнительный (резервный) трафик. Этот трафик автоматически сбрасывается мостом и селектором при аварии рабочей секции (рис. ниже).
- Признаками для выполнения защитного переключения в секции мультиплексирования могут быть следующие сигналы:
- потеря сигнала на приеме (LOS);
- потеря цикла (LOF);
- избыточный коэффициент ошибок по битам ($BER > 10^{-10}$).
- Управление процессами переключения с рабочей секции мультиплексирования на резервную происходит в служебных байтах (например, в STM-N байты K1, K2 заголовков MSOH резервной секции).

7. Варианты защиты секции мультиплексирования: 1+1 и 1:1



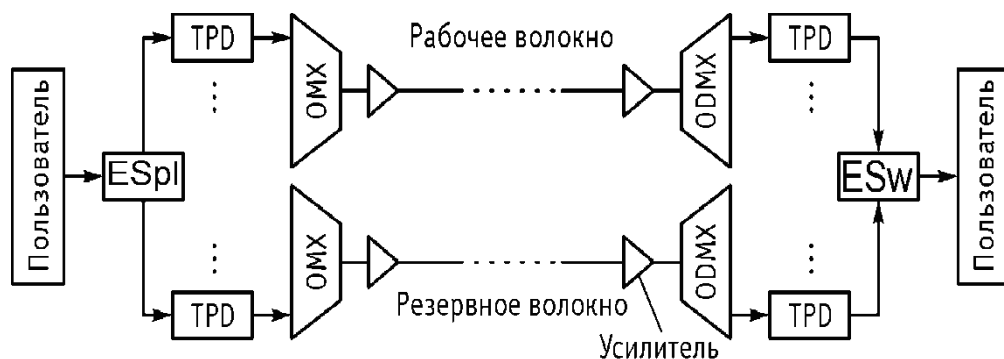
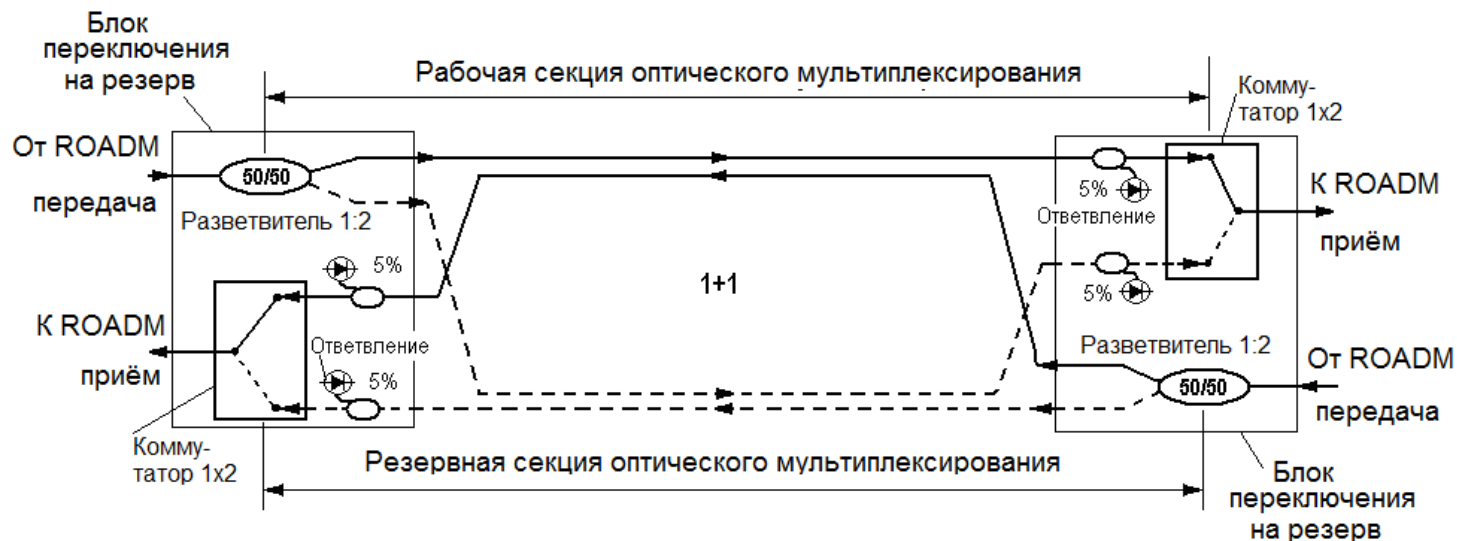
8. Защита и восстановление

- Учитывая, что передача линейных сигналов может происходить по одной или двум параллельным системам, возможны различные варианты переключений:
- синхронизированный;
- несинхронизированный.
- При двунаправленной передаче в рабочей секции переключение на резерв производится в двустороннем режиме, т.е. передатчик и приемник синхронно переключаются на резерв.
- При однонаправленной передаче в рабочей и резервной секциях переключение на резерв производится в одностороннем режиме, т.е. приемник выбирает лучший по качеству сигнал. Это может привести к ситуации, когда по рабочей секции происходит передача только в одном направлении, например, слева направо, а передача в другом направлении ведется в резервной секции.
- Защита секции мультиплексирования может реализовываться в обратимом и необратимом режимах. Обратимый режим предусмотрен с возвратом с резервной секции на рабочую, как только на этой секции восстанавливается соответствующее качество передачи, и это состояние сохраняется в течение определенного периода времени, называемого «ожидание перед восстановлением».
- Необратимый режим предусмотрен без автоматического возврата на рабочую секцию, однако этот возврат возможен при снижении качества передачи в резервной секции ниже качества рабочей секции. Кроме того, предусматривается принудительное (ручное) переключение на резервную секцию и обратно на рабочую.

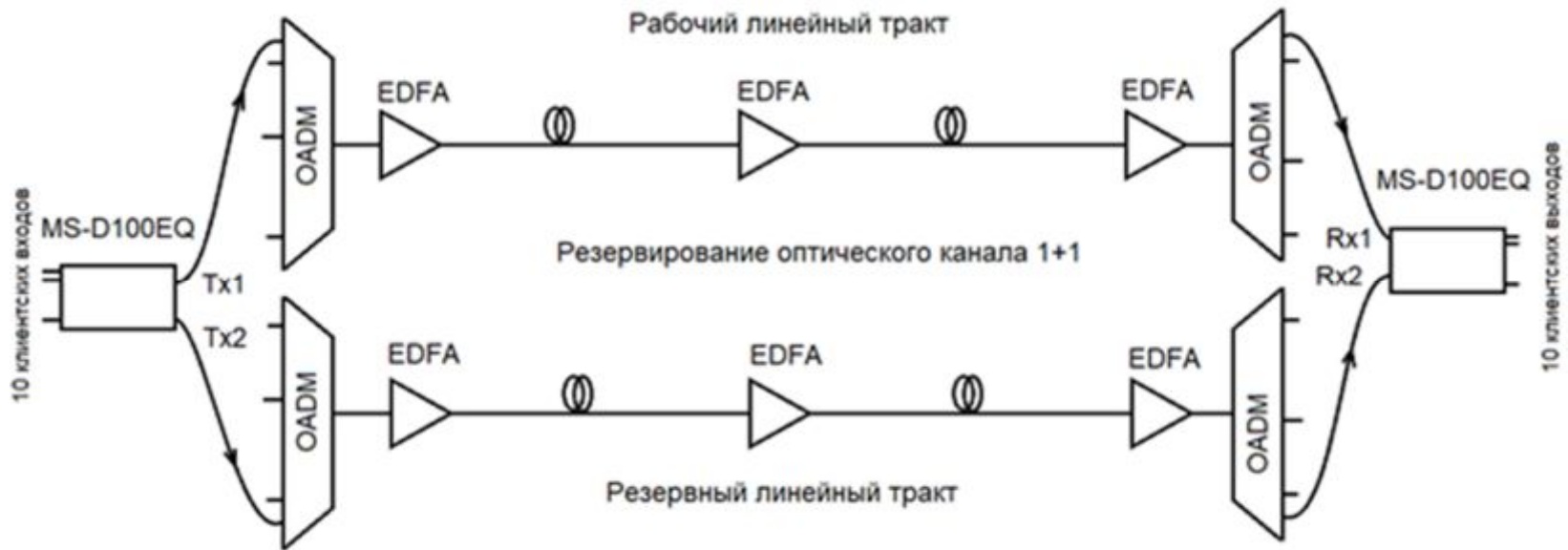
9. Защита оптического соединения

- При защите секции оптического мультиплексирования DWDM OMS предусматривается деление мощности многоканального сигнала WDM пополам с последующей передачей в различных волокнах различных кабельных линий (рис. ниже.).
- На приемной стороне оптический коммутатор, управляемый пороговым устройством контроля оптической мощности, гарантированно быстро (не более чем за 50 мс) может изменить направление приема оптического сигнала.
- Помимо оптического защитного переключения в оптической сети OTN возможна реализация электронной схемы защитного переключения с использованием байт управления APS (Automatic Protection Switch) в заголовке ODUk.
- Электрический разветвитель сигнала пользователя (ESpl, Electrical Splitter – электрический сплиттер) делит сигнал между отдельными каналами, организуемыми через транспондеры (TPD) и оптические мультиплексоры и демультиплексоры (OMX, ODMX), а электрический коммутатор (ESw, Electrical Switch) обеспечивает выбор лучшего сигнала на приёме (рис. ниже).
- Протокол защитного переключения APS уровня блока данных оптического канала ODUk реализуется через четыре байта заголовка ODUk.

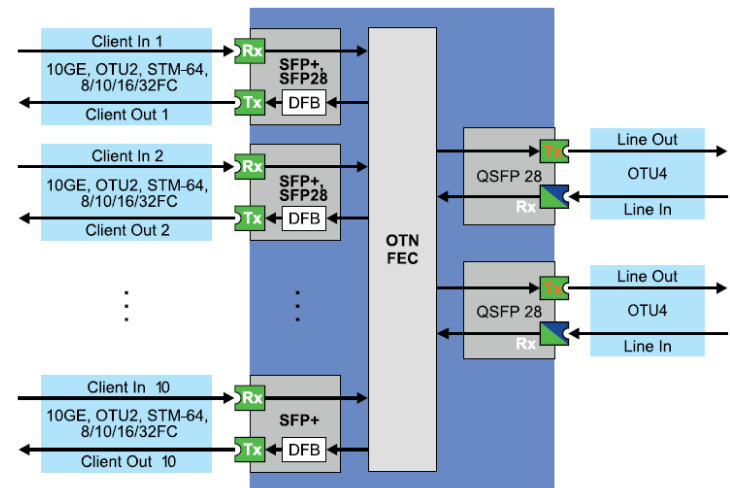
10. Защита оптического соединения. Схемы с защитой оптической секции мультиплексирования и оптического канала



10. Пример защиты оптического канала на скорость 100 Гбит/с мукспондерным оборудованием MS-D100EQ от T8



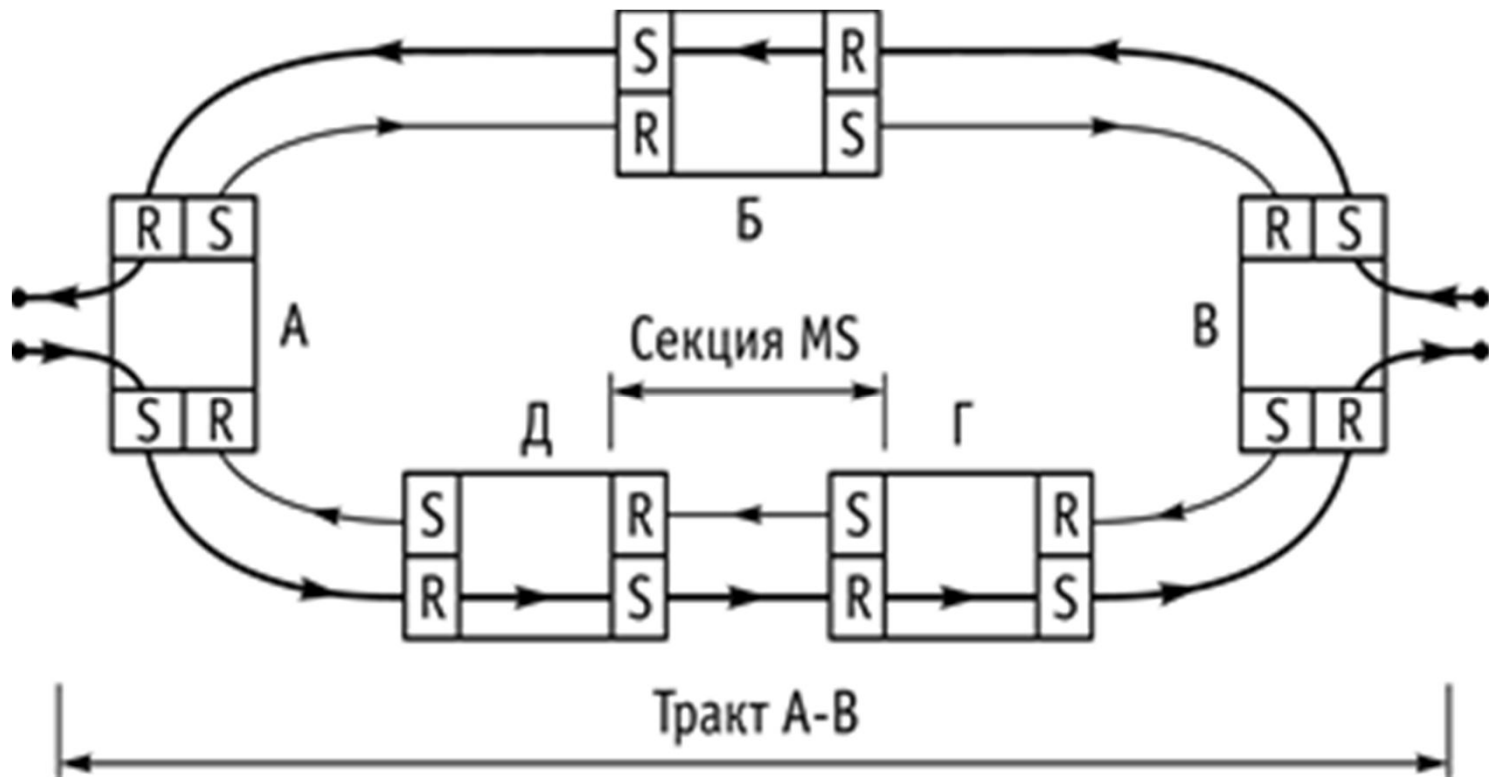
- Передача до 10 клиентских сигналов
- Возможность 1+1 резервирования для линейных и кольцевых сетей
- Экономичное решение благодаря QSFP28 или когерентным CFP2



11. Кольцевая сеть и её защита

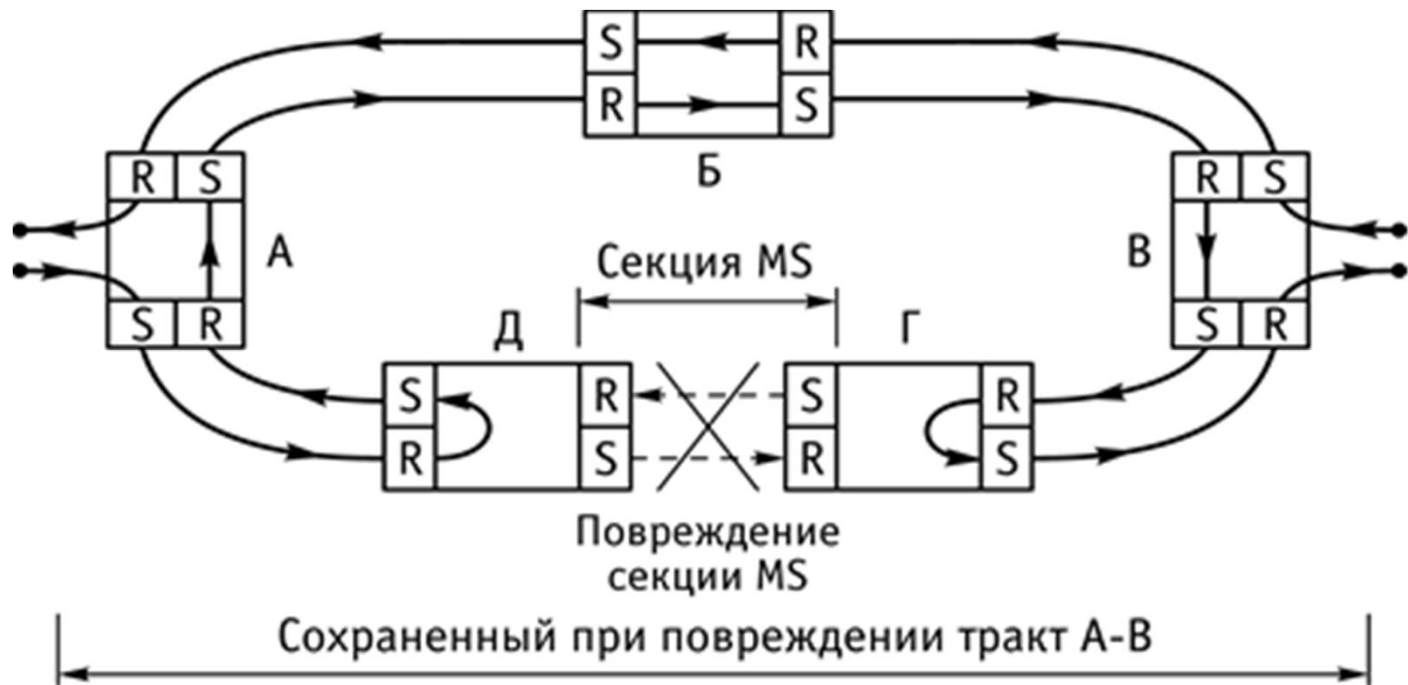
- **Кольцевая транспортная сеть может иметь ряд вариантов по организации защиты** трафика пользователей в однонаправленном и двунаправленном кольцах. При этом различают защиту секций мультимплексирования и защиту соединений подсети (защиту отдельных трактов). В предлагаемом разделе рассматривается защита секции мультимплексирования, обозначаемая MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protected Rings). При такой защите независимо от организации кольца (одно или двунаправленное) все тракты переключаются на резервные ресурсы одновременно.
- Пример построения схемы однонаправленного кольца на 2-х волокнах и функционирование защиты представлен на рис. ниже где находятся пять сетевых элементов (А, Б, В, Г, Д) SDH (мультимплексоры выделения/ввода), через которые организовано соединение, например, тракт низкого порядка VC-12. Этот тракт заканчивается в сетевых элементах А и В, но проходит транзитом благодаря внутренней кроссовой коммутации через сетевые элементы Б, Г, Д.
- Аналогично можно организовать соединение между любой парой сетевых элементов. При этом между соседними сетевыми элементами организована 2-х волоконная передача STM-N между точками S и R, (S, sender – передача, R, receive – прием). Таким образом, создано два направления (два кольца) передачи независимые друг от друга (внутреннее и внешнее кольцо). Все рабочие соединения транспортной сети в интересах пользователей организуются во внешнем кольце. Внутреннее кольцо на всех секциях мультимплексирования остается свободным от трафика и рассматривается как резерв для защиты любой секции мультимплексирования.

12. Пример соединения (тракт А-В) в кольцевой защищаемой сети



13. Пример защиты соединения (тракт А-В) в кольцевой сети при повреждении секции мультиплексирования MS.

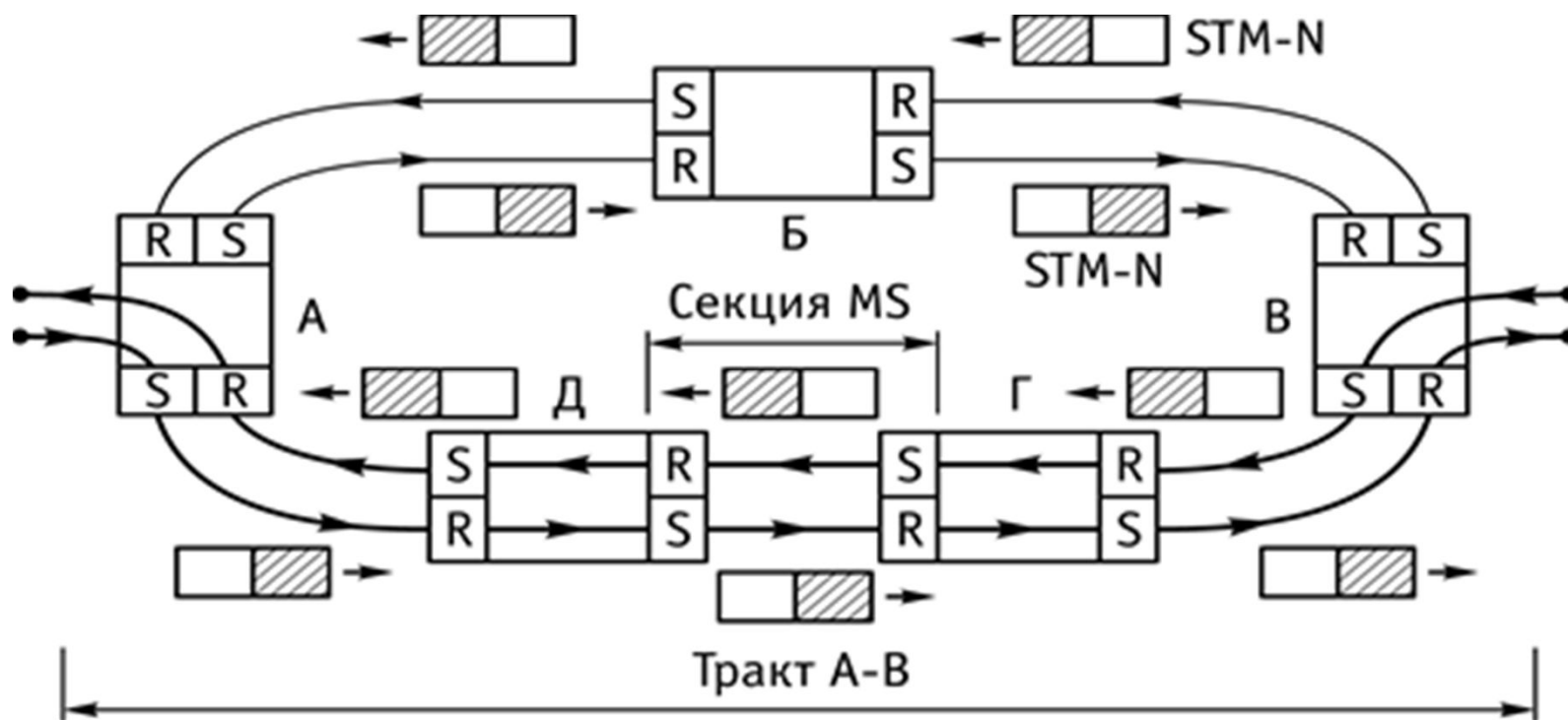
Поврежденная секция мультиплексирования MS между сетевыми элементами Д и Г обходится за счет переконфигурации передачи из внешнего кольца на внутреннее и тем самым сохранения тракта А-В в рабочем состоянии, как и для других возможных трактов между любой парой сетевых элементов. Такие функции переключения реализуются на уровне VC-12 и VC-4.



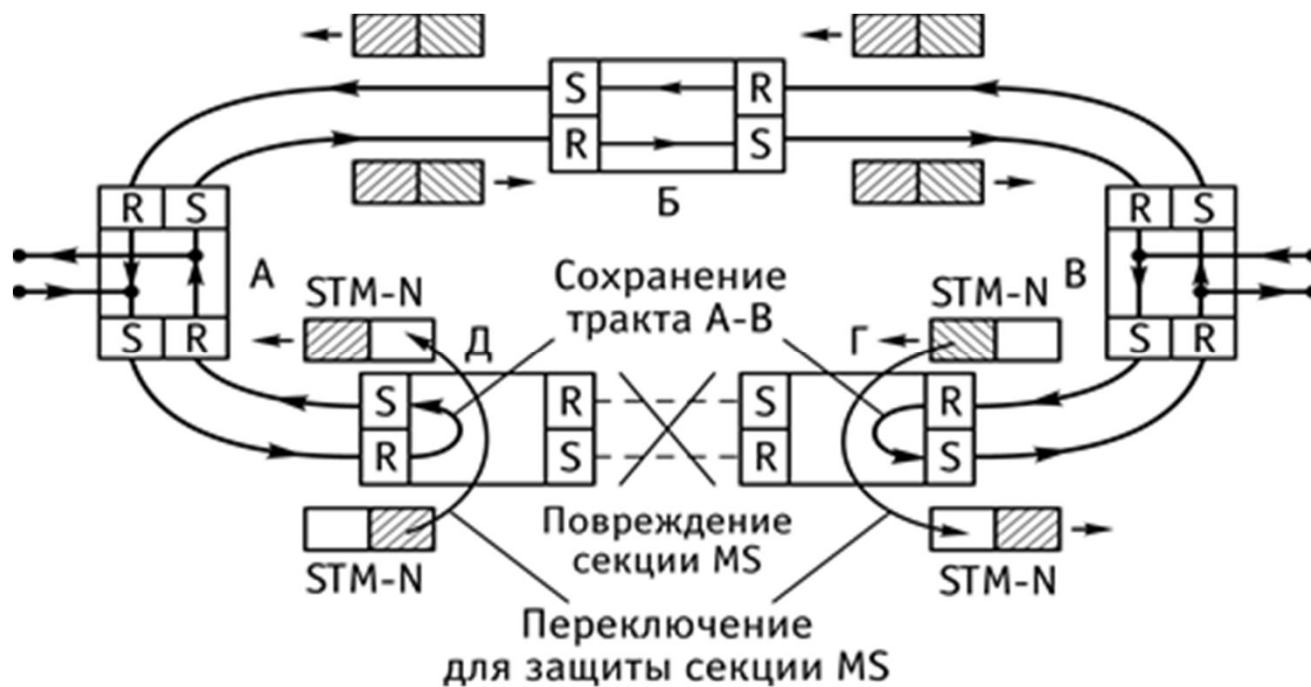
14. Защита секции мультиплексирования в двунаправленном кольце

- Для кольцевых сетей также может быть применена защита в двунаправленном кольце при работе каждой секции в 2- волоконном режиме (рис. ниже).
- Каждая секция MS содержит два волокна, в каждом из которых ведется передача STM-N. При такой организации передачи необходимо иметь половину емкости STM-N свободной от соединений пользователей. Эта свободная емкость будет использоваться в качестве защитной (светлая часть прямоугольника).
- После устранения повреждения в кольце происходит восстановление рабочего состояния. Норматив времени на защиту составляет 50 мс. Однако при большом числе сетевых элементов выполнение этого норматива может быть затруднено длительным процессом обмена информацией между взаимодействующими мультиплексорами посредством байт K1, K2 в заголовках MSON.

15. Защита секции мультиплексирования в двунаправленном кольце. Схема



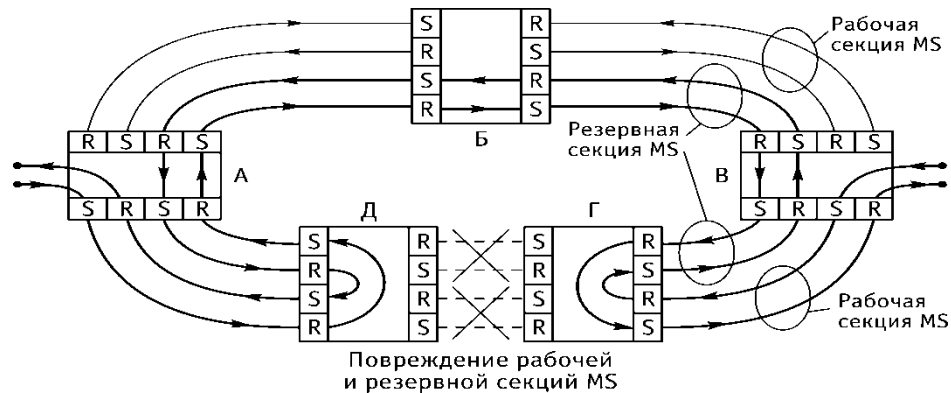
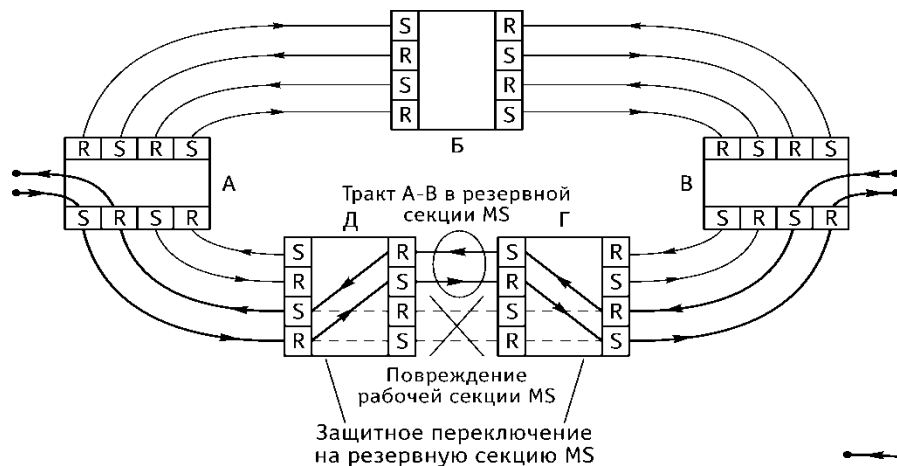
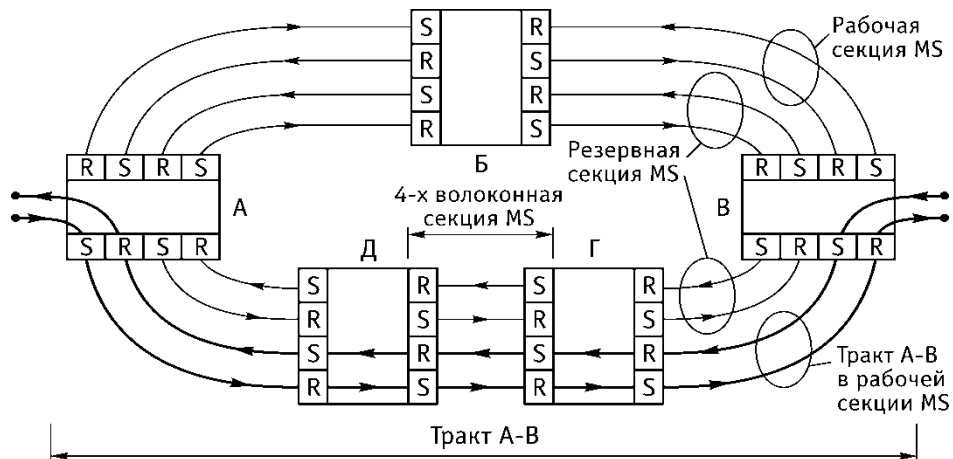
16. Схема защиты секции мультиплексирования в двунаправленном кольце



17. Защита секции мультиплексирования с 4-х волоконным кольцом

- Для кольцевой транспортной сети большой емкости, например, STM-64, 256, может использоваться 4-х волоконное кольцо с двуправленной передачей и защитой секции мультиплексирования. В этом случае все соседние сетевые элементы в кольце должны соединяться двумя кабельными линиями с использованием двух пар волокон в каждой. Аппаратура сетевых элементов должна оснащаться четырьмя агрегатными интерфейсами (рис. ниже).
- В 4-х волоконном кольце каждая секция мультиплексирования MS между соседними сетевыми элементами может быть использована полностью для соединений. При этом резервная секция, организованная по другим волокнам, полностью свободна от соединений на всех участках кольца. При повреждении любой секции MS в кольце должно произойти переключение на резервную секцию всех соединений сети. При этом все тракты сохраняются (рис. ниже).
- Переключение происходит через функции MSP соседних мультиплексоров. Эти функции поддерживаются обменом байтами K1, K2 заголовков MSON резервной секции MS. Четырех волоконные кольцевые сети сохраняют свою работоспособность и при двойном повреждении любой из секций мультиплексирования MS.

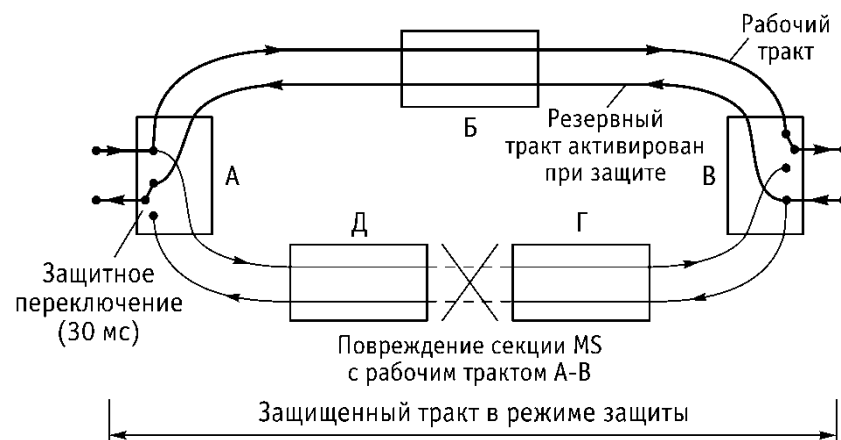
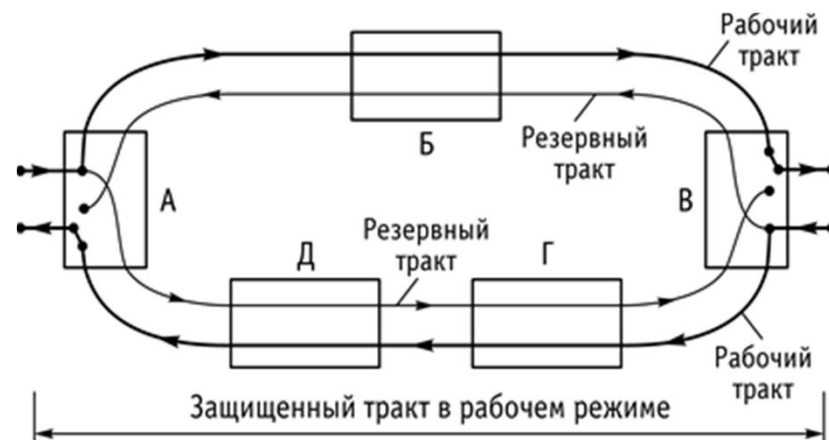
18. 4-х волоконное кольцо и его двойная защита



19. Защита тракта оптической сети

- **Защита соединений тракта транспортной сети** может быть рассмотрена для линейной и кольцевой топологий. Функции защиты трактов высокого и низкого уровней поддерживаются оконечными (терминальными) и промежуточными мультиплексорами. Кроме того, поддержка функций защиты программируется в матрицах коммутации, а промежуточный контроль качества трактов выполняется блоками функций тандемного контроля. Тракт, организованный в сложной разветвленной сети разбивается на участки (подсети), где может быть реализована защита соединения SNC/P (Sub Network Connection Protection). Различают подвиды SNC/P:
 - SNC/I, Sub Network Connection Protection with Inherent Monitoring – резервирование/защита на уровне соединения подсетей с внутренним мониторингом;
 - SNC/N, Non-intrusively Monitored Sub-Network Connection protection – резервирование/защита на уровне соединения подсетей без внутреннего мониторинга.
- Защита SNC/P проводится по схеме 1+1, т.е. на рабочий тракт должен быть предусмотрен свободный резервный. Защита SNC/P возможна и в смешанных сетях (кольцевых и линейных).
- При этом соединения могут выполняться одно- и двунаправленными. Пример построения однонаправленного соединения в кольцевой сети приведен на рис. ниже. Защитное переключение в этой сети показано на рис. ниже. При этом переключении соединение из однонаправленного преобразуется в двунаправленное. Время переключения для защиты соединения нормировано величиной 30мс, что при его соблюдении сохраняет трафик этого соединения, например, телефонные каналы.

20. Схема защиты тракта оптической сети



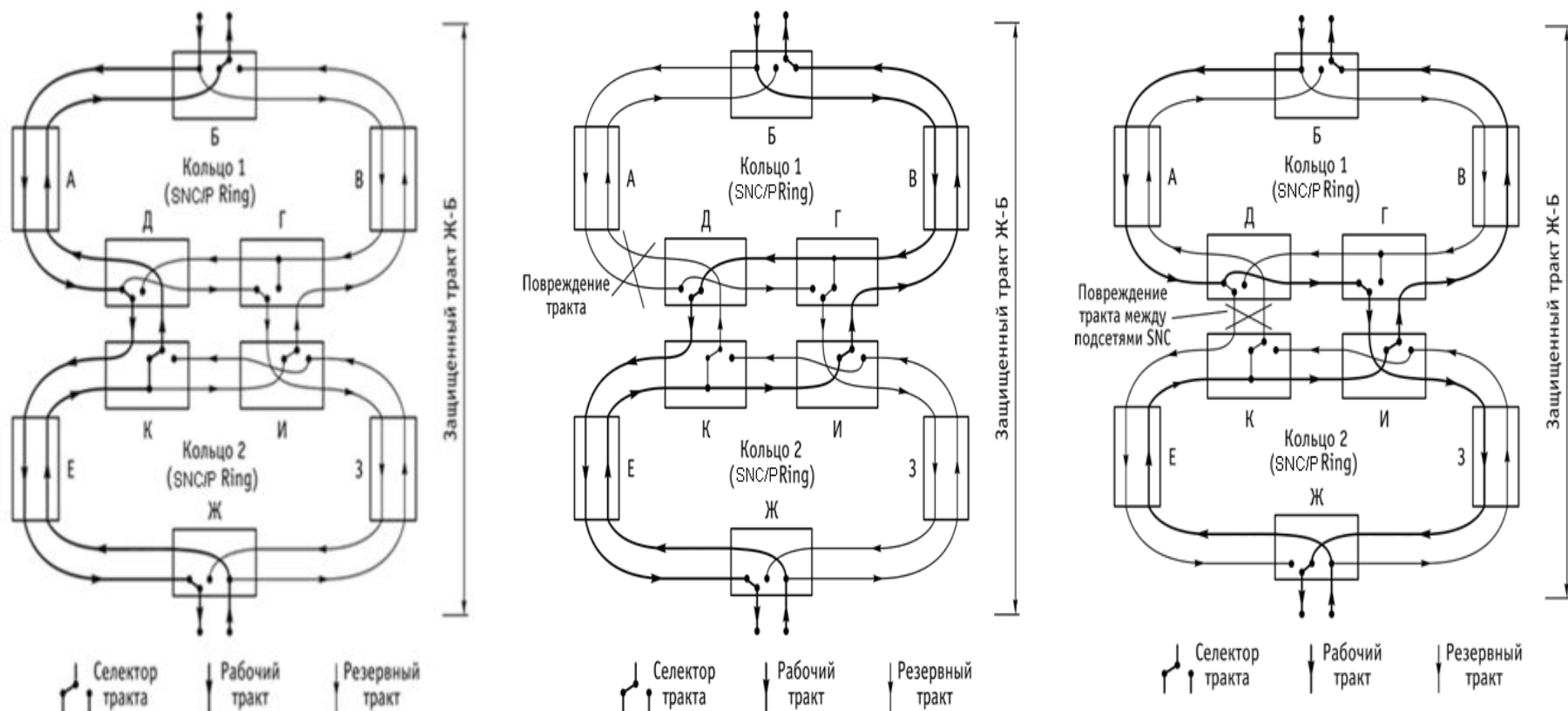
21. Защита тракта в подсети

- Сложные смешанные линейные и кольцевые транспортные сети имеют развитый механизм защиты SNC/P. Этот механизм реализуется через кроссовые коммутаторы, через двойные пересечения транспортных колец и т.д.
- Тракты, состоящие из цепочек соединений SNC должны иметь в таких сетях надежную защиту.
- На рис. ниже приведен пример организации соединения типа SNC/P в двойной кольцевой сети.
- На рис. ниже показаны примеры защитных коммутаций SNC/P на отдельных участках соединения тракта.

22. Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC/P) в рабочем режиме (левая схема)

Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC/P) в режиме повреждения тракта в первом кольце (в центре)

Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC) в режиме повреждения тракта между подсетями (правая схема)



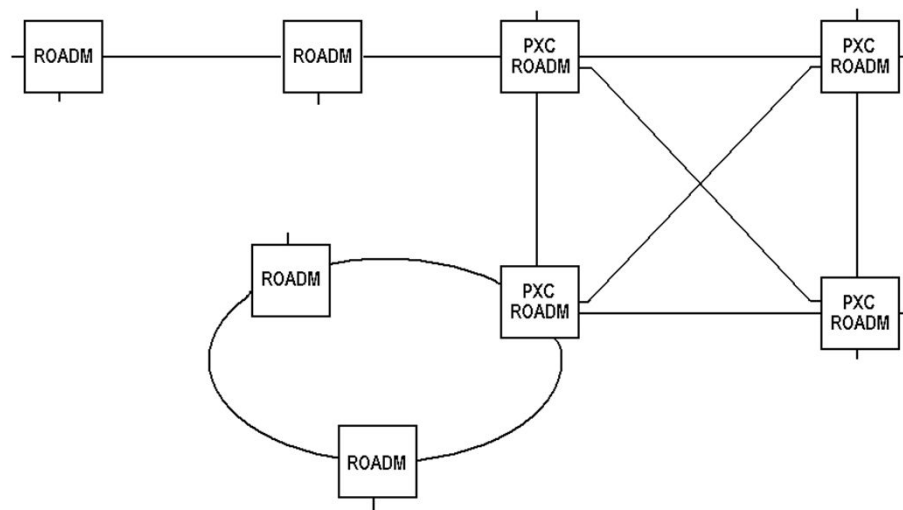
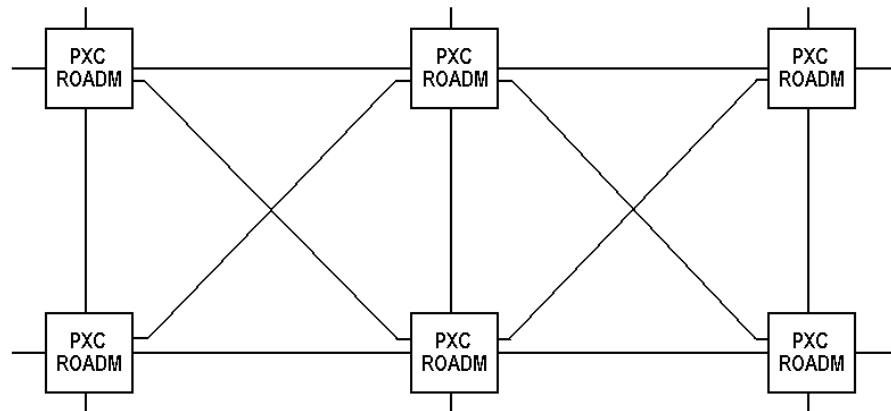
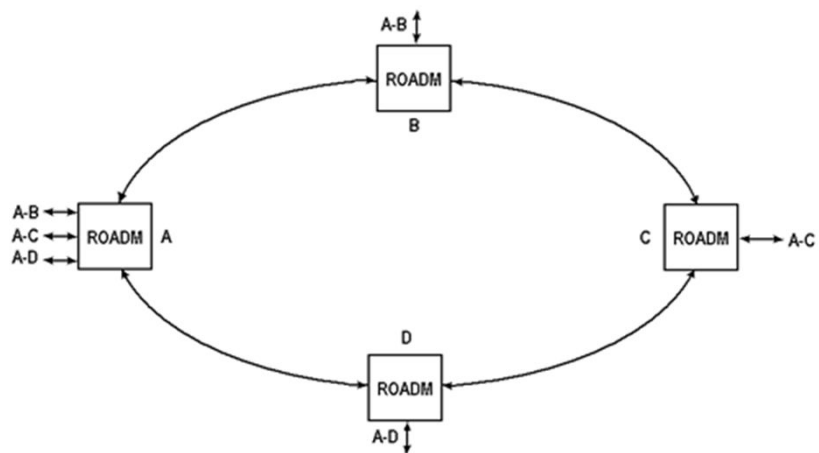
23. Обозначения оптической коммутации для защиты соединений

- Защита оптической секции мультиплексирования:
- - защита одноволоконной (передача и приём сигналов с WDM в одном волокне) секции мультиплексирования в режимах 1+1 и 1:1 (1:N, где N число рабочих волокон на одно волокно защиты; M:N, где M число защитных волокон на N рабочих волокон);
- - защита двухволоконной (передача и приём сигналов WDM в двух отдельных волокнах одного оптического кабеля) секции мультиплексирования в режимах 1+1 и 1:1 (1:N, где N число пар рабочих волокон на пару волокон защиты; M:N, где M число пар защитных волокон на N пар рабочих волокон);
- - защита в кольцевой оптической сети (с однонаправленными и двунаправленными соединениями оптических каналов) при использовании кроссовых коммутаторов PXC.
- В международной классификации ITU-T существуют стандарты технологий защиты (базовая рекомендация G.808.1 – Обобщённая защитная коммутация – линейная подзащита канала и подсети) для ATM, SDH, OTN и отдельная группа стандартов защиты для сетей Ethernet (G.8031, G.8032). Также существует система обозначения защиты оптической секции мультиплексирования и оптических каналов с использованием индекса «О»:
- - однонаправленной секции O-ULSR (Optical Unidirectional Line-Switched Ring) или OMS-DPRing (Optical Multiplex Section Dedicated Protection Ring) (1+1) – (1:1);
- - двунаправленной секции O-BLSR (Optical Bi-directional Line Switched Ring) или OMS-SPRing (Optical Multiplexed Section Shared Protection Rings) (1:N) – (M:N).

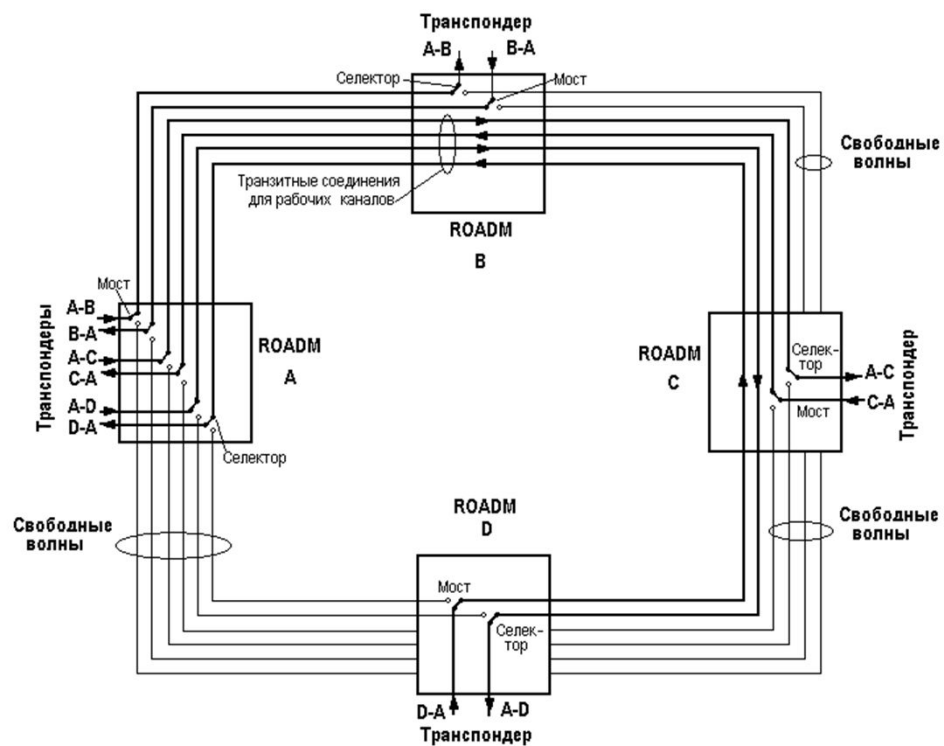
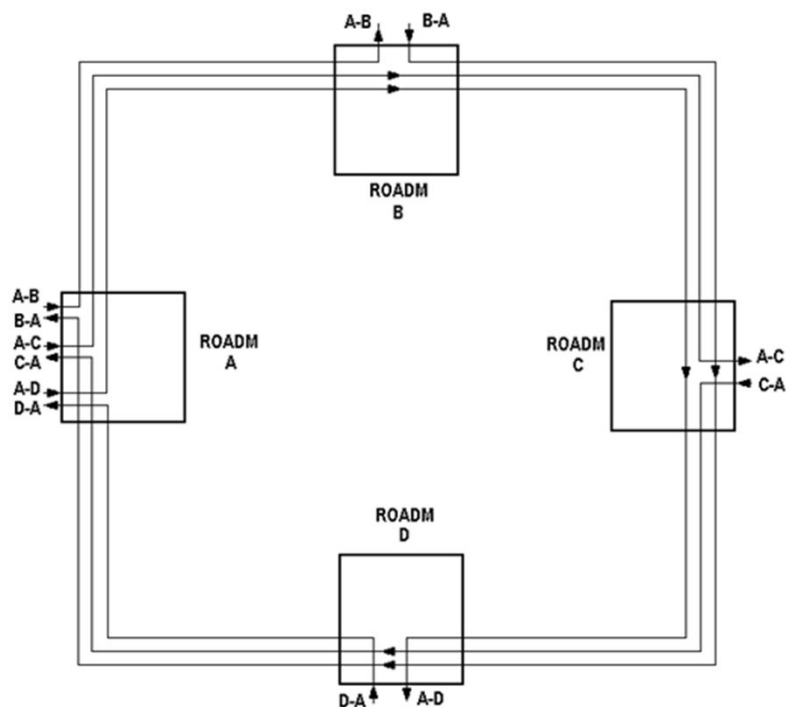
24. Обозначения оптической коммутации для защиты соединений

- Защита оптических каналов:
- - с использованием спаренных транспондеров (рабочий и резервный транспондеры с каждой стороны канала) и резервного оптического канала, географически разнесённого с рабочим каналом;
- - с использованием оптического разветвителя для сигнала на передаче и селектора сигнала на приёме для сигналов рабочего и резервного путей, имеющих различные географические маршруты;
- - защита оптических каналов в кольцевой сети, обозначаемых индексом «О», однонаправленных каналов O-UPSR (Optical Unidirectional Path Switched Ring) или OCh-DPRing (OCh-Dedicated Path Protection Rings) (1+1) – (1:1) и двунаправленных O-BPSR (Optical Bi-directional Path Switched Ring) или OCh-SPRing (OCh-Shared Protection Ring) (1:N) – (M:N), где буквенные индексы D и S обозначают:
- D – *dedicated* fiber line или Wavelength, т.е. переключение на назначенное резервное волокно или оптическую волну (волновой канал OCh);
- S – *shared* fiber link или Wavelength, т.е. переключение на определенную волоконную линию или волну (оптический канал OCh).

25. Структуры оптических сетей с фотонной коммутацией: кольцевая, ячеистая и смешанная



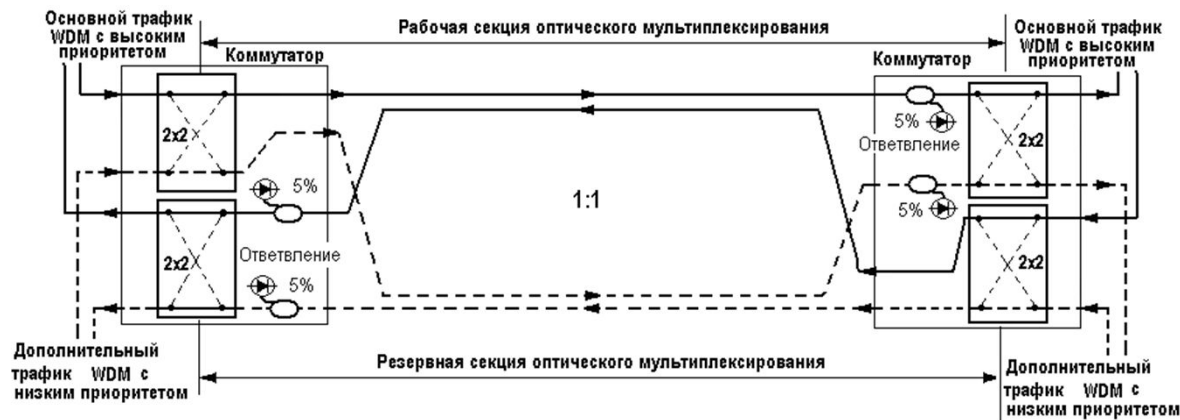
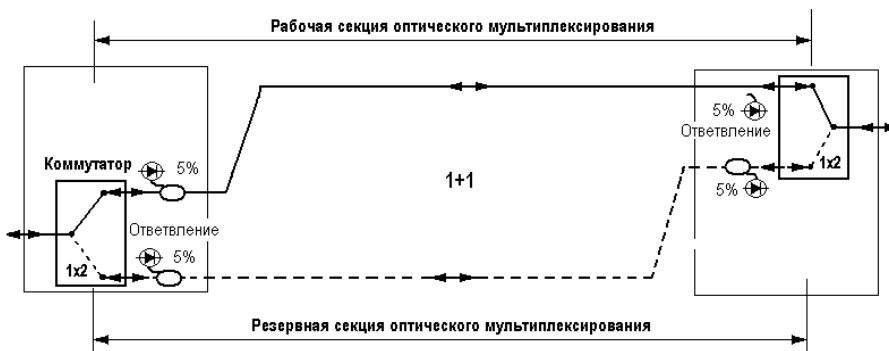
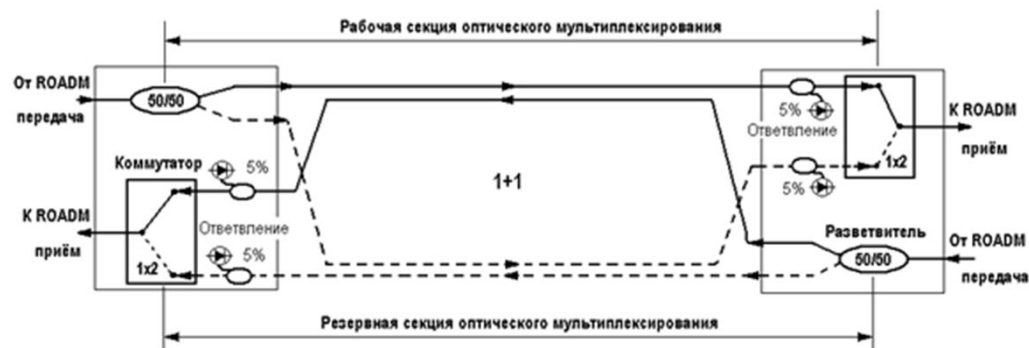
26. Защищаемые соединения в оптических сетях с ROADМ кольцевого типа (одно- и двунаправленные)



27. Защищаемые соединения в оптических сетях с ROADM кольцевого типа (одно- и двунаправленные)

- В однонаправленном соединении оптических каналов может использоваться одно стекловолокно в каждой секции мультиплексирования, т.к. связь однонаправленная на одной волне для каждого канала. Однако при этом протяженности каналов прямой и обратной передачи различные, что может сказываться на OSNR. Как правило, физическое соединение ROADM выполняется двухволоконным, но в приведённой схеме второе волокно не отмечено. Это волокно используется в схеме защиты, что рассматривается в примере далее.
- Двунаправленные соединения оптических каналов организуют по 2-м волокнам одного оптического кабеля в пределах оптической секции мультиплексирования. Т.о. в паре встречно направленных оптических каналов, выполняющих функции передачи и приёма, будут одинаковые дистанции передачи с одинаковым числом промежуточных станций (OADM, ROADM, PXC) и это в определённой степени гарантирует поддержание одинакового соотношения OSNR в каналах.
- В приведённом примере кольцевой сети одна секция оптического мультиплексирования (A-D) остаётся без загрузки оптических каналов. И другие секции (B-C, C-D) загружены не полностью информационными каналами. Т.о. создаётся потенциальная возможность для реализации защиты оптических каналов в каждой секции мультиплексирования, которые могут быть реализованы при использовании коммутаторов PXC в пределах нормативного времени переключения 30-50мс.

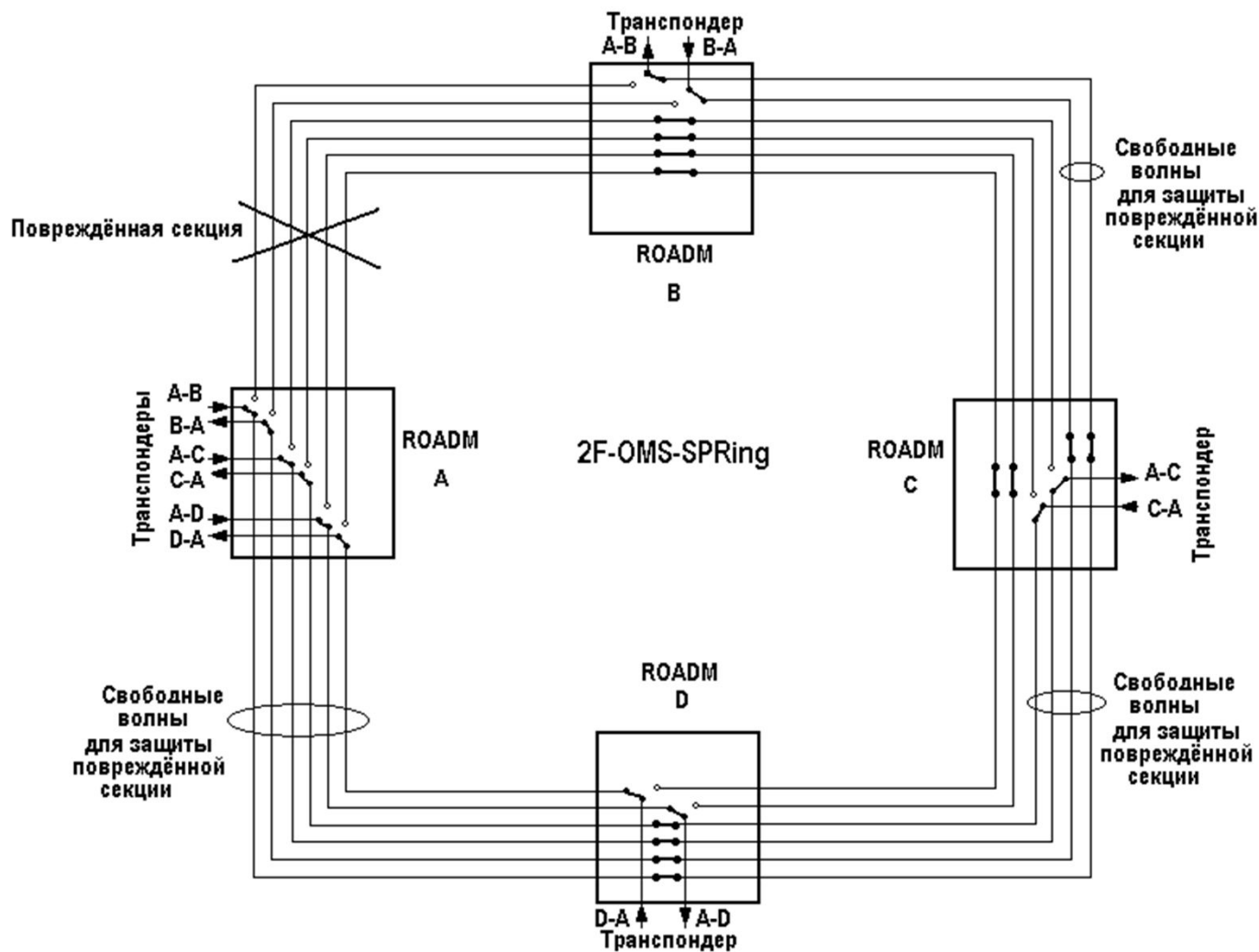
28. Схемы защиты оптической секции мультиплексирования: схема защиты 1+1 оптической 2-х волоконной секции; схема защиты 1+1 оптической одноволоконной секции; Пример схемы защиты 1:1 оптической 2-х волоконной секции



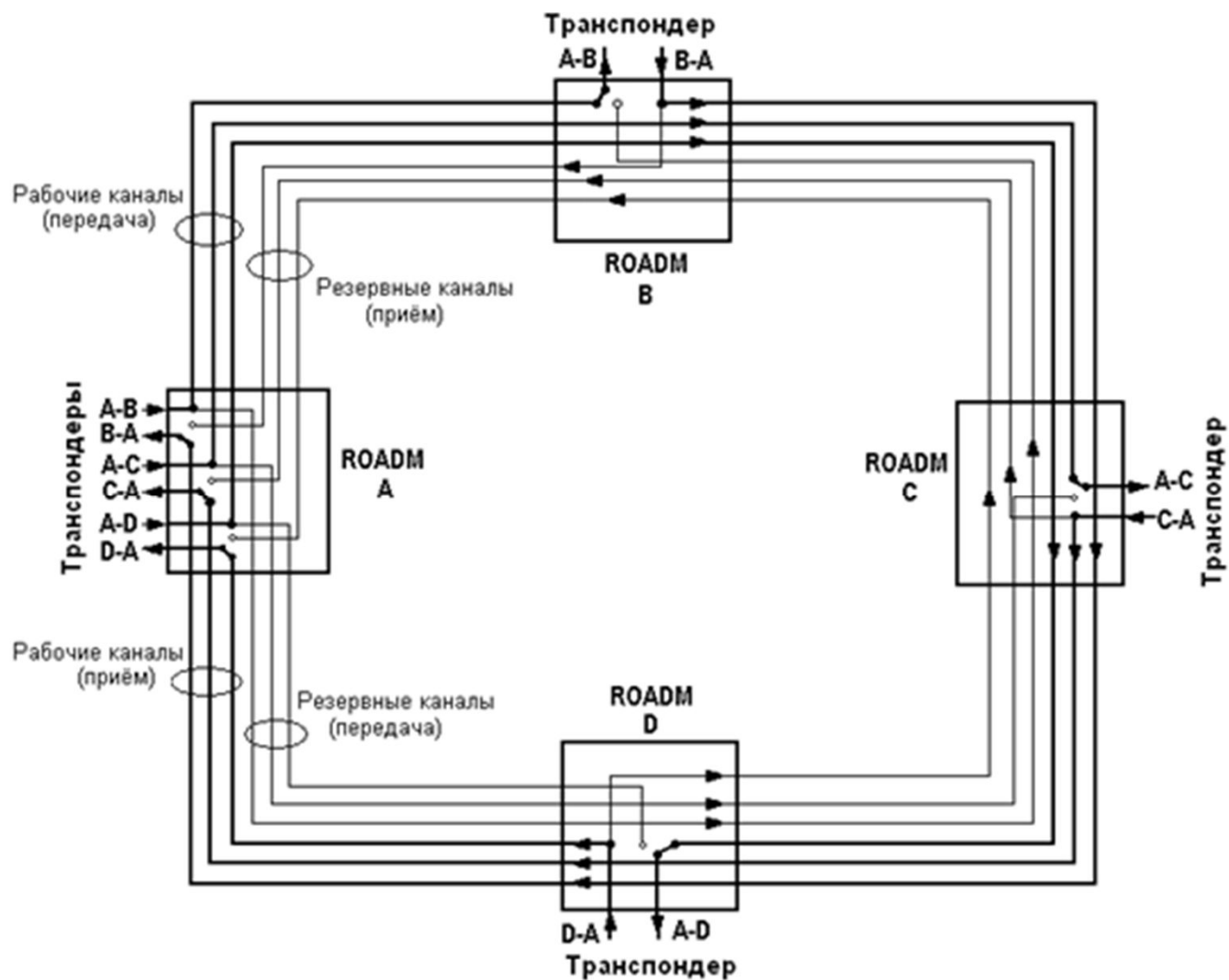
29. Схемы защиты оптической секции мультиплексирования: схема защиты 1+1 оптической 2-х волоконной секции; схема защиты 1+1 оптической одноволоконной секции; Пример схемы защиты 1:1 оптической 2-х волоконной секции

- Защита оптической секции мультиплексирования может быть построена на использовании внешнего оборудования относительно ROADМ и может быть построена с использованием внутренних коммутационных возможностей ROADМ.
- Внешнее оборудование защиты может обеспечить переключение рабочих одно- и двухволоконных линий на аналогичные резервные в любой конфигурации оптической сети (линейной, кольцевой, ячеистой) в вариантах защиты 1+1, 1:1, 1:N, M:N. При этом используются оптические коммутаторы 2×1 , 2×2 , $M \times N$.
- Из рисунков нетрудно заметить, что одноволоконный вариант построения оптической секции экономичнее двухволоконного не только по волокнам, но и по используемому оборудованию защитного переключения. Однако число волновых каналов вдвое меньше чем в двухволоконной секции.

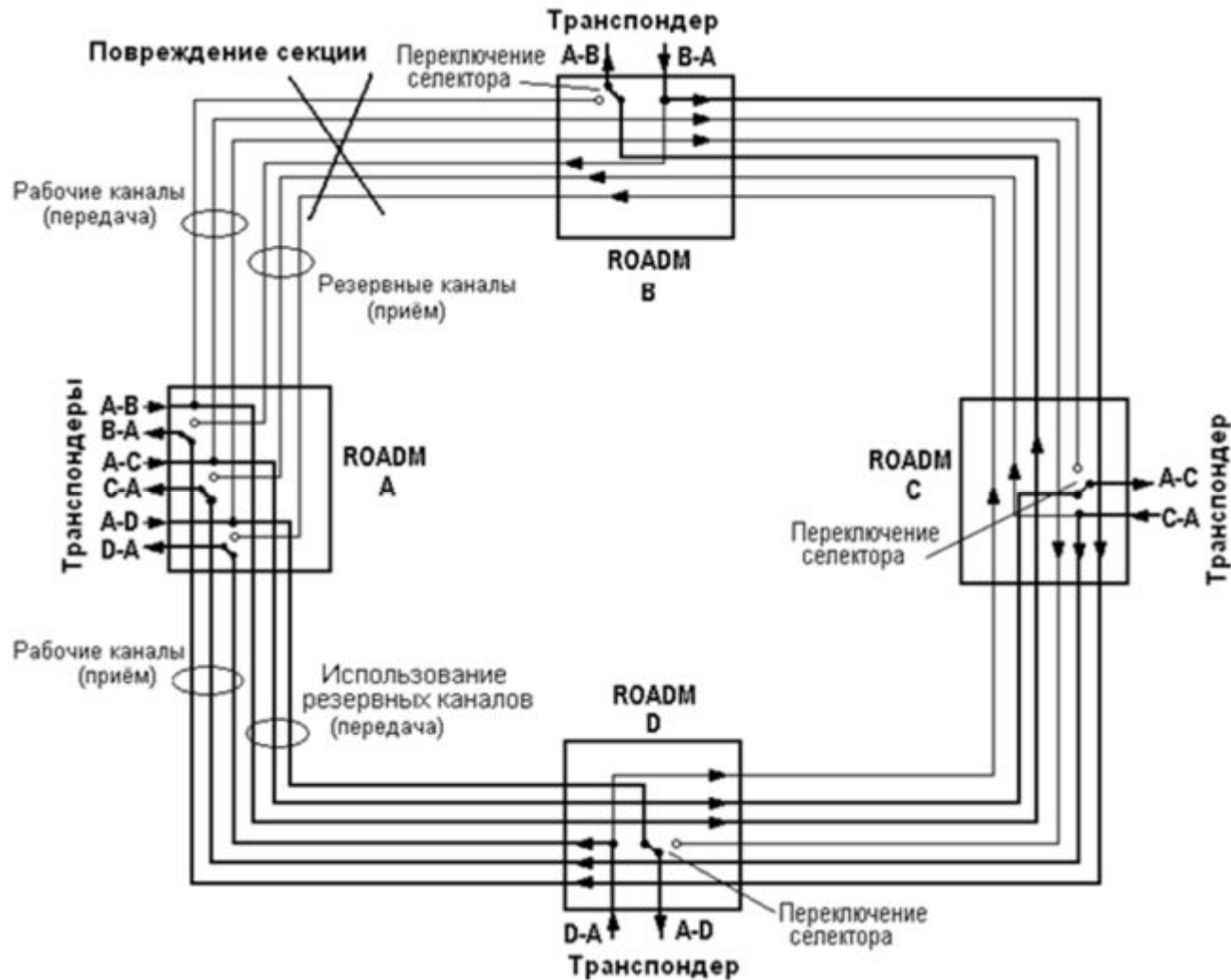
30. Защита оптических секций: двухволоконная, двунаправленная
(рабочее состояние показано выше)



31. Рабочее состояние однонаправленных оптических каналов в кольцевой сети с защитой O-UPSR или OCh-DPRing



32. Защитные переключения O-UPSR или OCh-DPRing оптических коммутаторов в ROADM при повреждении секции мультиплексирования



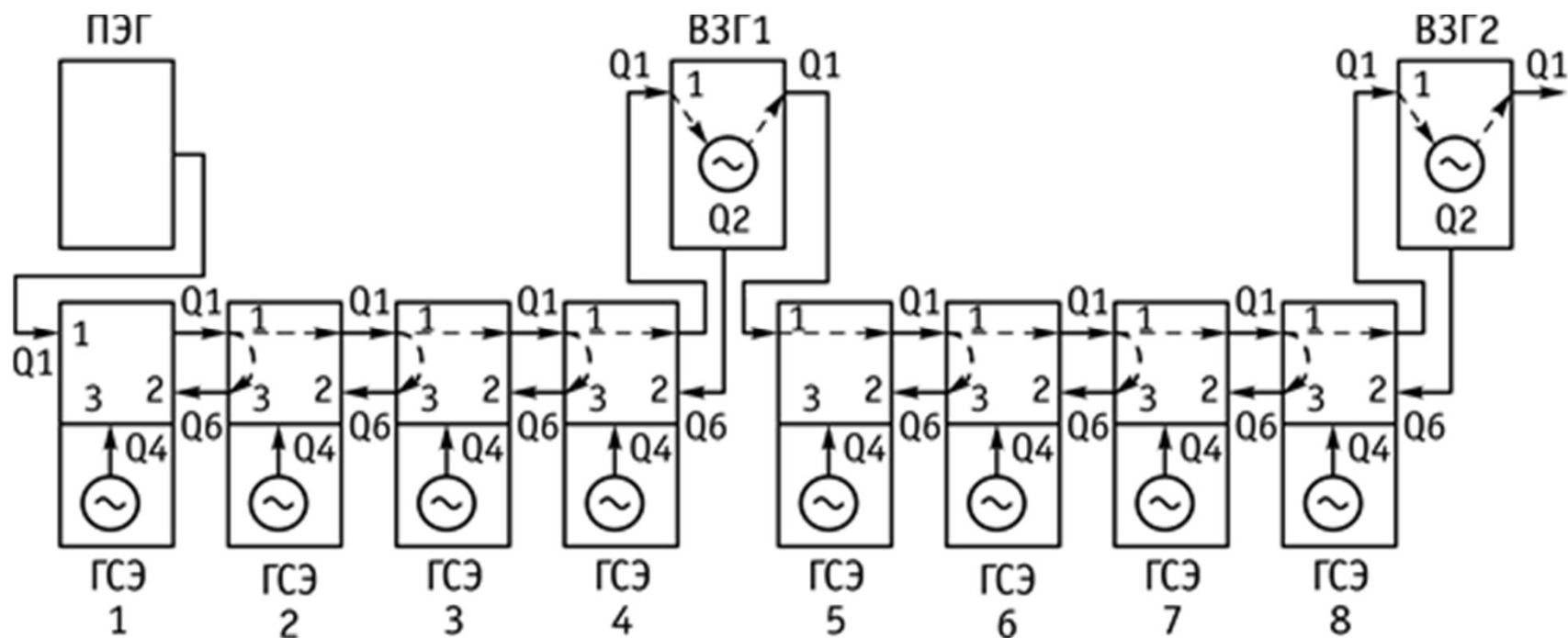
33. Защита в сети тактовой синхронизации

- Для подключения различных операторов цифровых сетей к базовой сети синхронизации предложено рассматривать четыре класса присоединения :
- 1-й класс – сеть оператора получает сигнал синхронизации через пассивные соединительные линии от ПЭГ первичного эталонного генератора) базовой сети ТСС;
- 2-й класс – сеть оператора получает сигнал синхронизации от ВЗГ (вторичного задающего генератора);
- 3-й и 4-й классы – сеть оператора получает сигнал синхронизации от ГСЭ (генератора сетевого элемента).
- Внутри каждого региона сеть принудительной синхронизации должна строиться по иерархическому принципу в виде древовидной схемы (радиально-узловой), исключающей возможность образования петель синхронизации в любой ситуации. В качестве ведомых генераторов на АМТС, АТС и т.д. могут использоваться блоки, встроенные в аппаратуру коммутации. На узлах и станциях, на которых кроме АМТС, АТС и т.д. установлено другое оборудование, нуждающееся в синхронизации.
- Учитывая, что ГСЭ и ВЗГ имеют несколько входов для внешних синхросигналов, качество которых может быть независимым и одинаковым, вводится система приоритетов. Уровень приоритета определяется его номером. Чем меньше номер, тем выше приоритет. Число приоритетов может быть от 0 до 254. Приоритет отмечается в таблице, размещаемой в памяти контроллера ГСЭ.

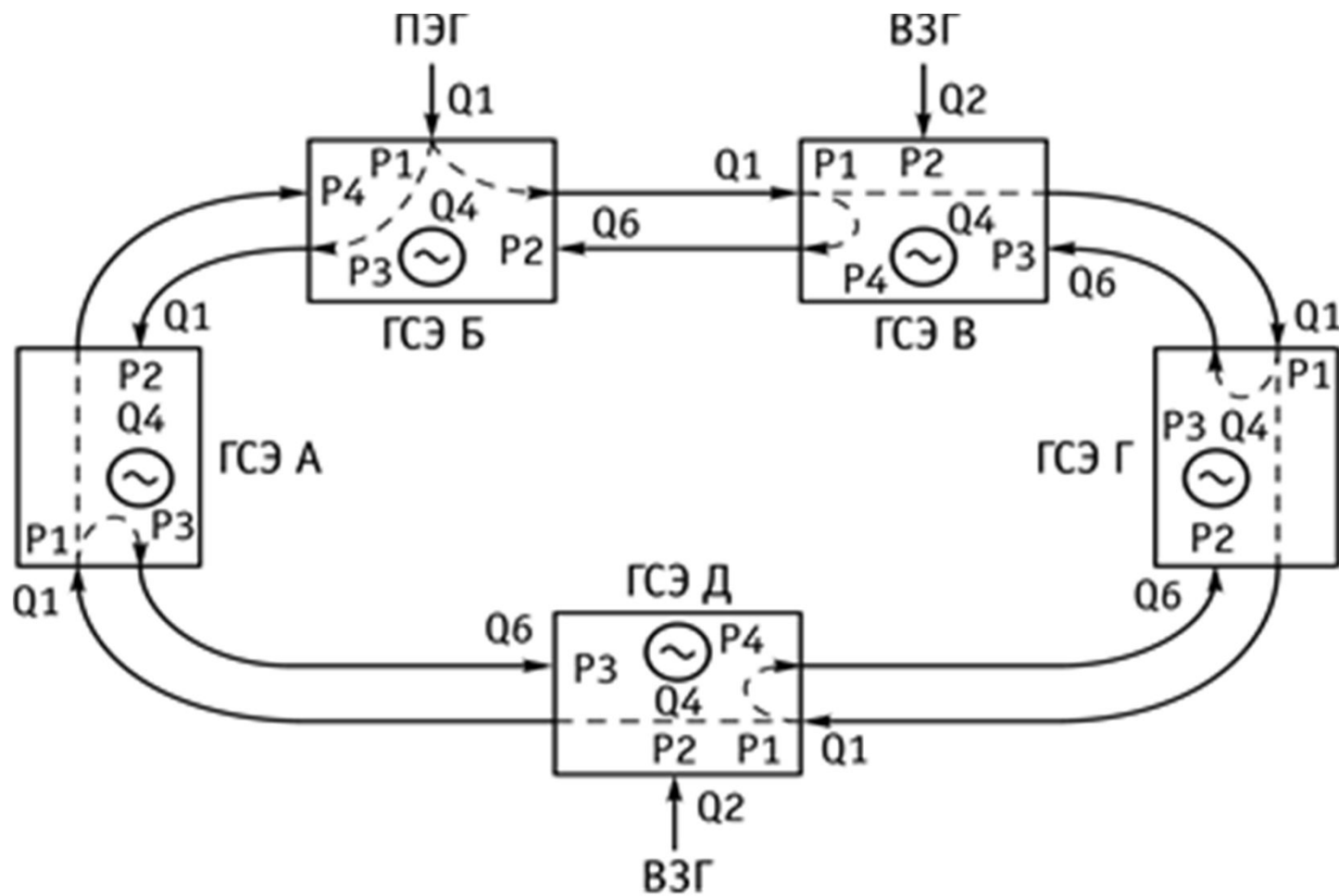
34. Защита в сети тактовой синхронизации

- Первым приоритетом обычно устанавливается сигнал синхронизации, поступающий от ПЭГ по самому короткому и качественному маршруту, где по пути следования синхросигнала установлено как можно меньше промежуточных ВЗГ.
- Вторым приоритетом для основного оборудования узла или станции может служить сигнал синхронизации, поступающий от ПЭГ по другому маршруту, чем сигнал первого приоритета.
- ВЗГ и ГСЭ могут принимать синхросигналы 3-го и 4-го приоритетов и т.д. Последним из приоритетов в любом оборудовании синхронизации является собственный генератор, работающий в режиме запоминания частоты синхросигнала (holdover) и свободных колебаний (free run). Приоритетом можно запретить использование входа синхронизации.
- Система приоритетов и качества направлена на повышение надежности сетей ТСС. Примеры использования системы приоритетов и показателей качества Q приведены на схемах распределения тактового синхронизма линейной и кольцевых транспортных сетей на рис. ниже.
- При этом показаны пути распространения сообщения о качестве синхросигнала.
- В линейной цепи распределения тактового синхронизма, представленной 8 ГСЭ, 2 ВЗГ и 1 ПЭГ, применено обозначение уровня качества Q . Значения $Q1...Q6$ проставляются в схеме на линиях входа в СЭ1...СЭ8. Приоритет входа синхронизации P указан цифровым индексом внутри СЭ. Все ГСЭ в нормальном режиме включены в цепь синхронизации от ПЭГ. Однако каждый ГСЭ содержит внутренний осциллятор (кварцевый источник), который используется при отсутствии высокостабильных внешних источников.

35. Пример защищаемой линейной цепи распределения синхронизма



36. Пример защищаемой кольцевой цепи распределения синхронизма



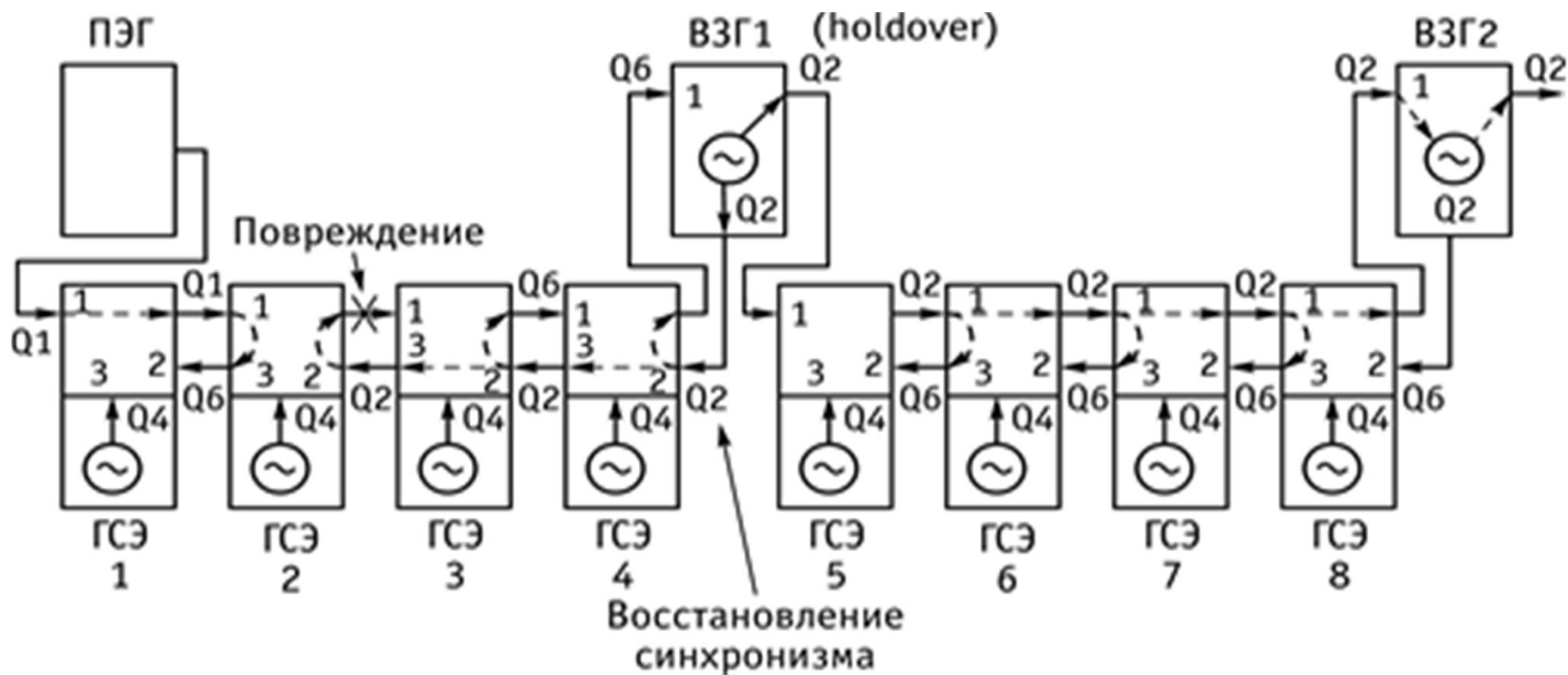
37. Организация защиты сети тактовой синхронизации

- Одним из главных требований при организации ТСС является наличие альтернативных источников синхронизма для каждого сетевого элемента. Для выбора источника синхросигнала необходим определенный алгоритм, который должен учитывать структуру ТСС и весь характер распределения сигналов. Для формирования такого алгоритма должен соблюдаться ряд принципов:
- при восстановлении синхронизации сети необходимо избегать формирования замкнутых петель, т.е. ни один из хронизирующих источников не должен синхронизироваться своим собственным сигналом (такие петли нестабильны и приводят к уходу частоты тактового генератора от номинального значения);
- если тактовый генератор работает в режиме удержания, он не должен служить эталоном для хронизирующего источника более высокого уровня качества;
- каждый сетевой элемент должен синхронизироваться от хронизирующего источника более высокого уровня качества, чем уровень ГСЭ;
- должно быть наличие небольшого (ограниченного) числа источников.
- Известно несколько методов восстановления нарушенного тактового синхронизма:
- ручное переключение источников синхронизма;
- использование системы управления сетью;
- метод приоритетных таблиц;
- метод сообщения о статусе синхросигнала.
- *Ручное переключение источников синхронизма* применяется только в узлах, которые имеют собственные высокостабильные тактовые генераторы (не ниже качества Q2). Такое переключение очень длительно, т.к. требуются согласования для принятия решения. Достоинство метода состоит в том, что оператор легко разбирается с общей топологией сети и принимает решение без использования сложного и дорогостоящего программного обеспечения. Недостаток – необходимость установления связи с экспертами сети, длительный временной интервал принятия решения.
- *Восстановление синхронизма при помощи системы управления* т. е. программы сетевого менеджера. Это путь автоматизированного решения проблемы, исключаящий оператора-человека из принятия решения. Это ускорение процесса (сокращение с часов до минут) переключения. Недостаток метода состоит в высоких затратах на решение целого ряда технических и организационных задач по разработке алгоритмов управления. Метод применим в сетях с распределенными ПЭГ в которых несколько хронизирующих источников располагаются в различных сетевых узлах и любой из них может взять на себя функции основного.

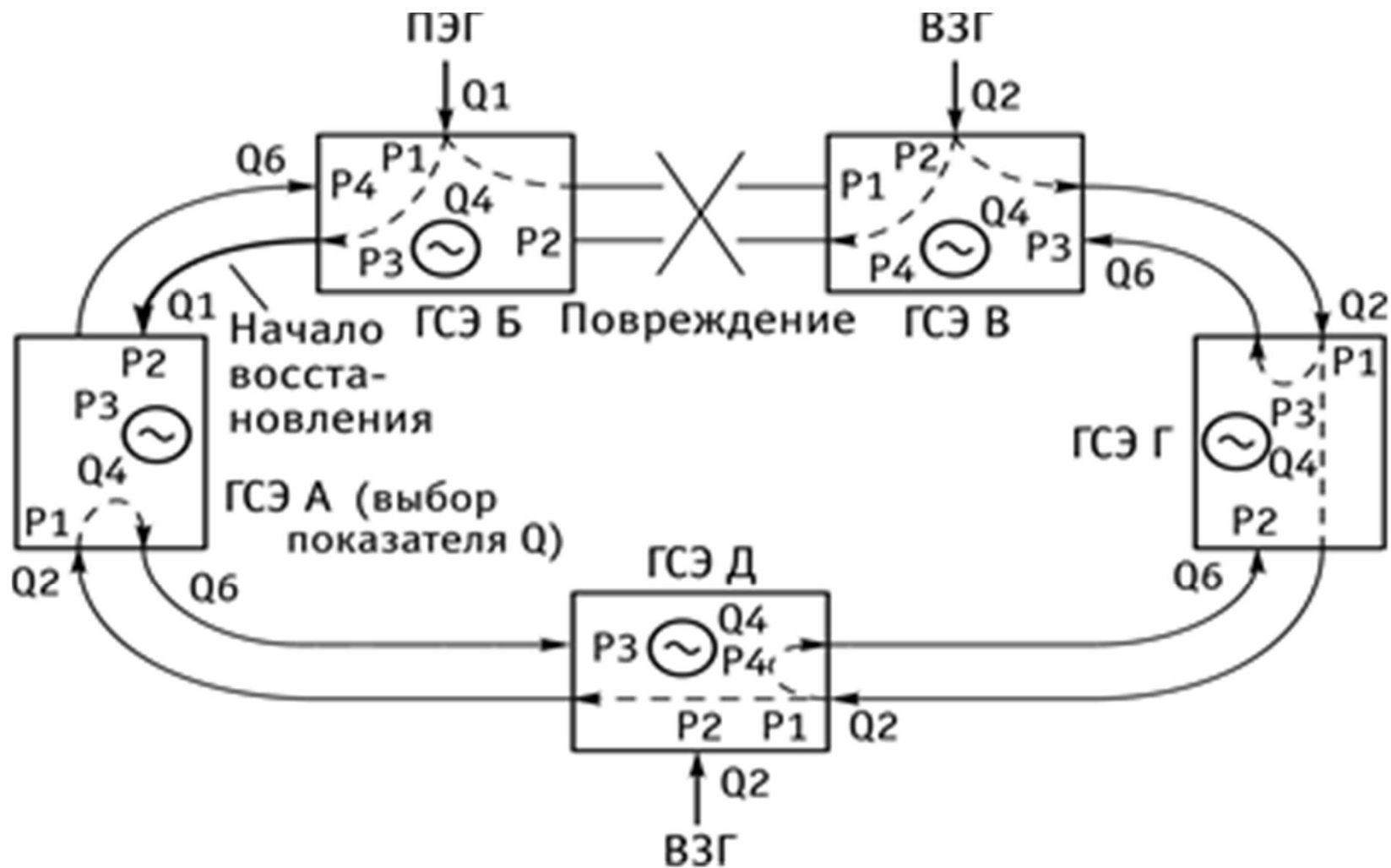
38. Организация защиты сети тактовой синхронизации

- *Методы восстановления синхронизма на основе таблиц приоритетов и сообщений о статусе синхронизма* отличаются от выше рассмотренных высоким быстродействием. При этих методах переключения синхросигналов происходят за время менее одной секунды. Быстрое переключение предполагает, что у ГСЭ с невысокой стабильностью (около 10^{-6}) в режиме удержания уход фазы не превысит 1 мкс.
- Идея метода таблиц приоритетов рассмотрена выше. В синхронизируемом сетевом элементе сигнал с наивысшим приоритетом выбирается в качестве основного. При этом остальные находятся в ожидании. Переключение происходит после исчезновения основного сигнала синхронизации из-за пропадания сигнала на линейном (агрегатном) интерфейсе, потери цикла передачи, при сигнале аварийного состояния или других отказах сети. Переключение на резервный синхросигнал возможно и в случае ухода фазы или частоты опорного сигнала.
- Переключение может быть реализовано с возвратом или без него (т.е. с ручным обратным восстановлением источника синхронизма).
- Достоинство метода приоритетных таблиц состоит в его относительной простоте и высокой скорости переключения. Кроме того, принятие решения о переключении на резерв принимается только в одном узле на основе собранной информации о качестве синхронизма. При этом нет необходимости задействовать систему управления сетью.
- К недостаткам метода следует отнести недостаточную гибкость в поддержке различных сетевых топологий (кольцевые, сложные линейные и ячеистые) с большим числом промежуточных ГСЭ.
- Места применения метода приоритетных таблиц: коммутаторы, кроссовые узлы на пересечении ячеистых сетей, в PDH сетях, работающих внутри SDH сетей.
- Идея метода показателей качества рассмотрена выше. Преимущества этого метода по сравнению с методом приоритетных таблиц заключается в том, что он может применяться в сетях с любой топологией. Метод, основанный на сообщениях о статусе синхронизации, может рассматриваться как дополнение к предыдущему, поскольку обеспечивает в каждом узле сети дополнительную информацию, которая поступает в форме сообщений в заголовках сигналов STM-N, E1, кадр Ethernet. Эти сообщения позволяют по-разному реагировать в сетевых элементах на различные ситуации. При этом не требуется использование системы управления.
- Эти методы применяются, как правило, совместно.

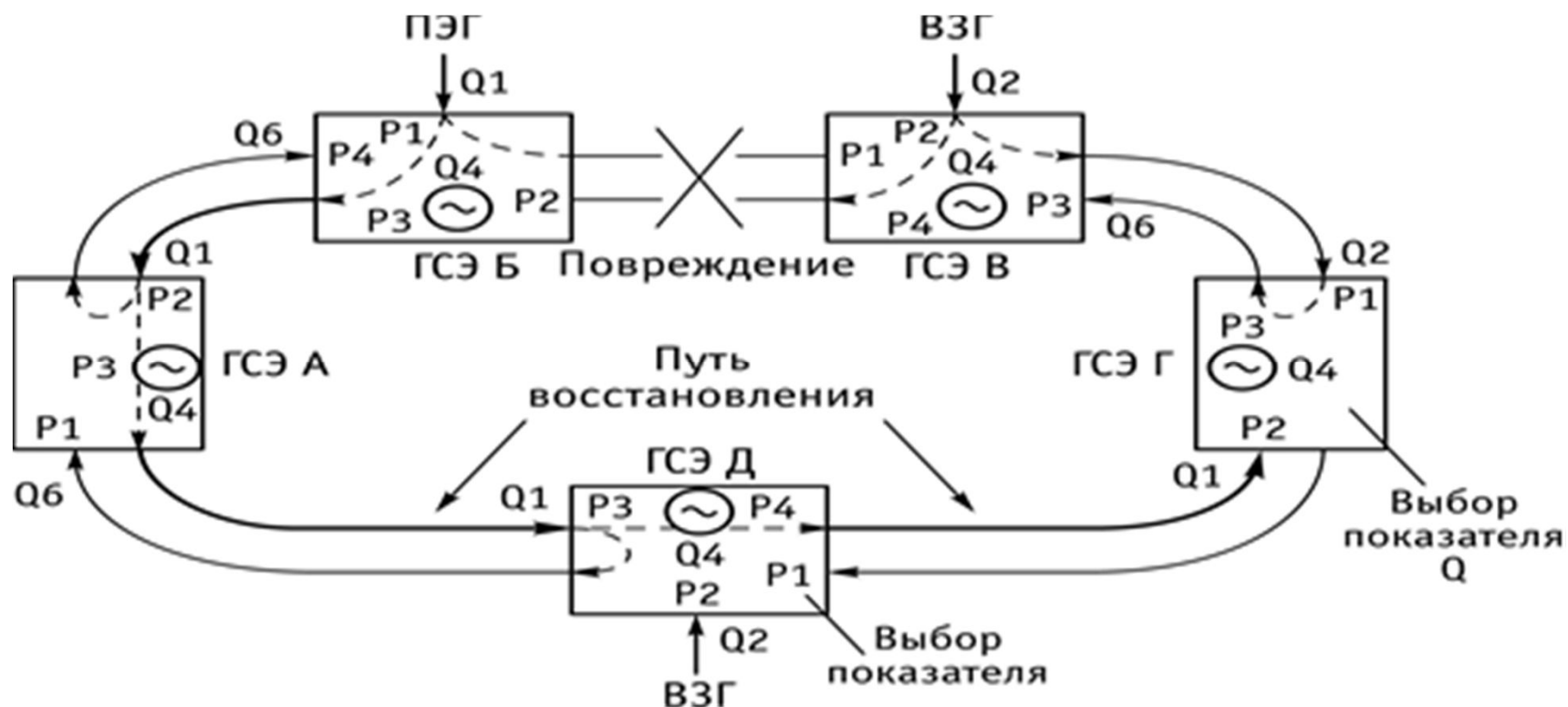
39. Пример защиты тактовой синхронизации в линейной цепи с применением показателя качества и приоритетов



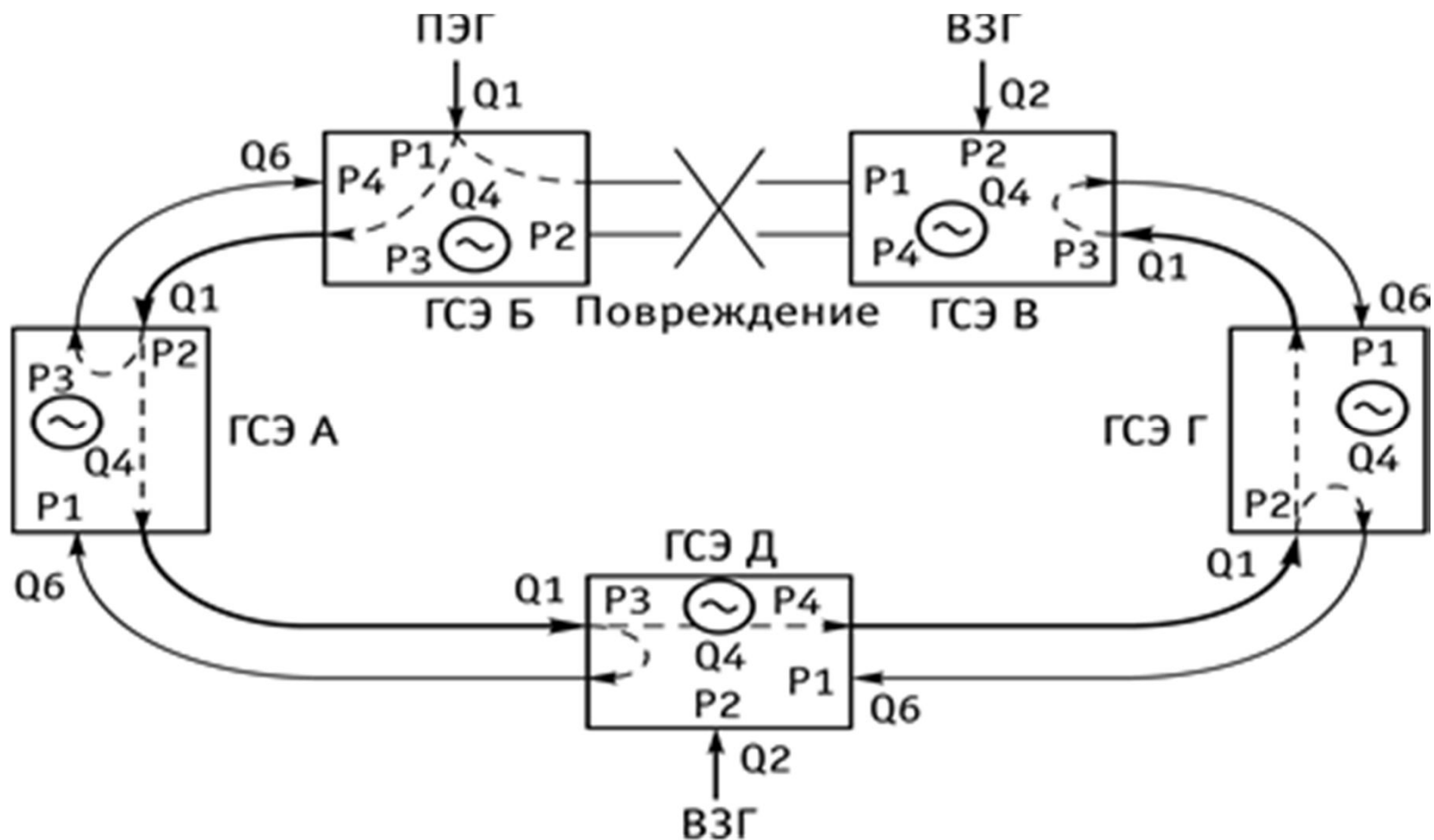
40. Пример защиты тактовой синхронизации в кольцевой сети. Состояние на момент повреждения



41. Пример защиты тактовой синхронизации в кольцевой сети.
Промежуточное состояние защиты



42. Пример защиты тактовой синхронизации в кольцевой сети. Восстановление синхронизации



Контрольные вопросы (составить краткие ответы и занести в отчёт)

- 1. Какими средствами достигается защита оптических сетей связи?
- 2. Какие стандарты определяют возможности защиты оптических сетей связи?
- 3. Через какие участки транспортных сетей может проходить соединение для пользователей?
- 4. Что такое тракт передачи транспортной сети?
- 5. Что называют секцией мультиплексирования оптической сети?
- 6. Какие виды соединений предусмотрены в транспортной сети?
- 7. Чем отличаются схемы защиты секций мультиплексирования 1+1 и 1:1?
- 8. Что может служить признаком для активации защиты?
- 9. Как может восстанавливаться соединение после устранения неисправности?
- 10. Какой временной интервал необходим для активации защиты?
- 11. Что обозначают сокращения APS, MS-Spring, SNC/P, SNC/I, SNC/N?
- 12. Чем отличаются схемы однонаправленного и двунаправленного колец?
- 13. Какие виды защиты предусмотрены для оптических каналов?
- 14. Чем могут отличаться однонаправленные и двунаправленные оптические каналы в кольцевой сети?
- 15. Какие классы подключения к базовой сети ТСС предусмотрены стандартами?
- 16. Что такое приоритет и показатель качества в ТСС?
- 17. Какое назначение имеет приоритет при восстановлении ТСС?
- 18. Какое назначение имеет показатель качества при восстановлении ТСС?
- 19. Где прописываются показатели качества ТСС?
- 20. Перечислите способы восстановления ТСС?
- 21. Какие функции выполняет ВЗГ при нарушении поступления сигнала синхронизации от ПЭГ?
- 22. Какие характеристики переключения имеет оптический коммутатор линий? (см. приложение)

Задания на разработку схем защиты транспортной сети и сети синхронизации

- Используя данные по варианту (последняя цифра номера студ. билета или пароля), приведённому в таблицах составить схему защиты транспортной сети и сети синхронизации. В отчёт занести рисунок исходной схемы и схемы с защитой. Всего 4 схемы!
- Исходные схемы приведены на слайдах, указанных в таблице.

Исходные схемы Транспортной сети	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Исх. схема транспортной сети на слайде.	20	23	26	30	34 (однап р.)	34 (двунап рав.)	39	20	23	34 (двунапра вл.)
Защищаемые соединения между узлами (тракт)	Б-Д	Б-Г	Б-Д	Ж-Б	А-С	А-С	А-С	Г-Б	Б-Д	А-Д
Место повреждения	Г-В	В-Г	Г-В	А-Б	В-С	А-Д	С-Д	А-Б	Б-В	Д-С
Исходные схемы сети синхронизации	ЛЦ	К	К	К	К	ЛЦ	К	ЛЦ	К	ЛЦ
Исходная схема на слайде	43	44	44	44	44	43	44	43	44	43
Участок повреждения	ГСЭ4- ВЗГ1	А-Б	А-Д	Д-Г	Г-В	ГСЭ3- ГСЭ4	Б-В	ГСЭ5- ГСЭ6	А-Д	ГСЭ2- ГСЭ3

Приложение: оптический коммутатор с контроллером управления

Epi**Photonics**

PLZT Ultra-High Speed Optical Switching System



The PLZT Ultra-high Speed Optical Switching System with an internal FPGA controller enables high-speed optical switching networks easily and quickly.

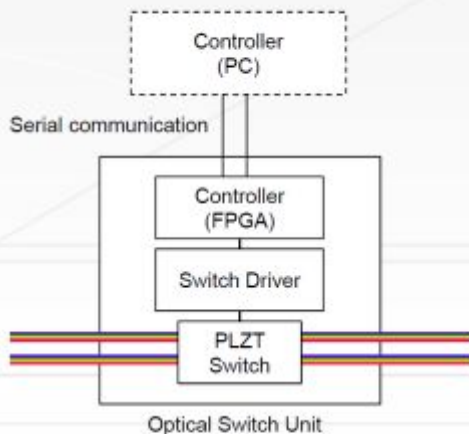
The system has a PLZT optical switch subsystem with a internal FPGA control unit which is connected to a external PC controller via a serial cable, and the system does not require any additional device such as a multi-channel pulse generator to activate the optical switch. The switching patterns can be stored in 2 memory banks. The memory bank can store 4,000 switch control signals each and can be switched within 1 clock. Therefore, the optical switch can be configured at less than 10 ns speed without a high-speed pulse generator.

Features:

- Connect a PC to the optical switch unit with serial communication (No pulse generator needed).
- Control the optical switch by PC command lines (Easy to control).
- Read and write memory banks at the same time due to dual memory banks (Seamless control).
- Support high-speed switching (Switch each bank in 1 clock).
- Control the optical switch directly by external signals from a maintenance input without writing the memory banks (Direct Input).
- Automatic synchronization among several switching systems (System synchronization).

Приложение: оптический коммутатор с контроллером управления

This system consists of an internal control unit and an optical switch unit. The external control unit (Controller) is a PC and is connected to the internal control unit via a serial link. The optical switch unit consists of a high-speed optical switch module and a high-speed driver. The internal controller board includes an FPGA which has dual 4,000 pattern memory banks. It reads and writes the banks based on signals from the controller and sends the appropriate switching pattern signals to the optical switch. The fast driver sends switch signals to the switch module upon receiving signals from the controller board. various switch arrangements, 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 2x2, 4x4, ... can be supported.



Major Specifications	
Port size	Up to 1x16 or 4x4
Switching speed	< 10 ns
Configuration	4,000
Memory bank	2 banks (switch in one clock)
Interface	Serial communication (9 pins out of 25 pins)
Bit rate	9,600 bps
Data bit	7 bits
Stop bit	1 bit
Parity bit	Even
Flow control	None
OS	Red Hat Enterprise Linux

EpiPhotonics

EpiPhotonics Corporation
770 Charcot Ave., San Jose, CA 95131, USA
Phone: +1-408-922-0256, Fax: +1-408-922-0259
E-mail: sales@epiphotonics.com, URL: <http://epiphotonics.com>