



Некоммерческое
акционерное
общество

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра
Автоматическая
Электросвязь

ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ

Конспект лекций
для студентов специальности
5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: А.С. Байкенов., К.С. Чежимбаева. Транспортные телекоммуникационные сети 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации (для студентов всех форм обучения).— Алматы: АУЭС, 2014 – 51 с.

Изложены конспекты одиннадцати лекций по дисциплине «Транспортные телекоммуникационные сети». В них представлены основы построения современных транспортных цифровых сетей связи и методы их описания. Также приведены особенности мультиплексирования в современных транспортных платформах.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся в бакалавриате по специальности 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Ил. 37, табл. 4, библиогр. – 12 назв.

Рецензент доц. ЭПП . М.В. Башкиров

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2014 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2014 г.

Введение

Целью изучения дисциплины «Транспортные телекоммуникационные сети» (ТТС) является овладение знанием основных принципов построения транспортных сетей, реализованных на основе цифровых систем передачи (кабельных оптических, радио); овладение студентами сущности явлений, происходящих при передаче информации, принципов действия технических устройств, аппаратуры и технологий PDH, SDH, ATM, WDM, NGSDH, PON, MPLS; умение правильно рассчитывать, анализировать и решать проблемы, относящиеся к цифровой передаче информации, навыков эксплуатации ТТС.

Дисциплина «Транспортные телекоммуникационные сети» является базовым теоретическим курсом для студентов вузов связи. ТТС – это средство переноса информации электронными средствами или это сеть «электромагнитных проводных и радиодорог». Эта дисциплина является обобщением и развитием дисциплины «Цифровые системы передачи».

В лекциях рассмотрены принципы построения современных транспортных цифровых сетей связи, методы их описания, цифровые методы передачи информации.

Учебным планом для данной дисциплины отводится 3 кредита, всего – 135 часов, из них для аудиторных занятий – 52 часа, для самостоятельной работы – 75 часов.

Кредиты	Курс	Семестр	Лекции	Практические	Лаб.раб.	Курс.проект	Экзамен
3	4	7	22	15	15	7	7

Лекция № 1. Многослойная архитектура транспортной сети

Цель лекции: ознакомиться с развитием транспортных цифровых систем передачи и основные этапы их развития.

Исторический путь развития технологии IP указывает на то, что мир этой технологии является очень разнообразным и динамичным. В нем присутствуют самые разные концепции и технологии, часто даже взаимно-конкурентные решения.

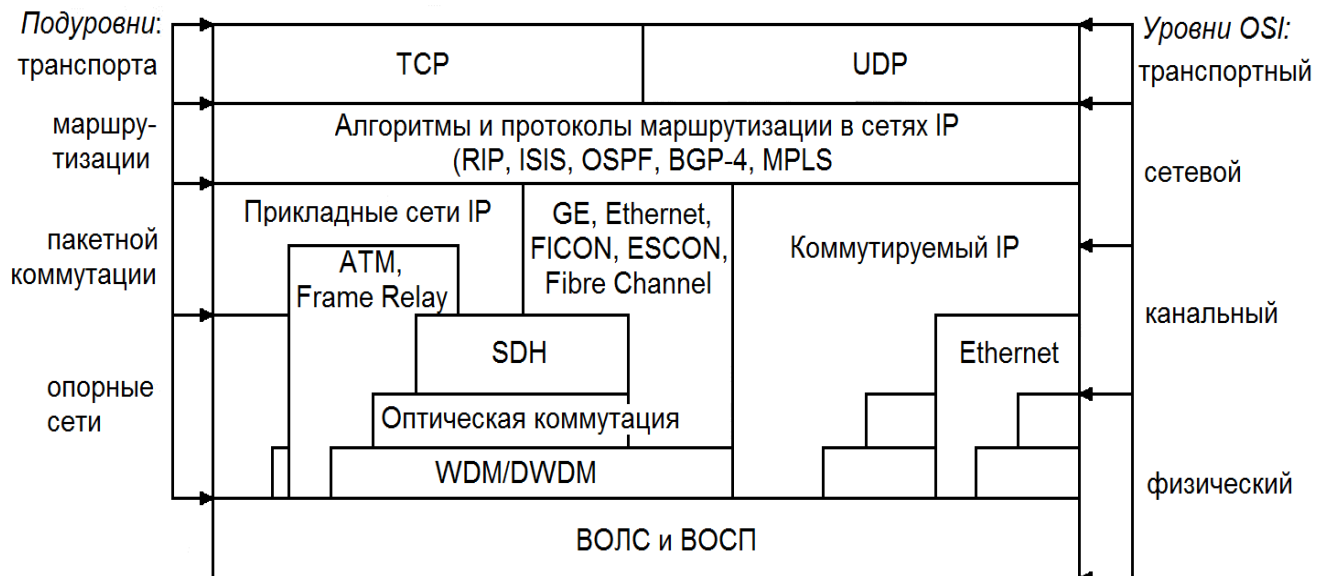


Рисунок 1.1 – Современная концепция транспортной сети NGN

Первым ключом является деление технологии транспортной сети на основе IP на несколько уровней согласно модели OSI. Применение модели OSI к исследованию транспортной сети NGN существенно облегчает понимание некоторых процессов в сетях IP, поскольку на разных уровнях работают разные процессы и используются различные технологии. Рассмотрим многоуровневую концепцию транспортной сети NGN, охватывающую все технологии современных сетей от физического до транспортного уровня OSI (рисунок 1.1). Физический уровень представлен волоконно-оптическими системами передачи (ВОСП) на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Поверх него размещается оборудование оптического мультиплексирования (WDM/DWDM). Выше уровня WDM находятся системы оптической коммутации, где с помощью специальных устройств оптический канал коммутируется и в дальнейшем распространяется по другому волокну или в другом диапазоне волн без аналогово-цифровых преобразований, поскольку здесь данные передаются непосредственно в видео цифрового сигнала. Основной технологией физического уровня должны

быть ВОСП. Современные радиорелейные спутниковые и традиционные системы передачи смогут формировать транспортный уровень NGN и войдут в NGN в основном на уровне доступа. Современные требования по передаче трафика ориентированы на скорость передачи данных более 10 Гбит/с. Такую скорость передачи может обеспечить только оптоволоконная технология, т.е. ВОСП. Технология WDM/DWDM оптимизирует использование оптических кабелей за счет системы спектрального мультиплексирования, позволяющей формировать несколько цифровых каналов широкополосной передачи на одном оптическом волокне. Системы оптической коммутации дополняют эту систему, обеспечивая коммутацию сигналов с одной длины волны на другую. Тем самым эффективность ВОСП выходит на уникально высокие показатели. На физическом уровне имеет место поливариантность технических решений. Оператор в равной степени может использовать только системы передачи на основе ВОЛС, ВОСП с системами WDM и/или оптической коммутацией. На канальном уровне транспортных сетей применяются различные технологии, которые позволяют загрузить данные по протоколу IP в ВОСП на физическом уровне. Как показано на рисунке 1.2, в качестве возможных вариантов могут применяться технологии NG SDH (SDH нового поколения), сети Ethernet и Gigabit Ethernet (GE), уже развернутые сети ATM и Frame Relay, а также стек технологий систем хранения информации (SAN), куда входят технологии Fiber Channel, FICON, ESCON. Помимо перечисленных технологий допускается и вариант прямой загрузки дейтаграмм IP в ВОСП, что представлено на рисунке 1.2 как вертикальный разрез технологией IP всей многоуровневой структуры. Такой вариант в последнее время используется редко, но теоретически он вполне возможен. Все решения объединяются на сетевом уровне, который включает в себя два подуровня. На нижнем подуровне данные от различных систем канального уровня преобразуются в дейтаграммы единого формата IP. Верхний подуровень объединяет различные решения в части организации маршрутизации полученных дейтаграмм. Завершает модель транспортный уровень, где дейтаграммы IP собираются в кадры TCP или UDP, которые собственно и передаются по транспортной сети. Дальнейшие уровни модели OSI уже являются уровнями управления и услуг, и будут рассмотрены в следующих главах. Как следует из рисунка 4.2, не существует четкого деления технических решений по уровням OSI: некоторые технологии выполняют функции одновременно нескольких уровней, другие - только отдельных уровней или даже подуровней. Все это делает спорной эффективность применения модели OSI к описанию технологий транспортной сети. Эффективнее классифицировать поливариантные решения, присутствующие на физическом и канальном уровне, как решения подуровня опорных сетей, который включает в себя технологии ВОЛС, WDM, NG SDH, оптической коммутации и магистрального Ethernet. Выше этого подуровня целесообразно ввести подуровень пакетной коммутации. Над ним разместим подуровень маршрутизации, а выше выделим подуровень транспортной сети, который уже полностью соответствует транспортному уровню модели OSI.

Полученная модель из четырех подуровней кажется более корректной, чем модель OSI, поскольку не требует выделения в отдельных технологиях транспортной сети каких-то дополнительных слоев или элементов. Из рисунка 1.2 следует не только многослойность современной концепции транспортной сети, но и поливариантность технических решений. В качестве иллюстрации можно рассмотреть пять различных методов загрузки данных коммутируемого IP (на схеме справа) в ВОСП: IP -> Ethernet -> ВОСП; IP -> Ethernet -> WDM -> ВОСП; IP —> Оптическая коммутация -> WDM —> ВОСП; IP -> WDM -> ВОСП; IP -> ВОСП. Таким образом, при детальном рассмотрении технология транспортной сети уже не представляет собой однородную «биомассу», под уровнем IP находится поливариантная архитектура, допускающая самые разные технические решения, а сама архитектура транспортной сети оказывается многослойной. Вторым ключом к пониманию принципов построения технологии транспортной сети является демократизм, свойственный в целом технологии NGN. Суть его состоит в том, что все технологии, представленные на рисунке, являются равноправными, равновозможными и равноценными с точки зрения их использования для построения транспортной сети. В то же время демократизм имеет свои особенности, например, необходимо учитывать взаимное расположение различных технологий на уровнях архитектурной модели OSI. Так, технология NG SDH эффективна в случае, когда оператор решает проблему миграции своей сети из традиционной первичной в транспортную сеть NGN. Если же нет, то нужно строить новые сегменты, и в них целесообразнее использовать технологию Gigabit Ethernet. Точно также в условиях дефицита свободных волокон целесообразно использовать технологию WDM, тогда как в условиях прокладки нового кабеля целесообразнее использовать под технологии SDH и WDM разные волокна и т.д. Наконец, третьим ключом является понимание особенностей конвергенции технологий на этом уровне NGN. Конвергенция технологий транспортных сетей имеет ряд отличий от конвергенции сетей доступа. В сетях доступа конвергенция имеет много внешних проявлений, эти сети как технологические компоненты развиваются независимо и объединяются только на завершающем этапе создания NGN в точках подключения оборудования пользователя. Такое направление конвергенции можно рассматривать как внешнюю конвергенцию. Для транспортной сети характерно явление внутренней конвергенции, которая предусматривает объединение технологий уже на начальном этапе построения сети. Как следует из рисунка 4.2, в рамках единой транспортной сети технологии внедряются независимо только на подуровне опорных сетей. Выше этого подуровня все технологии работают с единым форматом данных (дейтаграммами IP), т.е. их следует рассматривать как единую транспортную сеть. Таким образом, транспортная сеть IP внешне выглядит как однородная «биомасса», а все границы раздела технологий скрываются в ее глубине. Последним ключом к пониманию принципов построения современных транспортных сетей является динамика их развития. В последние 10-15 лет

транспортные сети развивались под флагом миграции технологий от традиционной сети с коммутацией каналов к транспортной сети с коммутацией пакетов (рисунок 1.2). На этом пути возникало много различных промежуточных решений, которые в дальнейшем включались в демократичный мир NGN. На первом этапе развития транспортной сети доминировало понятие канала, пришедшее из традиционной первичной сети. Как следствие, сеть рассматривалась как система управления каналами. Именно в таком виде эта технология была представлена в системах WDM, где существуют несколько полос передачи (по сути, каналов), и в системах оптической коммутации, которые позволяют переключать оптический сигнал с одной длины волны (канала) WDM на другую. Появление концепции мультисервисных сетей привело к развитию транспортных технологий ATM и Frame Relay. Это позволило отказаться от понятия физического канала, сделав его менее строгим. В результате возникло понятие виртуального канала, удобного для передачи пакетного трафика между двумя точками сети. Дальнейшее развитие привело к появлению виртуальных частных сетей (VPN), которые рассматривались как выделенная и закрепленная за пользователем совокупность виртуальных каналов (ATM VPN).

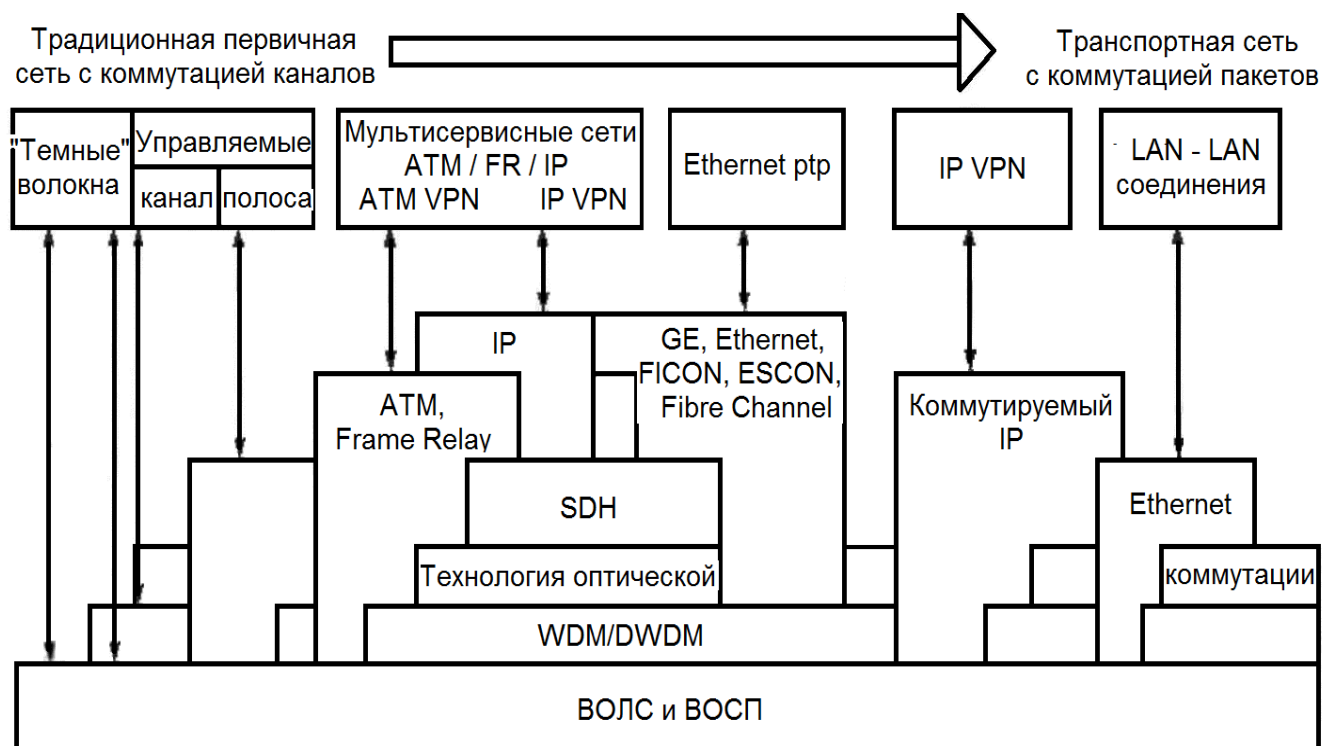


Рисунок 1.2 – Исторический срез развития технологий транспортных сетей

Развитие технологии Ethernet привело к тому, что появились решения, позволяющие передавать трафик Ethernet в единой «виртуальной трубе».

Такая технология получила название Ethernet ptp (ptp point - to - point , или «точка-точка»).

Лекция № 2. Модели оптических транспортных сетей

Цель лекции: изучение модели транспортных сетей.

Рекомендация G.805 посвящена описанию моделей транспортных сетей, базирующихся на волоконно-оптических и радиорелейных системах передачи. При этом основная роль отводится волоконно-оптическим системам. Описание моделей транспортных сетей, технологических схем мультиплексирования, интерфейсов, оборудования, управления, синхронизации и т.д. приводится в большом пакете рекомендаций МСЭ-T серий G, Y, I, X и т.д. Эти рекомендации используются производителями оборудования и сетевыми операторами при проектировании, запуске и эксплуатации транспортных сетей.

В настоящее время транспортные сети строятся в соответствии с моделями (рисунок. 2.1).

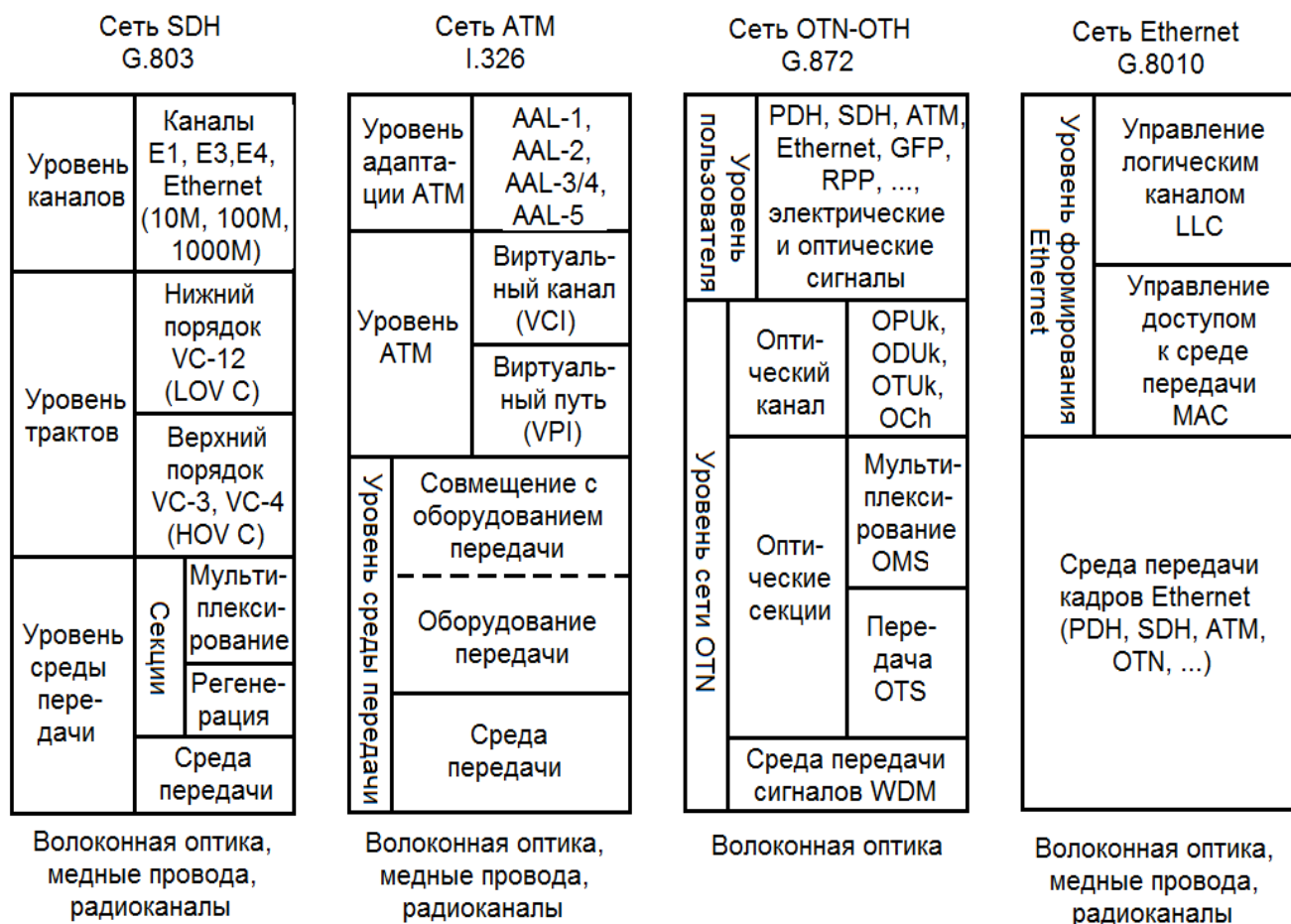


Рисунок 2.1 – Модели транспортных сетей связи

Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: среды передачи, трактов (маршрутов передачи информации), каналов.

Уровень среды передачи базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которых создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных. Среда передачи содержит волоконные световоды в конструкциях различных кабелей; электрооптические преобразователи на передаче и оптоэлектронные преобразователи на приеме; оптические усилители, оптические аттенюаторы и компенсаторы дисперсии; разъёмные и неразъёмные оптические соединители; линейные кодеры и декодеры; оптические модуляторы и оптические детекторы.

Секцией мультиплексирования начинается и заканчивается участок волоконно-оптической системы передачи. Секция мультиплексирования может содержать от одного до нескольких участков — секций регенерации, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности. Для этого дублирующая (защитная) секция оснащается сигналами автоматического переключения за интервал времени не более 50 мс. Сигналы, передаваемые через физическую среду модели сети SDH, представляют собой циклы длительностью 125 мкс, называемые синхронными транспортными модулями STM-N (Synchronous Transport Module) порядка $N = 0, 1, 4, 16, 64, 256$. Порядок характеризует иерархический уровень и соответствующий скоростной режим передачи.

Уровень трактов сети SDH подразделён на два подуровня: высокий и низкий, стандартно обозначаемых в технической литературе: HOVC (Higher Order Virtual Container) — виртуальный контейнер верхнего уровня и LOVC (Lower Order Virtual Container) — виртуальный контейнер нижнего уровня. Виртуальные контейнеры, высокого и низкого уровней, представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. Виртуальные контейнеры низкого уровня могут объединяться для размещения в виртуальные контейнеры высокого уровня.

Уровень каналов сети SDH обеспечивает интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH является частью первичной сети связи, на уровне каналов производится согласование с вторичными сетями (пользователями), например, с телефонными сетями через потоки цифровых данных 2,048 Мбит/с (E1), с сетями Ethernet на скоростях передачи 10, 100 и 1000 Мбит/с, через сцепки виртуальных контейнеров и протоколы согласования.

Модель транспортной сети ATM.

Модель транспортной сети ATM представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: среды передачи, асинхронного режима передачи, адаптации ATM.

Уровень среды передачи в модели транспортной сети ATM может быть реализован, согласно стандартам ATM, любой системой передачи, например, системами с плезиохронным мультиплексированием (PDH) или системами синхронного мультиплексирования (SDH). При этом допускается использование любой среды и оборудования передачи (медные провода с модемами xDSL, радиоканалы с соответствующими радиочастотными преобразователями, атмосферные оптические каналы с соответствующими средствами сопряжения, волоконно-оптические системы).

Уровень ATM разбит на подуровни виртуального канала и виртуального пути. Эти образования уровня ATM связаны с единицами представления данных, называемыми ячейками и имеющими ёмкость 53 байта. Эта ёмкость поделена на поле заголовка длиной 5 байт и поле нагрузки (сегмент пользователя) длиной 48 байт. Заголовок содержит идентификаторы ячеек, принадлежащих одному соединению, виртуальному пути VPI (Virtual Path Identifier) и виртуальному каналу VCI (Virtual Circuit Identifier). Благодаря этим идентификаторам ячейки в общем потоке различаются при демультиплексировании и коммутации. В коммутаторах для выполнения коммутаций все идентификаторы прописываются в виде таблиц маршрутизации, по которым входящие ячейки идентифицируются и транслируются на нужные выходы с последующим мультиплексированием в новые потоки участка сети.

Уровень адаптации ATM выполняет функции интерфейса между транспортной сетью ATM с её виртуальными соединениями и пользователями транспортных услуг (вторичными сетями связи), например, телефонными сетями, сетью Интернет, локальными сетями Ethernet и т.д. При этом различным видам трафика определены различные типы уровневой адаптации AAL (ATM Adaptation Level, AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5), предусматривающие формирование различных по структуре сегментов для пользовательской нагрузки.

Модель транспортной сети OTN-OTN.

Модель транспортной сети OTN-OTN представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: сети OTN и пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней: среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTU_k (Optical Transport Unit-k) с включением в них блоков данных оптических каналов ODU_k (Optical channel Data Unit-k), которые, в свою

очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPUk (Optical Channel Payload Unit-k). Индекс k соответствует иерархической ступени OTN ($k = 1, 2, 3$) и указывает на различные по длительности, ёмкости и скорости передачи циклы.

Оптический канал в оптической сети выполняет при терминировании функции регенерации цифрового сигнала типа 3R, т.е. восстанавливает амплитуду импульсов (1R), их форму (2R) и устраняет накопленные фазовые дрожания (3R) (рисунок 2.3). Также производятся оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых данных в блоках OTUk и ODUk и т.д.

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN-OTN выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, ATM, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах. Это протоколы: общей процедуры формирования кадра GFP (Generic Framing Procedure), протокол защищаемого пакетного кольца или пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) и некоторые другие, рассматриваемые в следующей главе. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты ГР, MPLS или Ethernet.

Модель транспортной сети Ethernet.

Модель транспортной сети Ethernet состоит из двух уровней: уровень среды передачи кадров Ethernet и формирование кадров (пакетов) Ethernet.

Уровень среды передачи сети Ethernet может быть реализован на базе медных проводов, волоконных световодов, радиоканалов и атмосферных оптических каналов с использованием соответствующих конверторов сигналов (приёмопередатчиков), что характерно для локальных и городских сетей связи, и это наиболее экономичное решение относительно других моделей транспортных сетей. При организации связи на большие расстояния (например, более 100 км) уровень среды передачи может быть представлен транспортными сетями SDH, ATM, OTN или их сочетанием и использованием плезиохронной передачи PDH. В этом случае решение по транспортной сети не отличается от других моделей дешёвой. В этой модели, как и в других, на уровне среды передачи поддерживается тактовый и при необходимости цикловый синхронизм. Также возможна реализация функций защитных переключений на резервную среду передачи за интервал времени до 50 мс.

Логическим развитием модели транспортной сети Ethernet стала модель транспортной сети с пакетной передачей и коммутацией по меткам T-MPLS (Transport Multi-Protocol Label Switching — транспортная многопротокольная коммутация по меткам). Решения по этой технологии представлены рядом рекомендаций МСЭ-T:

- G.8110 — архитектура уровней сети MPLS;
- G.8110.1 — применение MPLS в транспортной сети;
- G.8112 — интерфейс между узлами сети MPLS;
- G.8121 — функции оборудования MPLS;
- Y.1720 (G.8131) — защитные переключения в сети MPLS;
- Y.17H — механизмы обслуживания и эксплуатации в сети MPLS.

Разработка этой модели нацелена на повышение эффективности использования ресурсов магистральных и внутризональных оптических транспортных сетей с технологиями циклической цифровой передачи: PDH, SDH и OTN. Кроме того, для местных и локальных сетей, где преобладает использование передачи Ethernet на скоростях 100, 1000 и 10000 Мбит/с, применение протокола T-MPLS позволит внедрить широкий спектр услуг по передаче речи (IP-телефония), видеоизображение (IPTV-телевидение), Интернет и т.д.

Лекция № 3. Системы передачи псевдосинхронной цифровой иерархии (PDH)

Цель лекции: изучение основных особенностей цифровых систем передачи, термины и определения. Оборудование цифровых систем передачи. Классификация ЦСП.

Принцип работы систем передачи с ВРК. Принцип построения МСП с ВРК.

Метод ВРК применяется для передачи дискретных и аналоговых сигналов. Возможность передачи непрерывных периодических сигналов отдельными их значениями, взятыми в определенные моменты времени основывается на теореме В.А.Котельникова, согласно которой непрерывный сигнал с ограниченным спектром f определяется своими мгновенными значениями, взятыми через интервал времени, т.е. $T \leq 1/2f_{\max}$. При передаче информации с ВРК необходимо обеспечить синхронную работу генераторных устройств (ГО) передающей и приемной станций. Необходимо, чтобы ключи соответствующих каналов на приеме открывались в момент поступления импульсов данного канала.

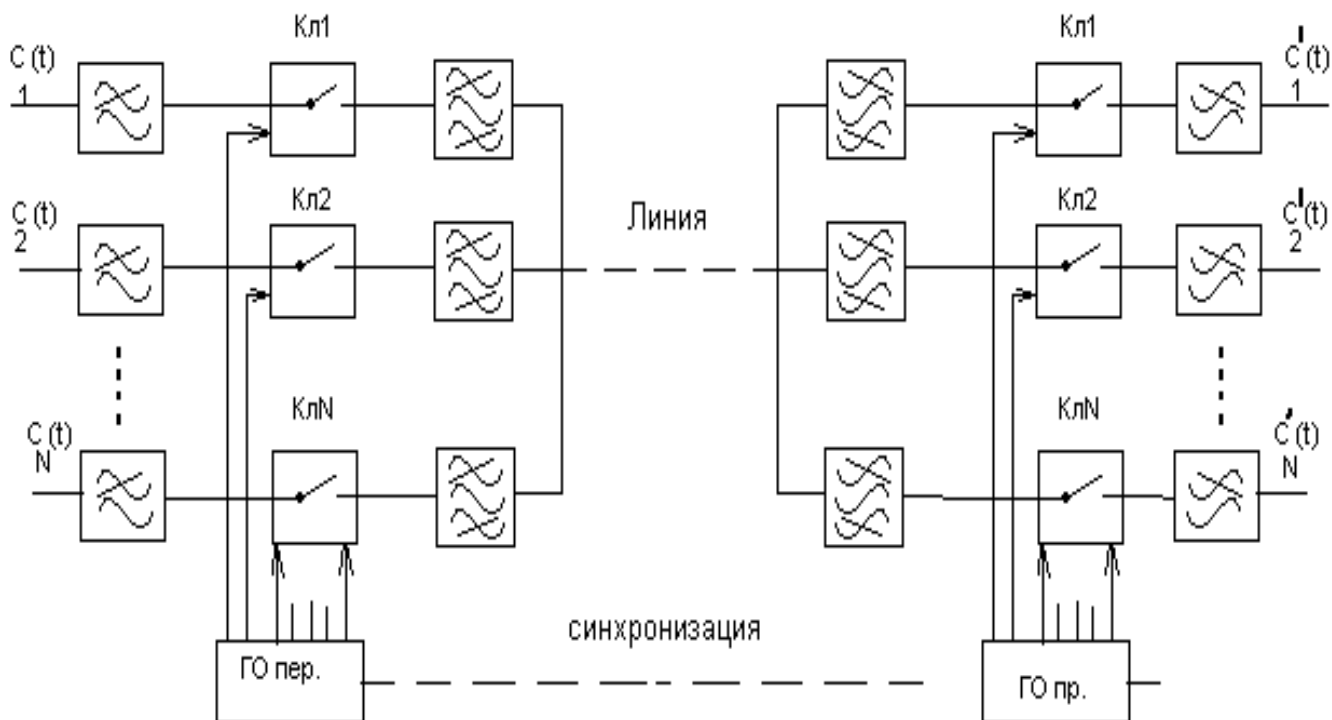


Рисунок 3.1 – Многоканальная система передачи с ВРК

Исходный сигнал $C(t)$ пропускается через ФНЧ, чтобы ограничить его спектр. После сигнал подается на электронный ключ, замыкание которого осуществляется по сигналу с РИК, и данный канал на время длительности импульса подключается к линейному тракту (сети). И в результате кратковременного замыкания ключа получаем АИМ сигнал, промодулированный нашим сигналом. Ключами других каналов управляет импульсная последовательность такой же частоты дискретизации f_d , но сдвинутая во времени относительно импульсной последовательности первого канала. На приемной стороне приемника синхросигналов (ПрСС) выделяется этот импульс, и он подается на РИК. После электронного ключа (ЭКл) получается АИМ сигнал соответствующего канала. Помехозащищенность такой СП ВРК весьма низка, т.к. помеха изменяет амплитуду сигнала, непосредственно внося искажения. Поэтому для цепи повышенной помехозащищенности ВРК с АИМ в чистом виде не используется, а используются другие формы модуляции. В цифровых системах передачи используется импульсно-кодовая модуляция (ИКМ).



Рисунок 3.2 – Схема цикла передачи

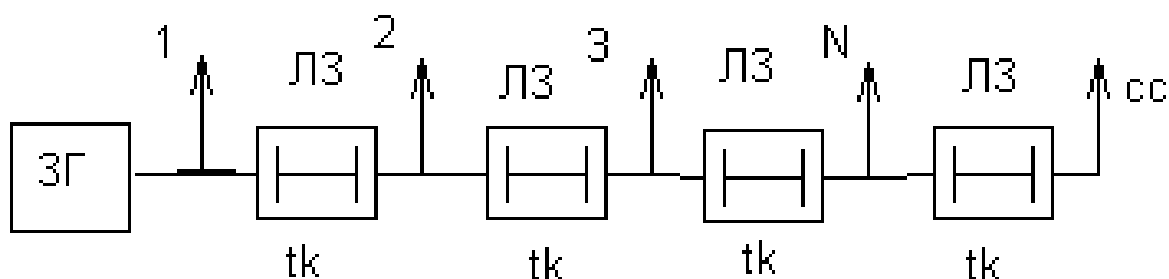


Рисунок 3.3 – Распределитель импульса каналов (РИК)

РИК организуется с помощью линии задержки. Основными элементами являются линии задержки (ЛЗ) с отводами. На приеме ключ соответствующих каналов должен работать синхронно с ключами передатчика. Для обеспечения синхронности в линию передается синхросигнал, т.е. импульс, по каким-то параметрам отличающийся от импульса канального сигнала (информационный сигнал). Этот импульс формируется в формирователе СС и добавляется в цифровой тракт.

Импульсно-кодовая модуляция. Самый распространенный метод аналого-цифрового преобразования – это импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Преобразование аналогового сигнала в ИКМ осуществляется в три этапа:

1) *Дискретизация.* Аналоговый сигнал дискретизируется по времени в соответствии с теоремой Котельникова, при этом образуется последовательность отсчетов этого сигнала.

На приеме исходный сигнал выделяется фильтром нижних частот. Относительная ширина расфильтровки фильтра:

$$\delta = \frac{F_D - 2F_B}{F_B}. \quad (1)$$

Это возможно лишь в том случае, когда $(F_D - F_B)$ будет выше F_B .

В результате дискретизации мы получаем сигнал дискретный по времени и непрерывный по амплитуде. F_D должно быть немного больше $2 F_B$, поэтому $F_D = (2,2 \div 2,4) F_B$. Для цифровых систем передачи $F_D = 8$ кГц – стандартная частота.

2) *Квантование по уровню.* На втором этапе осуществляется квантование АИМ сигнала по амплитуде. При этом весь диапазон значений сигнала разбивается на допустимые уровни квантования. При этом интервал между двумя ближайшими уровнями квантования называют *шагом квантования* и обозначают Δ . На данном этапе импульсы квантованного по времени АИМ сигнала заменяются импульсами, амплитуда которых совпадает с ближайшим допустимым уровнем квантования.

Квантованный по амплитуде сигнал можно однозначно записать последовательностью цифр, характеризующих высоту импульсов этого сигнала в условных единицах (шагах квантования). Квантование сигналов сопровождается определенной погрешностью, которая тем меньше, чем меньше шаг квантования. Разность между исходным и квантованным сигналами называется *шумом квантования* ($\xi_{кв}$).

$$\xi_{кв}(t) = U(t) - U_{кв}(t). \quad (2)$$

Максимальная ошибка квантования не должна превышать половины шага квантования.

$$\xi_{кв \max} = \frac{\Delta}{2}. \quad (3)$$

3) *Кодирование.* На третьем этапе осуществляется преобразование многоуровневого цифрового сигнала в многоразрядный двоичный сигнал, т.е. ИКМ сигнал. При этом каждому импульсу многоуровневого сигнала, в зависимости от его амплитуды, ставится в соответствие кодовая комбинация, состоящая из m разрядов. Количество разрядов двоичного кода определяется числом амплитудных градаций M . Если максимальное значение кодируемого сигнала равно $U_{с \max}$, то:

$$M = \left(\frac{k U_{с \max}}{\Delta} \right) + 1, \quad (4)$$

где k равно 2 для двухполярного сигнала или равно 1 для однополярного сигнала.

Связь между числом разрядов m и числом возможных состояний M определяется соотношениями:

$$M=2^m, \quad (5)$$

$$m = \log_2 \left(\frac{kU_{\text{сmax}}}{\Delta} + 1 \right). \quad (6)$$

Множество используемых кодовых комбинаций называется *кодом*. Простейшим кодом является натуральный двоичный код, у которого кодовые комбинации представляют собой запись номера уровня квантования в двоичной системе счисления. Такая запись имеет вид:

$$L = a_{m-1} \cdot 2^{m-1} + a_{m-2} \cdot 2^{m-2} + \dots + a_0 \cdot 2^0, \quad (7)$$

где a принимает значения 0 или 1;

m – число разрядов в кодовой группе.

Такой код используется при кодировании однополярных сигналов.

Для двухполярных сигналов используется симметричный код, где старший знак разряда несет информацию о знаке.

Плезиохронная цифровая иерархия (PDH). Системы передачи с большим числом каналов строятся по принципу временного объединения цифровых потоков. При этом системы с большим числом каналов (системы высшего порядка) строятся на основе нескольких систем с меньшим числом каналов (системы низшего порядка), путем использования нескольких ступеней объединения, что позволяет применять в СП с ИКМ разной канальности типовое преобразовательное оборудование.

Скорость передачи цифровых потоков систем строго регламентируется. Скорость передачи группового сигнала V определяется как:

$$V = f_d \cdot m \cdot N, \quad (8)$$

где f_d - частота дискретизации (для канала ТЧ - 8 кГц);

N - число канальных интервалов в цикле (при расчетах полагают, что оно равно числу каналов ТЧ);

m - разрядность кодового слова.

Из формулы видно, что скорость передачи одного канала определяется как $V_{1к} = f_d \cdot m$, при условии, что $m = 8$, $V_{1к} = 64$ кБит/с.

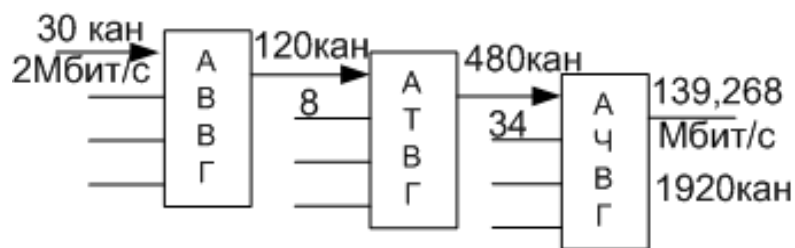


Рисунок 3.4 – Европейская плезиохронная иерархия

Основу плезиохронной цифровой иерархии составляют первичные цифровые потоки (ПЦП). В нашей стране в качестве первичной принята СП ИКМ-30 (30 - число каналов), со скоростью передачи ПЦП 2048 кБит/с.

Скорость вторичного цифрового потока (ВЦП) составляет 8448 кБит/с. Этот поток организуется путем объединения четырех ПЦП в аппаратуре вторичного временного группообразования (АВВГ), и соответственно содержит 120 каналов. Скорость третичного цифрового потока (ТЦП) равна 34,368 Мбит/с. Данный поток формируется путем объединения четырех ВЦП, с помощью аппаратуры третичного временного группообразования (АТВГ), и содержит 480 каналов. Скорость цифрового потока четверичных ЦСП равна 139,264 Мбит/с. Формируется данный поток, путем объединения четырех ТЦП с использованием аппаратуры четверичного временного группообразования (АЧВГ). Линейные сигналы всех ступеней ЦСП формируются соответствующей оконечной аппаратурой линейного тракта (ОЛТ). В таблице 2 представлены ступени иерархии ЦСП, соответствующие им скорости передачи и аппаратура.

Таблица 3.1 – Европейская плезиохронная иерархия

Ступени иерархии ЦСП	Условное обозначение	Скорость передачи, кбит/с	Количество каналов ТЧ	Аппаратура ЦСП	Участок сети
первичная	ПЦП	2048	30	ИКМ-30	ГТС
вторичная	ВЦП	8448	30x4 =120	ИКМ-120	ГТС ВЗ
третичная	ТЦП	34 368	120x4=480	ИКМ-480	МС ВЗС
четверичная	ЧЦП	139 262	480x4 =1920	ИКМ-1920	МС ВЗС

Примечание: ГТС-городская телефонная сеть; ВЗС - внутрizonовая сеть; МС - магистральная сеть.

Формирование линейного сигнала в ЦСП с ИКМ может быть осуществлено либо путем непосредственного кодирования, либо путем объединения нескольких ЦП низшего порядка.

Лекция № 4. Системы передачи с синхронной цифровой иерархией (SDH)

Цель лекции: изучение основных особенностей синхронной цифровой иерархией (SDH).

Цифровая иерархия SDH – это способ мультиплексирования различных цифровых данных в единый блок, называемый синхронным транспортным модулем (STM), с целью передачи этого модуля по линии связи [21]. Упрощенная структура STM показана на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Структура синхронного транспортного модуля STM-1

Модуль представляет собой фрейм (рамку) $9 \cdot 270 = 2430$ байт. Кроме передаваемой информации (называемой в литературе полезной нагрузкой), он содержит в 4-й строке указатель (Pointer, PTR), определяющий начало записи полезной нагрузки. Чтобы определить маршрут транспортного модуля, в левой части рамки записывается секционный заголовок (Section Over Head – SOH). Нижние $5 \cdot 9 = 45$ байтов (после указателя) отвечают за доставку информации в то место сети, к тому мультиплексору, где этот транспортный модуль будет переформировываться. Данная часть заголовка так и называется: секционный заголовок мультиплексора (MSOH). Верхние $3 \cdot 9 = 27$ байтов (до указателя) представляют собой секционный заголовок регенератора (RSOH), где будут осуществляться восстановление потока, «поврежденного» помехами, и исправление ошибок в нем.

Один цикл передачи включает в себя считывание в линию такой прямоугольной таблицы. Порядок передачи байтов – слева направо, сверху вниз (так же, как при чтении текста на странице). Продолжительность цикла

передачи STM-1 составляет 125 мкс, т.е. он повторяется с частотой 8 кГц. Каждая клеточка соответствует скорости передачи $8 \text{ бит} \cdot 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбит/с}$. Значит, если тратить на передачу в линию каждой прямоугольной рамки 125 мкс, то за секунду в линию будет передано $9 \cdot 270 \cdot 64 \text{ кбит/с} = 155520 \text{ Кбит/с}$, т.е. 155 Мбит/с.

Таблица 4.1 – Синхронная цифровая иерархия

Уровень иерархии	Тип синхронного транспортного модуля	Скорость передачи, Мбит/с
1	STM-1	155,520
2	STM-4	622,080
3	STM-16	2488,320
4	STM-64	9953,280

Для создания более мощных цифровых потоков в SDH-системах формируется следующая скоростная иерархия (таблица 4.1): 4 модуля STM-1 объединяются путем побайтного мультиплексирования в модуль STM-4, передаваемый со скоростью 622,080 Мбит/с; затем 4 модуля STM-4 объединяются в модуль STM-16 со скоростью передачи 2488,320 Мбит/с; наконец 4 модуля STM-16 могут быть объединены в высокоскоростной модуль STM-64 (9953,280 Мбит/с).

На рисунке 4.2 показано формирование модуля STM-16. Сначала каждые 4 модуля STM-1 с помощью мультиплексоров с четырьмя входами объединяются в модуль STM-4, затем четыре модуля STM-4 мультиплексируются таким же четырёхходовым мультиплексором в модуль STM-16. Однако существует мультиплексор на 16 входов, с помощью которого можно одновременно объединить 16 модулей STM-1 в один модуль STM-16.

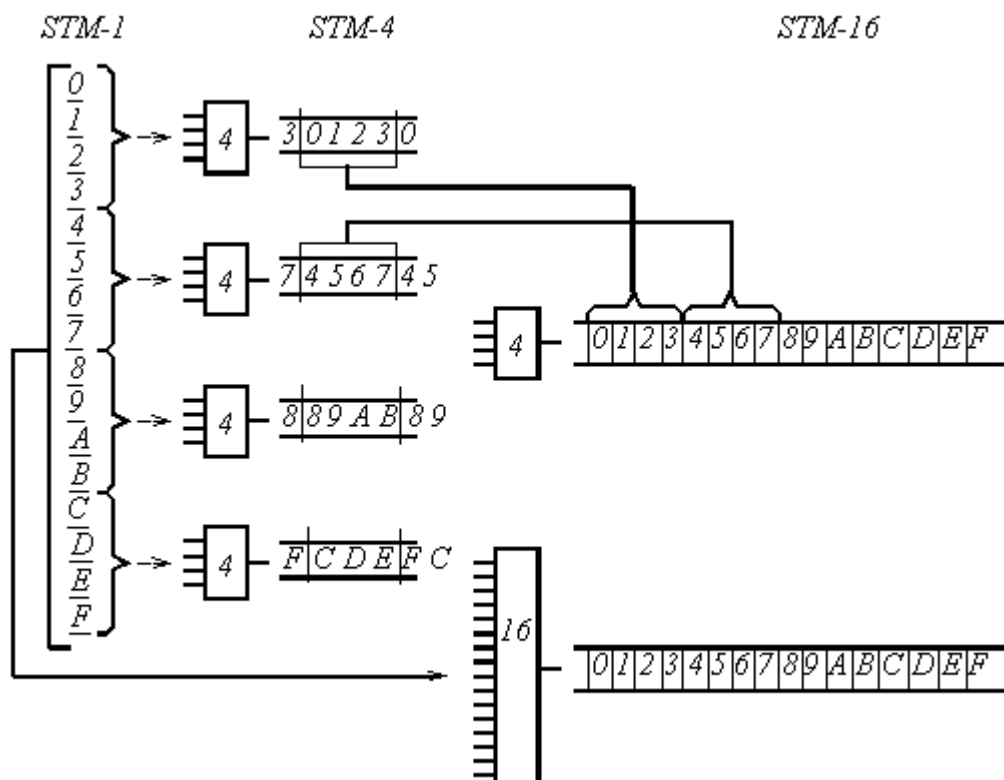


Рисунок 4.2 – Формирование синхронного транспортного модуля STM-16

Формирование модуля STM-1. В сети SDH применены принципы контейнерных перевозок. Подлежащие транспортировке сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах (Container – C). Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания, чем и достигается прозрачность сети SDH, т.е. способность транспортировать различные сигналы, в частности, сигналы PDH. Наиболее близким по скорости к первому уровню иерархии SDH (155,520 Мбит/с) является цифровой поток со скоростью 139,264 Мбит/с, образуемый на выходе аппаратуры плездохронной цифровой иерархии ИКМ-1920. Его проще всего разместить в модуле STM-1. Для этого поступающий цифровой сигнал сначала «упаковывают» в контейнер (т.е. размещают на определенных позициях его цикла), который обозначается C-4. Рамка контейнера C-4 содержит 9 строк и 260 однобайтовых столбцов. Добавлением слева еще одного столбца – маршрутного или трактового заголовка (Path Over Head – POH) – этот контейнер преобразуется в виртуальный контейнер VC-4.

Наконец, чтобы поместить виртуальный контейнер VC-4 в модуль STM-1, его снабжают указателем (PTR), образуя, таким образом, административный блок AU-4 (Administrative Unit), а последний помещают непосредственно в модуль STM-1 вместе с секционным заголовком SOH. Синхронный транспортный модуль STM-1 можно загрузить и плездохронными потоками со скоростями 2,048 Мбит/с. Такие потоки формируются аппаратурой ИКМ-30, они широко распространены в

современных сетях. Для первоначальной «упаковки» используется контейнер C12. Цифровой сигнал размещается на определенных позициях этого контейнера. Путем добавления маршрутного, или транспортного, заголовка (РОН) образуется виртуальный контейнер VC-12. Виртуальные контейнеры формируются и расформируются в точках окончания трактов.

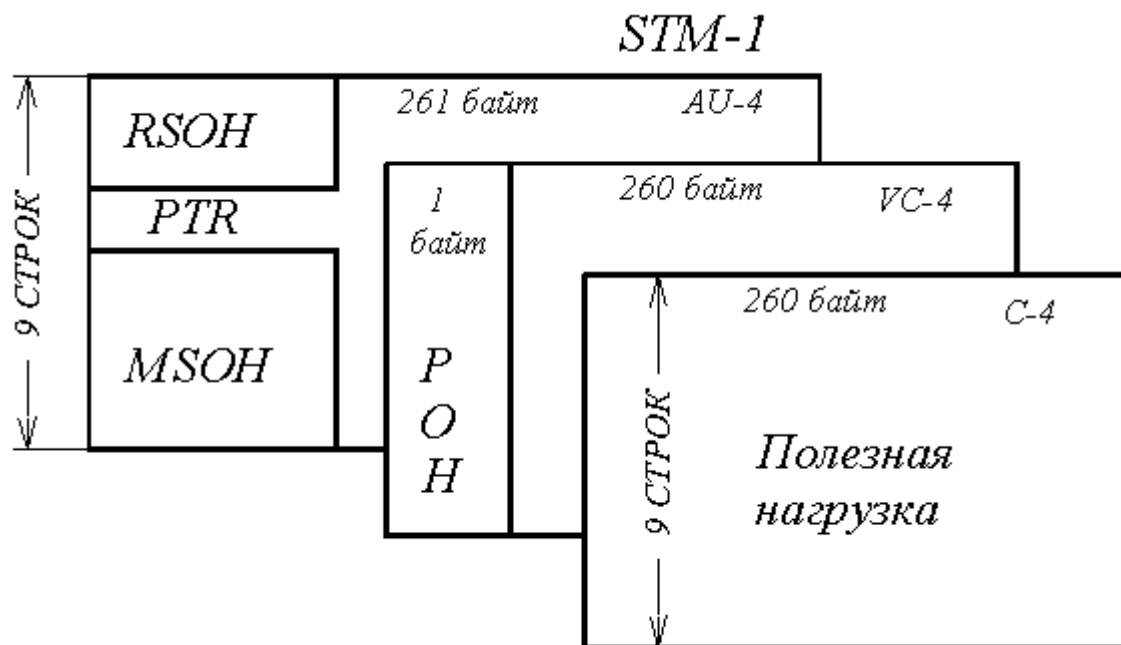


Рисунок 4.3 – Размещение контейнеров в модуле STM-1

В модуле STM-1 можно разместить 63 виртуальных контейнера VC-12. При этом поступают следующим образом. Виртуальный контейнер VC-12 снабжают указателем (PTR) и образуют тем самым транспортный блок TU-12 (Tributary Unit). Теперь цифровые потоки разных транспортных блоков можно объединять в цифровой поток 155,520 Мбит/с (рисунок 4.3). Сначала три транспортных блока TU-12 путем мультиплексирования объединяют в группу транспортных блоков TUG-2 (Tributary Unit Group), затем семь групп TUG-2 мультиплексируют в группы транспортных блоков TUG-3, а три группы TUG-3 объединяют вместе и помещают в виртуальный контейнер VC-4. Далее путь преобразований известен.

Лекция № 5. Схема мультиплексирования SDH и базовые элементы

Цель лекции: изучение схемы мультиплексирования SONET/SDH и базовых элементов.

На рисунке 5.1 показан также способ размещения в STM-N, $N=1,4,16$ различных цифровых потоков от аппаратуры плезиохронной цифровой иерархии. Плезиохронные цифровые потоки всех уровней размещаются в контейнерах C с использованием процедуры выравнивания скоростей (положительного, отрицательного и двухстороннего).

Наличие большого числа указателей (PTR) позволяет совершенно четко определить местонахождение в модуле STM-N любого цифрового потока со скоростями 2,048; 34,368 и 139,264 Мбит/с. Выпускаемые промышленностью мультиплексоры ввода-вывода (Add/Drop Multiplexer – ADM) позволяют ответвлять и добавлять любые цифровые потоки.

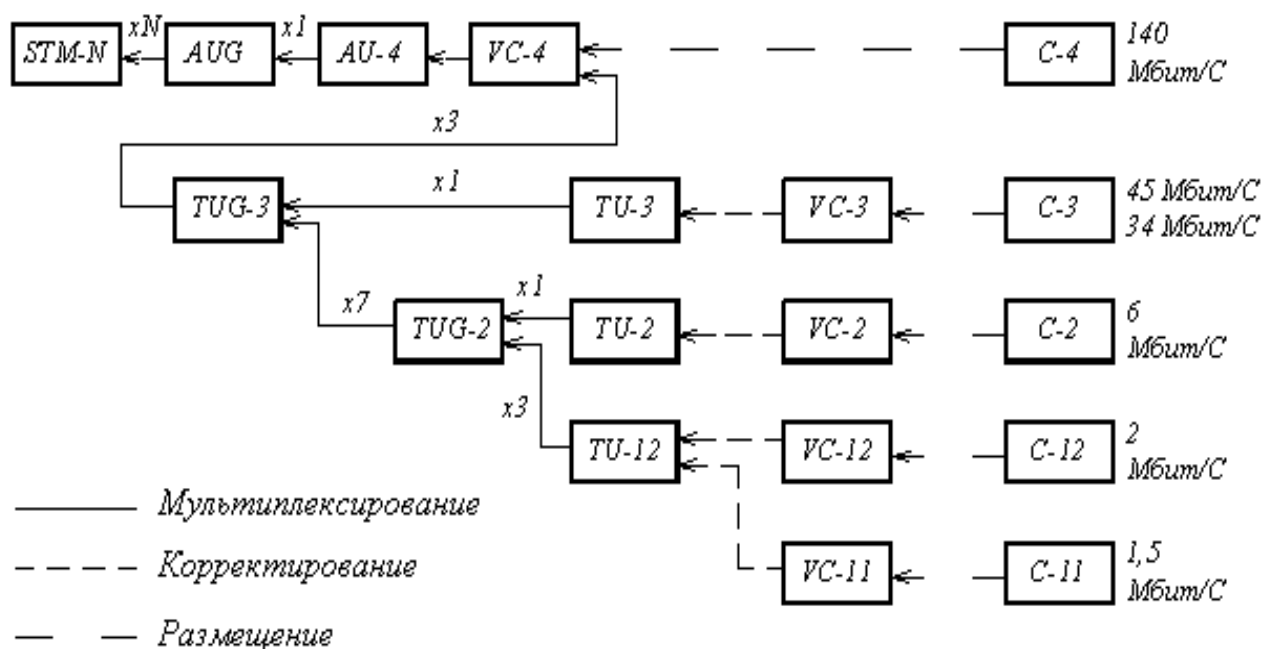


Рисунок 5.1 – Ввод плезиохронных цифровых потоков в синхронный транспортный модуль STM-N

Важной особенностью аппаратуры SDH является то, что в трактовых и сетевых заголовках, помимо маршрутной информации, создается много информации, позволяющей обеспечить наблюдение и управление всей сетью в целом, осуществлять дистанционные переключения в мультиплексорах по требованию клиентов, осуществлять контроль и диагностику, своевременно обнаруживать и устранять неисправности, реализовать эффективную эксплуатацию сети и сохранить высокое качество предоставляемых услуг.

Основным отличием системы SDH от системы PDH является переход на новый принцип мультиплексирования. В системе SDH производится синхронное мультиплексирование/демультиплексирование, которое позволяет организовывать непосредственный доступ к каналам PDH, которые передаются в сети SDH. На рисунке 5.2 показаны КМ - коммутационный модуль, ИГ - интерфейсные группы.

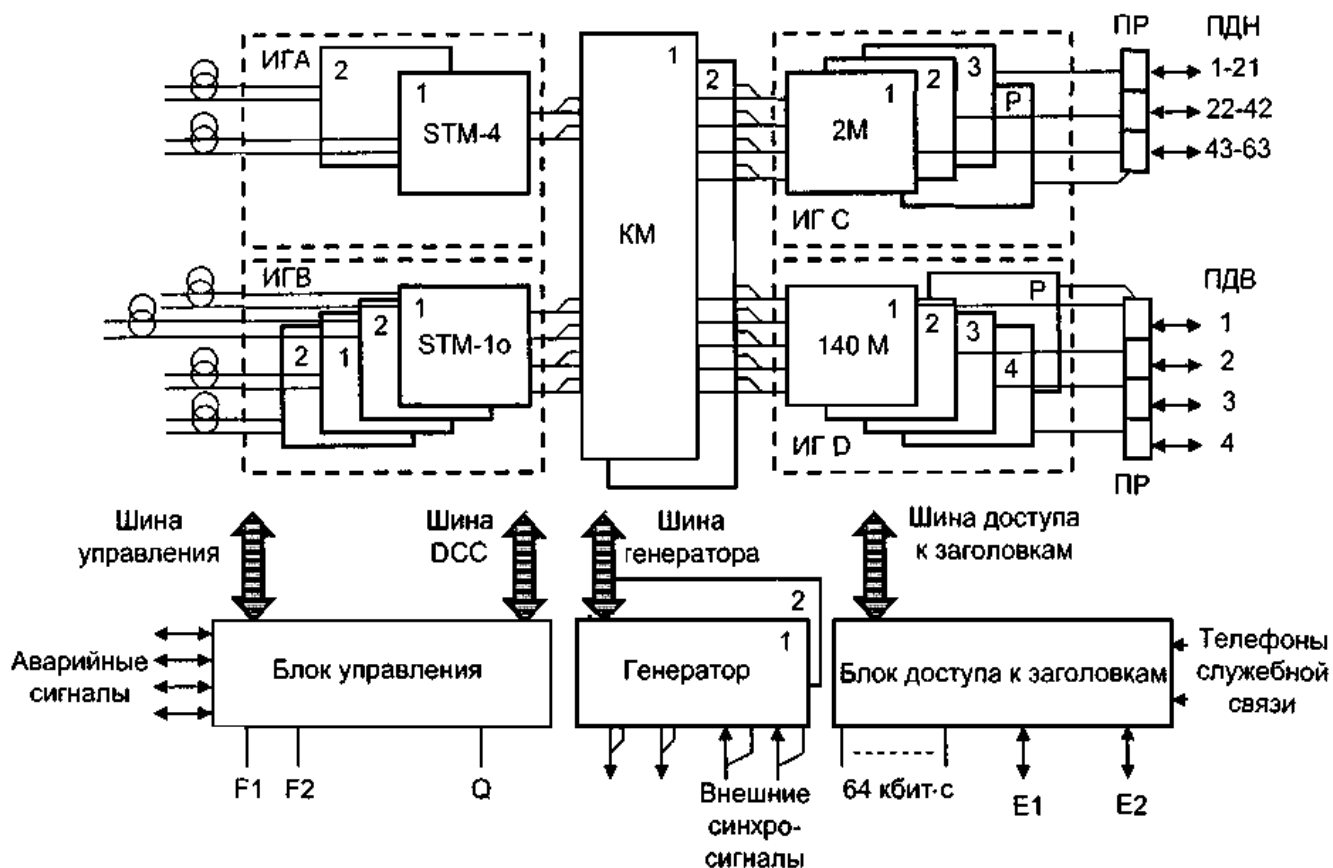


Рисунок 5.2 – Структурная схема синхронного мультиплексора модульной конструкции

Компоненты NG SDH. Принято считать, что система SDH относится к новому поколению, если она включает поддержку следующих компонент:

- общая процедура разбиения на кадры (General Framing Procedure, GFP), которая обеспечивает адаптацию асинхронного трафика данных на основе кадров переменной длины к байт ориентированному трафику SDH с минимальными задержками и избыточностью заголовков; ITU-T G.7041;
- виртуальная конкатенация (Virtual Concatenation, VCAT) обеспечивает возможность объединения на логическом уровне нескольких контейнеров VC-12, VC-3 или VC-4 в один канал передачи данных. ITU-T G.707, G.783;

- схема регулировки емкости канала (Link Capacity Adjustment Scheme, LCAS) позволяет реализовать любые изменения пропускной способности без прекращения передачи данных. ITU-T G.7042.

Протокольное решение GFP. Технология GFP по определению МСЭ-Т обеспечит более эффективное использование ресурсов транспортных сетей для доставки данных нереального времени. Она находится в одном ряду с АТМ, но поддерживает передачу кадров переменной емкости (рисунок 5.3).

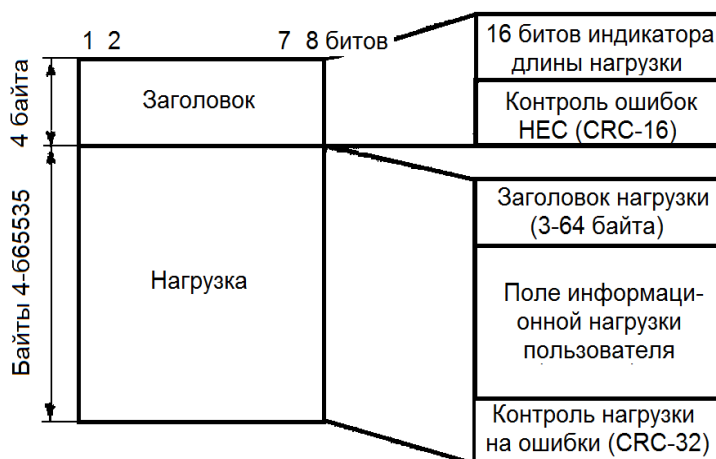


Рисунок 5.3 – Формат кадра GFP

Формат кадра GFP может указывать на различное назначение:

- пользовательские с передачей трафика и управления в интересах пользователя;

- управление с кадрами технического обслуживания, управление и эксплуатация (OAM, Operation, Administration, Maintenance), т.е. скрытые от пользователя функции и свободные кадры.

Кроме того, кадр GFP предусмотрен для реализации двух возможностей передачи: прозрачной GFP-T (Transparented) и с отображением кадра пользователя GFP-F (Frame mapped).

Поле заголовка кадра GFP представлено четырьмя байтами. Поле индикатора длины протокольного пользовательского блока данных PLI (PDU Length Indicator) указывает число в двоичном коде, соответствующее объему пользовательской нагрузки. Минимальная величина этого поля — 4 байта. Объем поля PLI составляет 16 битов.

Процессы формирования кадров GFP представлены на рисунке 5.4. Для индикации дефектных состояний тракта GFP используются сигналы:

- повреждение тракта TSF (Trail Signal Fail), который обнаруживается на уровне секций SDH или OTN;

- повреждение обслуживания — пропадания/ошибки сигнала сервера (SSF, Server Signal Failure), формируемый на уровне сборки и разборки кадра;

- повреждение сигнала пользователя CSF (Client Signal Fail) как результат образования одного из двух указанных выше сигналов.

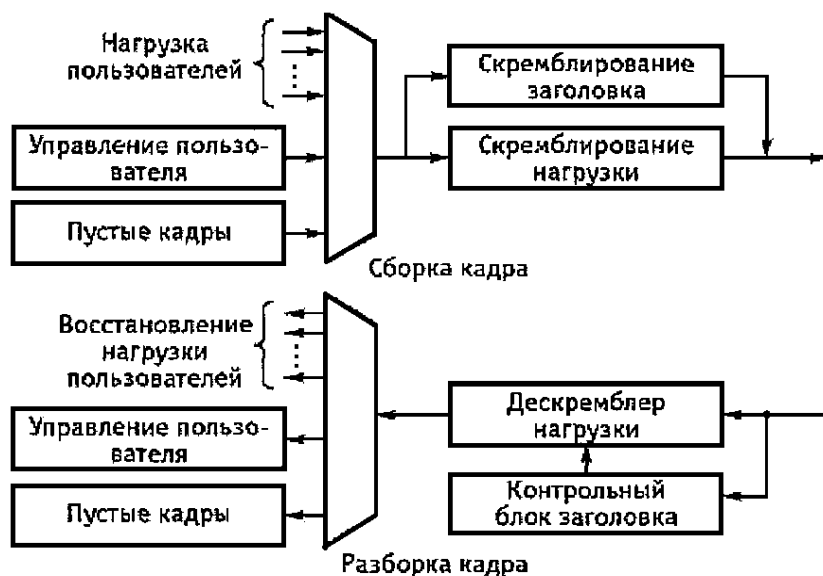


Рисунок 5.4 – Процессы формирования GFP

Кадры GFP подразделяются на два типа: GFP-F, GFP-T (рисунок 5.5). Кадры GFP-F применимы в большей степени к пакетам данных разного типа и разной длины. Кадры GFP-F предполагают кодирование для передачи сигналов в формате 8B10B. Примерами нагрузки GFP-F могут служить пакеты IP/PPP и кадры GbE.

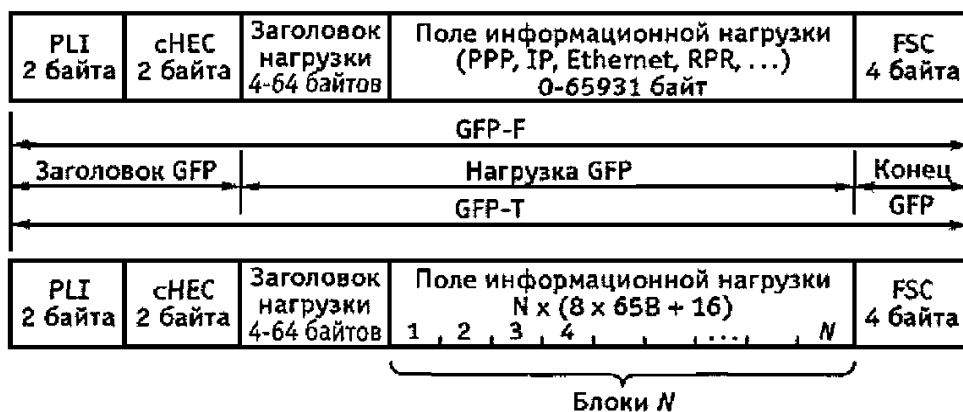


Рисунок 5.5 – Отличительные признаки GFP-F и GFP-T

Кадры GFP-T загружаются данными одного пользователя с эффективным суперблоковым преобразованием, где нагрузка представлена Л'хБУ-байтовыми суперблоками, где каждому 65-байтовому блоку придается код CRC-16. На рисунке 5.5 приводится содержимое нагрузки кадров GFP-F и GFP-T.

Для кодирования пользовательских данных в GFP-T применяется код 64В/65В, который преобразует данные из кода 8В10В. Нагрузка представлена в битовом измерении.

Лекция № 6. Основные принципы построения сети АТМ

Цель лекции: изучение основных принципов построения сети АТМ.

Исторически разработка принципов АТМ — асинхронного режима передачи (*Asynchronous Transfer Mode*) была связана с развитием *ISDN*. Такое развитие было обусловлено развитием прикладных задач, например, высокоскоростных местных сетей (*LAN*) и высококачественного телевидения, которые требовали более высоких скоростей, чем те, что предоставляли службы *ISDN*. Однако разработка широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (*Broadband ISDN* — *BISDN*) привела к созданию метода передачи, который резко отличался от узкополосной *ISDN* (*Narrow ISDN* — *NISDN*), известной как асинхронный режим передачи (*Asynchronous Transfer Mode*). АТМ объединяет возможности двух технологий — коммутации пакетов и коммутации каналов. АТМ преобразует все виды нагрузки в поток ячеек (*cell*) длиной 53 байта. Как показано на рисунке 6.1, ячейка состоит из 48 байтов полезной нагрузки и 5 байтов заголовка, который позволяет передавать эту ячейку по сети. Метод АТМ ориентирован на соединение с пакетным способом коммутации, который обеспечивает заданное качество обслуживания (*QoS* - *Quality of Service*). АТМ рассчитана на высокие скорости передачи, а также на различные виды нагрузки: равномерный поток нагрузки, пульсирующая (пачечная) нагрузка и другие промежуточные типы.

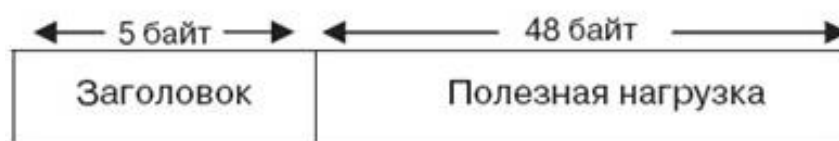


Рисунок 6.1 – АТМ-ячейка

Эталонная модель протоколов BISDN. Эталонная модель протоколов *BISDN* показана на рисунке 6.2. Модель содержит три плоскости: плоскость пользователя (*U-plane*), плоскость управления (*C-plane*) и плоскость менеджмента — административного управления (*M-plane*). Плоскость пользователя (*U-plane*), включает в себя передачу и прием всех видов данных, обеспечение управления потоком и защиту от ошибок. Она имеет уровневую структуру.

Плоскость управления (*C-plane*) содержит совокупность протоколов, используемых для сигнализации при установлении, контроле и разъединении соединения. Она имеет уровневую структуру.

Плоскость менеджмента (M-plane) включает в себя две плоскости: административное управление уровнями плоскостей и управление плоскостями.

Функции управления уровнями содержат совокупность протоколов, координирующих:

- 1) работу C-U плоскостей;
- 2) распределения сетевых ресурсов;

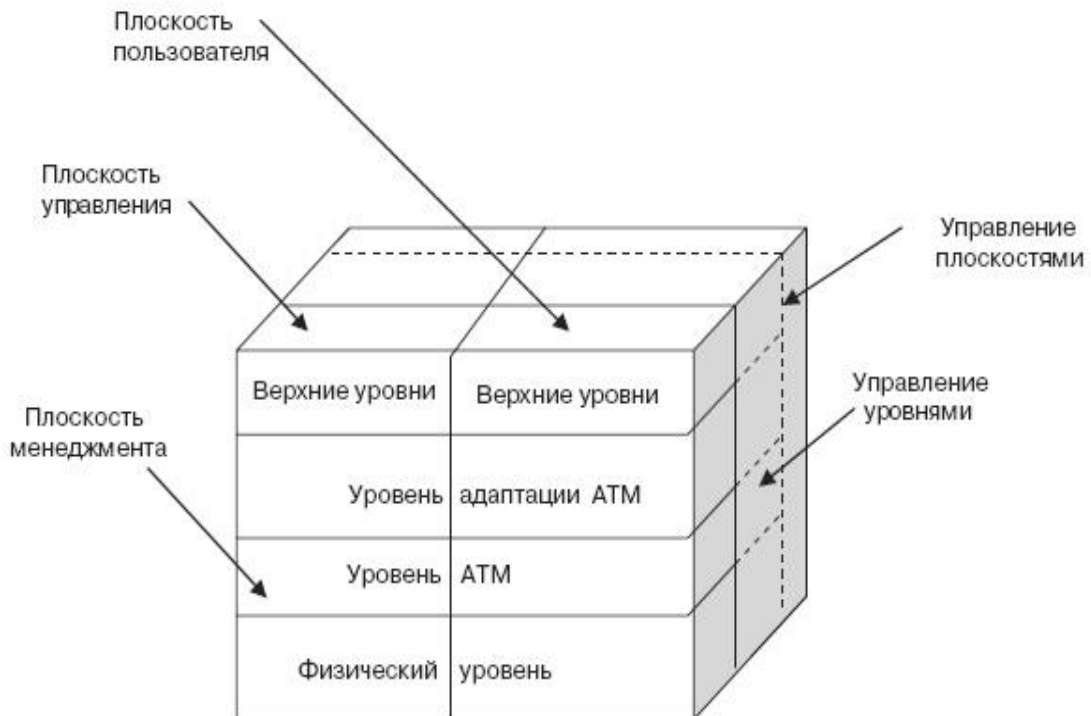


Рисунок 6.2 – Эталонная модель протоколов BISDN

- 3) согласования их с параметрами поступающей нагрузки;
- 4) координации работ по обработке эксплуатационной информации и технического обслуживания.

Плоскость пользователя имеет три основных уровня для поддержки пользовательских приложений: физический, адаптации *ATM*, уровень *ATM*. Уровень адаптации *ATM* (*ATM Adaptation Layer — AAL*) имеет несколько типов, функции которых определяются различными классами нагрузки пользователя. Уровень адаптации преобразует блоки данных пользователя (*SDU — Service Data Unite*) в 48-байтовые блоки, которые переносятся *ATM*-ячейками. На рисунке 6.3 показана информация, генерируемая различными приложениями: передача речи, передача данных, передача видео.

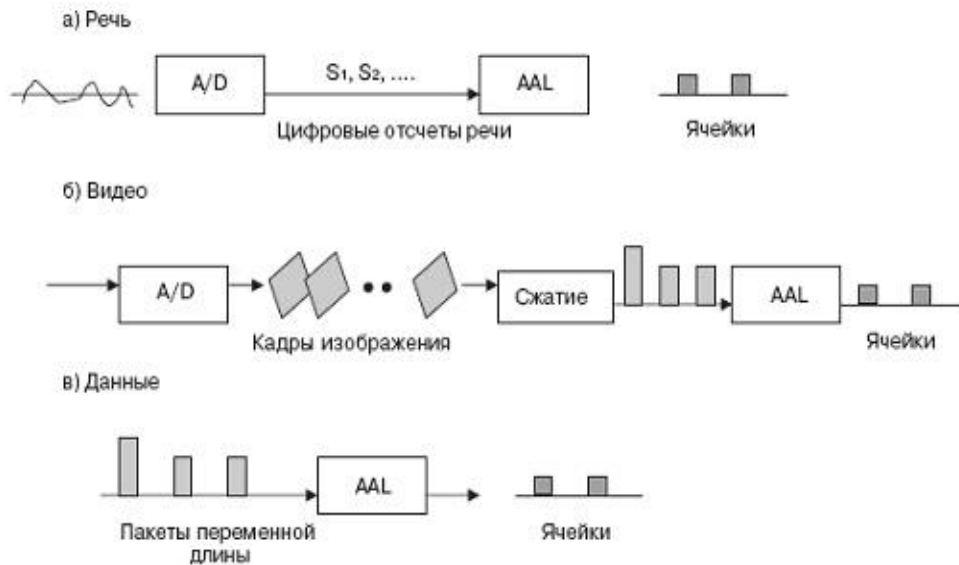


Рисунок 6.3 – Преобразование различной информации на уровне AAL

На рисунке показаны источники, порождающие различные типы нагрузки:

- 1) регулярный поток, который поступает от преобразователя аналоговой информации в цифровые отсчеты (A/D);
- 2) кадры изображения, которые после сжатия представляют собой пакеты различной длины;
- 3) поток данных, который представляет собой поток пакетов с пульсирующей длиной.

Задача устройства уровня AAL: преобразовать информацию, разбить на блоки и предоставить для передачи через уровень ATM, который позволяет системе передать все характерные особенности данного приложения (например, тактовые последовательности). Можно отметить, что функции AAL могут размещаться в оконечном оборудовании, а другие функции — выполняться сетью, как это показано на рисунке 6.4.

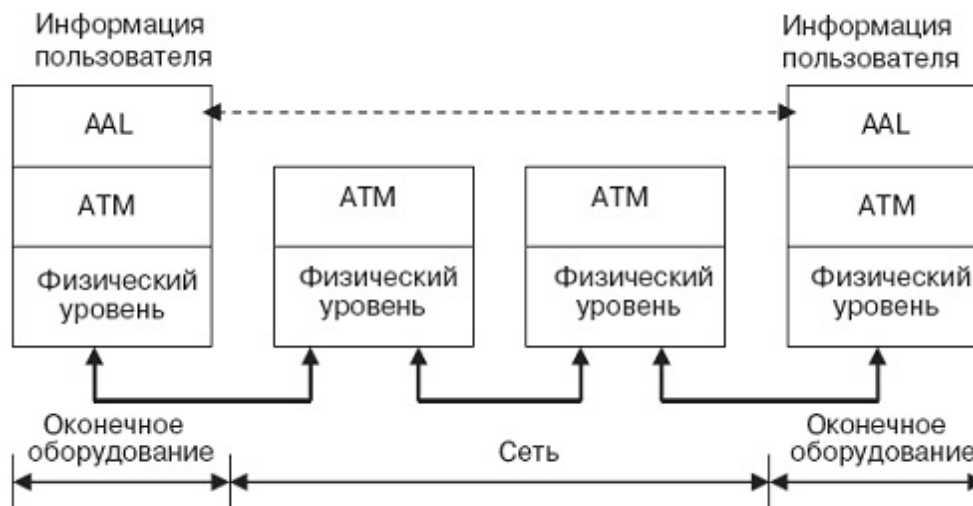


Рисунок 6.4 – Размещение уровней на плоскости пользователя

ATM-уровень занимается только последовательной передачей *ATM-ячеек*, полученных от уровня *AAL*, в установленном *по* сети соединении (установлением соединения занимается *плоскость* управления). *ATM-уровень* принимает 48-байтовые блоки информации от *AAL* и дополняет их 5-байтовым заголовком, формируя ячейку (*ATM*). Заголовок содержит метку, которая определяет свойства устанавливаемого соединения и используется коммутатором для определения следующего участка пути, а также типа приоритета.

ATM может обеспечить различное *качество обслуживания* разным соединениям. Это оговаривается до предоставления услуги специальным соглашением между пользователем и поставщиком услуг, которое называется контрактом на услуги (*service contract*). *Пользователь* вырабатывает требования, которые определяются предоставляемой им нагрузкой и коэффициентом качества (QoS) при установлении связи. Если *сеть* может предоставить требуемое качество, то контракт устанавливает гарантированный QoS, пока *пользователь* выполняет все характеристики установленного трафика. Механизм ведения очереди и расписания в *ATM-коммутаторах* обеспечивает возможность поставки информации с заданным QoS. Для того чтобы доставить информацию с предписанным QoS, *ATM-сети* используют механизм наблюдения. Он будет рассмотрен далее.

В соответствии с числом подключаемых пользователей в данной сети режим *ATM* поддерживает два типа соединений: «точка-точка» и «точка - много точек». Связь «точка - точка» может быть однонаправленной или двунаправленной. В последнем случае для каждого направления может быть установлено свое QoS. Связь «точка - много точек» всегда однонаправленная и устанавливается от одного пользователя ко многим пользователям. По времени удержания соединения пакетная технология *ATM* обеспечивает постоянное *виртуальное* соединение (*Permanent Virtual Connection - PVC*) и

коммутируемые виртуальные соединения (*Switch Virtual Connection — SVC*). *PVC* работает как постоянная, арендованная между сторонами пользователей линия. Точки соединения устанавливаются сетевым менеджером. При *SVC* оконечные точки задаются в момент инициализации вызова *по* запросу пользователей.

SVC устанавливается посредством процедур обмена сигналами. Исходящий *пользователь* должен взаимодействовать с сетью с помощью интерфейса «*пользователь-сеть*» (*User-Network Interface — UNI*). *Запрос* на установление соединения распространяется *по* сети и в конечном итоге включает в себя обмен *по* протоколу UNI между сетью и терминалом пункта назначения. В пределах одной сети станции взаимодействуют согласно интерфейсу «*сеть-сеть*» (*Network-Network Interface — NNI*). Станции, которые принадлежат разным сетям, взаимодействуют *по* интерфейсу широкополосной межсетевой связи (*Broad Band Intercarrier Interface — B-ICI*). Исходящий *терминал* и *терминал* оконечного пункта так же, как станции, участвующие в соединении *по* сети, обеспечивают своими ресурсами *качество обслуживания* соединения (*QoS*). *Плоскость* управления поддерживает функции сигнализации и управления сетевыми приложениями. Сигнализацию можно рассматривать как одну из прикладных задач, в которой оконечное оборудование и станции обмениваются сообщениями верхнего уровня, необходимыми для установления соединения. *Плоскость* управления, так же, как и *плоскость* пользователя, имеет три базовых уровня. Уровень *адаптации сигнализации* для плоскости управления предназначен для того, чтобы обеспечить достоверный обмен сообщениями между *ATM-системами*. Протоколы высокого уровня для этой плоскости предназначены для поддержки интерфейсов «*пользователь-пользователь*» (*UNI*), «*сеть-сеть*» (*NNI*), широкополосной межсетевой связи (*B-ICI*).

Лекция № 7. Оптические транспортные сети

Цель лекции: изучение оптических транспортных сетей.

Классификация WDM на основе канального плана.

Схема расширенного канального плана позволяет предложить следующую схему классификации, учитывающую современные взгляды и тенденции выделять три типа мультиплексоров WDM:

- 1) обычные WDM – МРДВ;
- 2) плотные WDM (DWDM) – ПМРДВ;
- 3) высокоплотные WDM (HDWDM) – ВПМРДВ.

Системы WDM – системы с частотным разносом каналов не менее 200 ГГц, позволяющие мультиплексировать не более 16 каналов, системами DWDM – системы с разносом каналов не менее 100 ГГц, позволяющие мультиплексировать не более 64 каналов, системами HDWDM – системы с

разносом каналов 50 ГГц и менее, позволяющие мультиплексировать не менее 64 каналов.

Технология оптической транспортной сети OTN-OTN.

Оптическая транспортная сеть OTN (Optical Transport Network) на основе технологии мультиплексирования оптической транспортной иерархии OTN предназначена для построения транспортных магистралей с пропускной способностью до десятков Тбит/с. Это достигается сочетанием гибкого цифрового мультиплексирования стандартных циклических блоков, с одной стороны, и гибким построением оптических каналов и их мультиплексированием в управляемые оптические модули, с другой стороны.

Для реализации возможностей OTN-OTN Рекомендациями G.709 и G.798 МСЭ-Т предусмотрена иерархическая структура интерфейса (рисунок 7.1), которая повторяет, по существу, модель транспортной сети OTN-OTN.

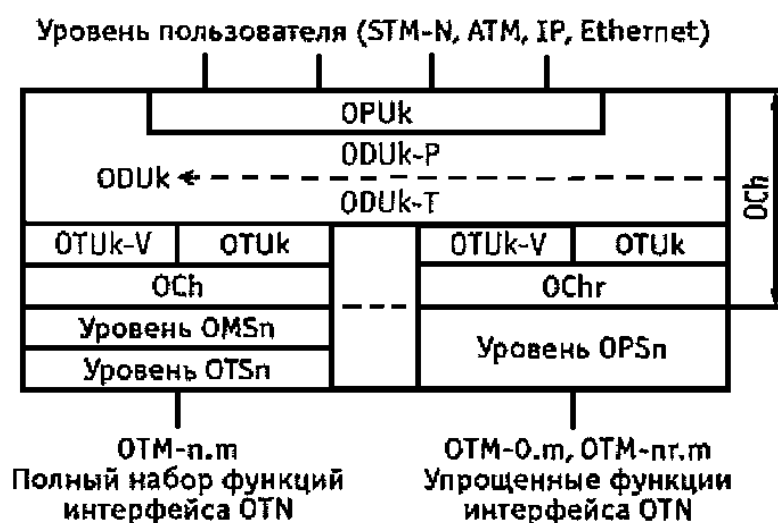


Рисунок 7.1 – Структура интерфейса OTN-OTN

Однако в структуре интерфейса подчеркнуты технологические решения для всех составляющих уровней сети OTN, в частности, представлены полный и упрощенный набор функций интерфейса при формировании оптического транспортного модуля OTM.

Для реализации функций интерфейса используется электронное и оптическое оборудование (рисунок 7.2), объединяемое в транспондерные (TPD) и оптические блоки (OMX) с оптической ретрансляцией R. Через транспондерные блоки реализуются функции уровня оптического канала OCh (Optical Channel).

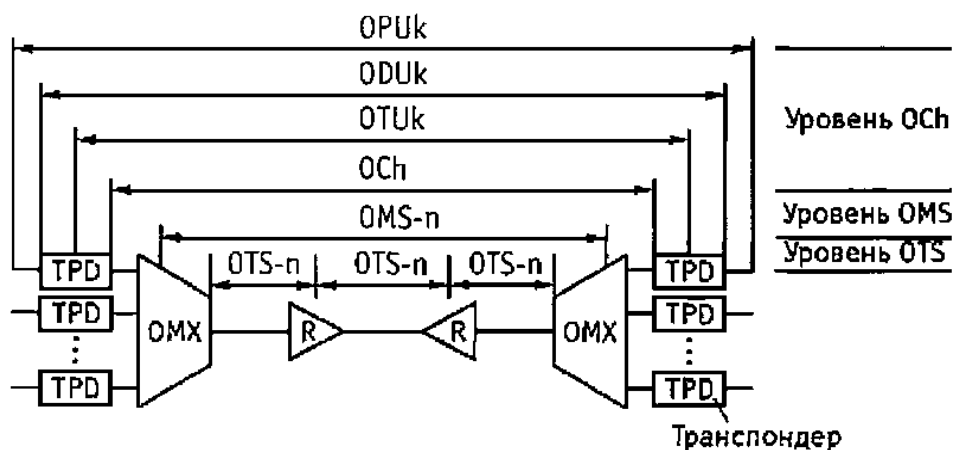


Рисунок 7.2 – Структура соединения в сети OTN-OTN

Уровень *OCh* обеспечивает формирование цифровых транспортных структур оптической транспортной иерархии через генерацию блоков для упаковки информации пользователя: OPU, ODU, OTU. Также уровень *OCh* обеспечивает преобразование электрических сигналов в оптические на передаче и обратную операцию на приеме с регенерацией амплитуды, формы и длительности импульсов сигнала (функции 3R). Рассмотрим компоненты структуры, представленной на рисунке 7.2.

OPUk (Optical channel Payload Unit-k) — блок нагрузки оптического канала порядка k , где $k \sim 1, 2, 3$. Эта циклическая информационная структура используется для адаптации информации пользователя к транспортировке в оптическом канале. Блок OPUk состоит из поля информационной нагрузки и заголовка.

ODUk (Optical Data Unit-k) — блок данных оптического канала порядка k , где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура состоит из поля информации OPUk и заголовка.

ODUk-P (ODUk Path) — блок данных оптического канала порядка k , поддерживающий тракт «из конца в конец» сети OTN.

ODUk-T (ODUk-TCM, ODUk Tandem Connection Monitoring) — блок данных оптического канала, поддерживающий наблюдение (мониторинг) парных (тандем-ных) соединений в сети OTN. Один блок ODUk-T допускает поддержку мониторинга до шести тандемных соединений.

OTUk (Optical Transport Unit-k) — оптический транспортный блок порядка k , где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура используется для транспортировки ODUk через одно или более соединений (кроссовые соединения в узлах) оптических каналов. Блок OTUk определен в двух версиях — OTUk-V и OTUk. Он рекомендован к применению на локальных участках OTN в полной и упрощенной формах исполнения.

OTUk-V характеризуется как частично стандартизированная структура, рекомендуемая для применения в составе оптического транспортного модуля OTM в полной форме исполнения. OTUk-V состоит из блока данных

оптического канала, заголовка для управления соединением оптического канала и поля исправления ошибок FEC (рисунок 7.3). Блок OTUk направляется на оптический модулятор, где формируются импульсные оптические посылки на определённой волне излучения. Волны излучения каждого OCh объединяются в оборудовании оптической секции мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section)

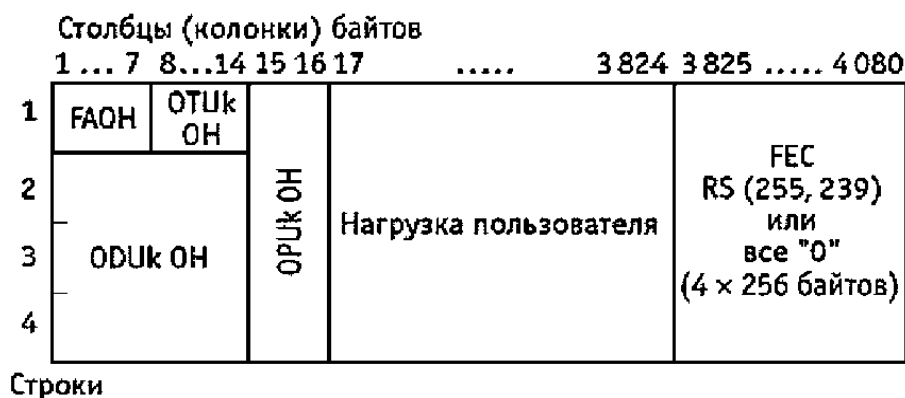


Рисунок 7.3 – Структура блока OTUk

На уровне оптической секции мультиплексирования OMS-*n* производится мультиплексирование/демультиплексирование *n* оптических каналов. Число $1 < n < 16$ указывает на оптические частоты, рекомендованные для передачи сигналов через волоконно-оптические линии в диапазоне 1260-1675 нм. В этом диапазоне возможно группирование оптических частот блоками из *n* в модули OTM-*n* для их последующей трансляции в оптических секциях OTS (Optical Transmission Section).

Таблица 7.1 – Иерархические скорости и циклы OTUk

OTUk	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости	Длительность цикла, мкс
OTU1	255/238 x 2 488 320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	48,971
OTU2	255/238 x 9 953 280		12,191
OTU3	255/238 x 39 813 120		3,035

Уровень оптической физической секции порядка *n* OPS-*n* (Optical Physical Section-*n*) предусмотрен для передачи многоволнового оптического сигнала через оптические среды разных типов (одномодовые волокна с характеристиками G.652, G.653, G.655, G.656). Порядок волновой передачи определен индексом «л», который может лежать в пределах $0 < n < 16$. В этом интерфейсе отсутствует волновой сервисный канал.

Схема мультиплексирования и упаковки оптической транспортной иерархии OTN отражает последовательность преобразований

информационных данных и оптических сигналов в интерфейсе OTN. Процедуры преобразований показаны стрелками. Блоки схемы, изображенные в виде прямоугольников, предназначены под упаковку цифровых данных. Блоки схемы, изображенные в виде овалов, предназначены для операций мультиплексирования.

В результате операций упаковки создаются адаптированные блоки цифровых данных OTU, которые передаются в оптических каналах. В результате операций мультиплексирования создаются групповые блоки цифровых данных ODTUG и групповые блоки оптических каналов OCG.

Лекция № 8. Сетевые элементы оптических транспортных сетей

Цель лекции: изучение сетевых элементов оптических транспортных сетей.

Под *сетевым элементом* принято понимать изделие с набором функций, которые обеспечивают взаимодействие в сети связи с другими аналогичными устройствами для организации соединений, их защиты, тестирования, управления и т.д.

Сетевой элемент может представлять собой электронный регенератор с оптическими интерфейсами, оптический усилитель, мультиплексор ввода-вывода SDH, OTN, мультиплексор ввода-вывода многоволновых сигналов OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) и т.д. В сетевом элементе могут находиться как различные линейные окончания (порты STM-N, WDM), так и пользовательские интерфейсы с электрическим и оптическим терминированием (E1, E3, E4, STM-N, Ethernet 1000, ATM и т.д.). Для надежного и эффективного взаимодействия сетевого элемента в сети он оснащается средствами управления и синхронизации. Сетевой элемент должен иметь еще и надежное электропитание, и служебную связь, и сигнализацию.

Терминальные мультиплексоры. Терминальные мультиплексоры совмещают реализации различных транспортных технологий: SDH, ATM, OTN-OTN, Ethernet, T-MPLS и др.

Терминальный мультиплексор с функциями портов Ethernet. Мультиплексор SDH с функциями портов Ethernet — явление техники нового поколения — мультисервисных сетей связи.

Применение процедуры GFP-F позволяет гибко согласовывать передачу данных Ethernet 100, Ethernet 1000 с циклами SDH, представленными виртуальными контейнерами VC-X-Xv, например, 1 Гбит/с Ethernet в GFP-F и VC-4-7v, т.е. передачу в виртуально сцепленные семь контейнеров VC-4. При этом может быть поддержана функция регулировки емкости канала LCAS.

Интерфейсы Ethernet в составе аппаратуры SDH выполняются одиночными и групповыми (по 4, 8, 12 окончаний). Групповые подключения часто реализуют и функции коммутатора пакетов Ethernet. Это позволяет поддерживать соединения типа «точка-точка» и пакетное кольцо с общим

доступом. Кроме того, интерфейсы Ethernet могут поддерживать функции маршрутизаторов пакетов IP с определенными показателями качества. Пример конструктивного размещения интерфейсов Ethernet в оборудовании SDH приведен на рисунок 4.7.

Таким образом, терминальный мультиплексор SDH, оснащенный портами Ethernet, можно считать сетевым элементом мультисервисной транспортной сети. Обозначение этого типа сетевого элемента приведено на рисунок 4.8.

Необходимо также отметить, что для размещения данных Ethernet в сети SDH МСЭ-Т предусмотрел вариант стыка с формированием блока 64В/66В, в котором к кадру Ethernet присоединяются блоки сопровождения, и этот кадр кодируется блочно 64В/66В с последующей вставкой на скорости 10 Гбит/с в STM-64. Это решение предусмотрено для Ethernet 10 Гбит/с.

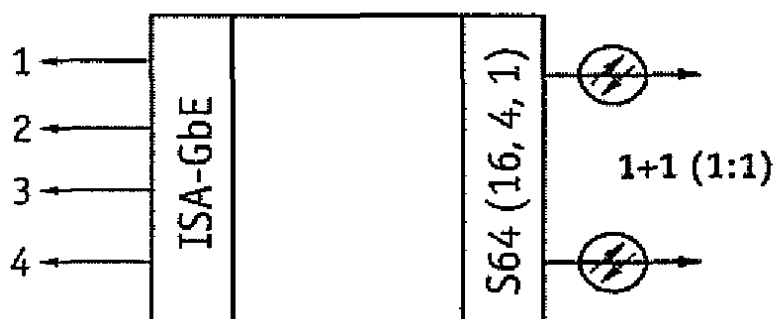


Рисунок 8.1 - Терминальный мультиплексор с функциями портов Ethernet

Терминальный мультиплексор с функциями портов ATM. Для поддержки функций мультисервисных пакетных сетей на основе режима асинхронной передачи ATM в составе мультиплексоров SDH возможно применение модулей интегрированных сервис-адаптеров для создания и поддержки виртуальных путей и каналов ATM. В состав модулей входят: адаптеры на несколько портов ATM, например, 16 портов, 32 порта; кросс-матрица ATM для поддержки виртуальных соединений, например, 8192 VP/VC-соединений; средства поддержки определенного качества услуг с постоянной, переменной и не специфицированной скоростью передачи информационных данных. Через порты могут вводиться/выводиться данные на скоростях от 2 Мбит/с до 622 Мбит/с согласно Рекомендации 1.432 МСЭ-Т. В циклах SDH данные ATM в виде ячеек по 53 байта размещаются одна за одной в VC-12, VC-3, VC-4. При этом для сети ATM поддерживается любая конфигурация (точка-точка, звезда, кольцо).

Пример обозначения сетевого элемента SDH с функциями портов и коммутаторов ATM приведен на рисунок 8.2.

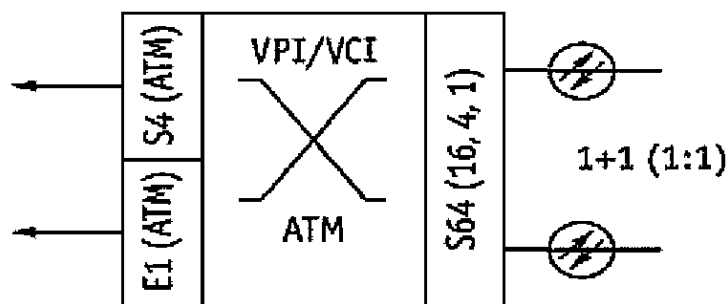


Рисунок 8.2 - Терминальный мультиплексор с функциями портов ATM

Необходимо отметить, что интерфейсы SDH (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64) чаще выполняются в коммутаторах ATM для мультисервисных сетей. Вариант размещения интерфейсов ATM в составе сетевого элемента SDH применяется для доступа и концентрации потока нагрузки в виде ячеек ATM.

Терминальный мультиплексор с функциями портов OTN. Для сопряжения транспортных сетей SDH и OTN-OTN в мультиплексорах предусматриваются возможности по согласованной передаче циклов OTN (ODU1 и ODU2) через циклы сцепляемых виртуальных контейнеров VC-4-Xv. Так, для переноса блоков данных оптического канала ODU1 требуется сцепленный виртуальный контейнер VC-4-17v. Для переноса блока данных оптического канала ODU2 требуется сцепленный виртуальный контейнер VC-4-68v. То есть взаимодействие сетей OTN и SDH возможно только на уровне STM-64. Схема обозначения этого взаимодействия приведена на рисунок 8.3.

Другой вариант взаимодействия в сетевом элементе предусматривает сочетание функций OTN-SDH в ином порядке, т.е. размещение STM-N ($N = 16, 64, 256$) в структуре OTN (OPUk, ODUk, OTUk, OTM-n.m). При этом возможна реализация функций защиты всего многоволнового сигнала, состоящего из модулей OTM-n.m ($n < 16, m = 1; 2; 3 (1,2; 1,3; 2,3; 1,2,3)$), защиты каждого отдельного оптического канала с нагрузкой OTUk ($k = 1, 2, 3$), с соединением сети SDH через коммутатор волновых каналов OCh или через коммутатор блоков ODUk.

Пример обозначения сетевого элемента этого типа приведен на рисунке 8.4. В этом примере указаны возможности по мультиплексированию A, где $i < n, n = 1...16$. Линейный порт с числом волновых каналов до 16 может иметь 100-процентную защиту линии.

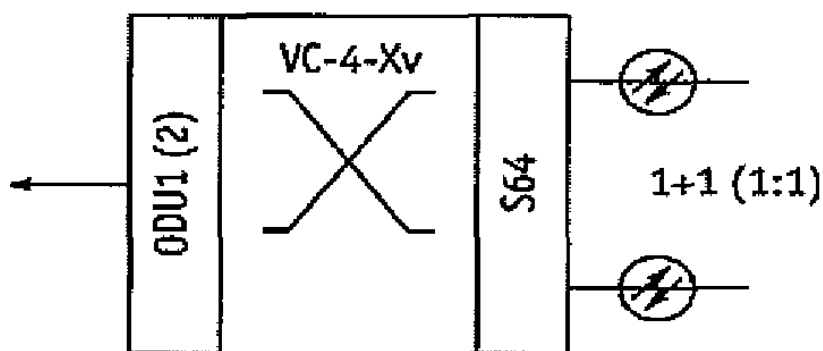


Рисунок 8.3 – Сетевой элемент SDH, сопрягаемый с сетью OTN

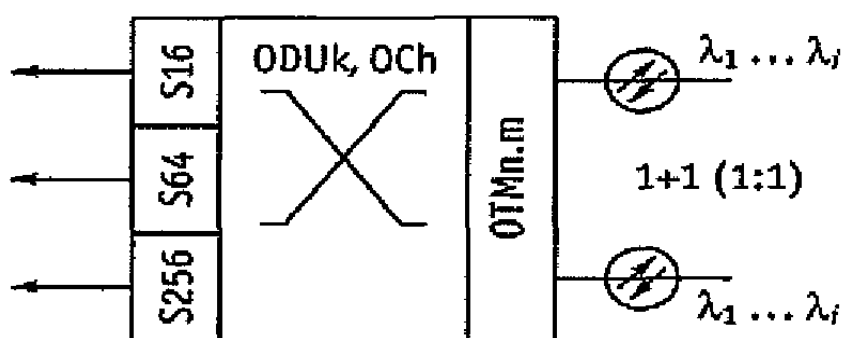


Рисунок 8.4 – Сетевой элемент OTN-OTN, сопрягаемый с сетью SDH

Мультиплексоры вывода/ввода ADM с электрическими и оптическими окончаниями. Мультиплексоры вывода/ввода ADM (Add-Drop Multiplexer) — наиболее распространенный вид оборудования для построения сетевых элементов транспортных сетей. Возможности вывода/ввода создают предпосылки для построения различных архитектур транспортных сетей. При этом ключевыми составляющими сетевых элементов являются кроссовые коммутаторы, линейные (агрегатные) интерфейсы, защитные функции секций и трактов, пользовательские интерфейсы, блоки синхронизации и управления.

Возможности матриц электрической кроссовой коммутации ADM позволяют обеспечить доступ к отдельным компонентным потокам высокого или низкого порядков (VC-4, VC-12) или ко всем компонентным потокам. Вывод одного или нескольких компонентных потоков с последующим терминированием на интерфейсе пользователя (например, E1 или Ethernet) может сопровождаться запретом на ввод компонентного потока в формируемый STM-N для продолжения использования временных ресурсов этого цикла.

Управление в ADM тесно связано с управлением группы ADM в сети. На рисунке 8.5 представлен пример обозначения ADM.

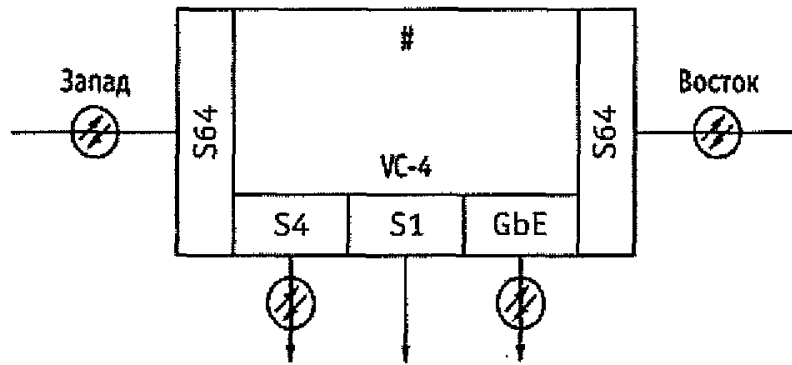


Рисунок 8.4 – Обозначение ADM уровня STM-64

Мультиплексор ADM имеет обозначение линейных интерфейсов как западного и восточного. Пользовательские (компонентные) интерфейсы имеют оптические (S4, Ethernet 1000) и электрические (S1) окончания. Мультиплексор может включаться в линейные и кольцевые сети. При этом полный комплект агрегатов может обеспечить защиту секций мультиплексирования с запада и востока (рисунок 8.6).

Ресурсная емкость мультиплексора ADM определяется возможностями агрегатных интерфейсов. Например, если ADM имеет два линейных интерфейса STM-16, то эквивалентное число максимально доступных интерфейсов пользователя уровня E1 составит 2016. В сравнении с терминальным мультиплексором в два раза больше.

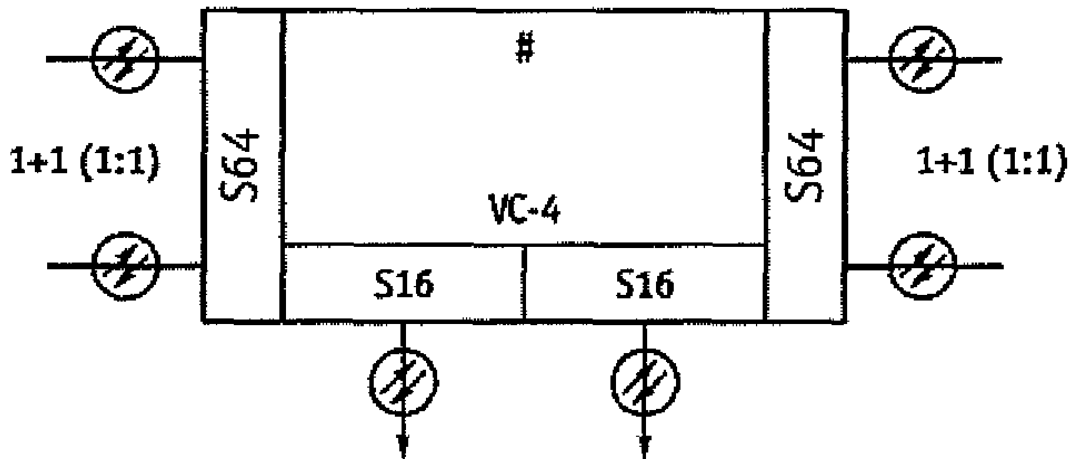


Рисунок 8.6 – Мультиплексор ADM с защитой линейных интерфейсов

Мультиплексоры ADM аналогично мультиплексорам TM включаются в сети ASON и в сети с многоволновой передачей WDM. Пример схемы включения ADM и OADM приведен на рисунке 8.7. В этой схеме формируется доступ к отдельным оптическим каналам (на волнах X_1 и X_2) с

терминированием части информационных потоков в мультиплексоре ADM (E1, E3).

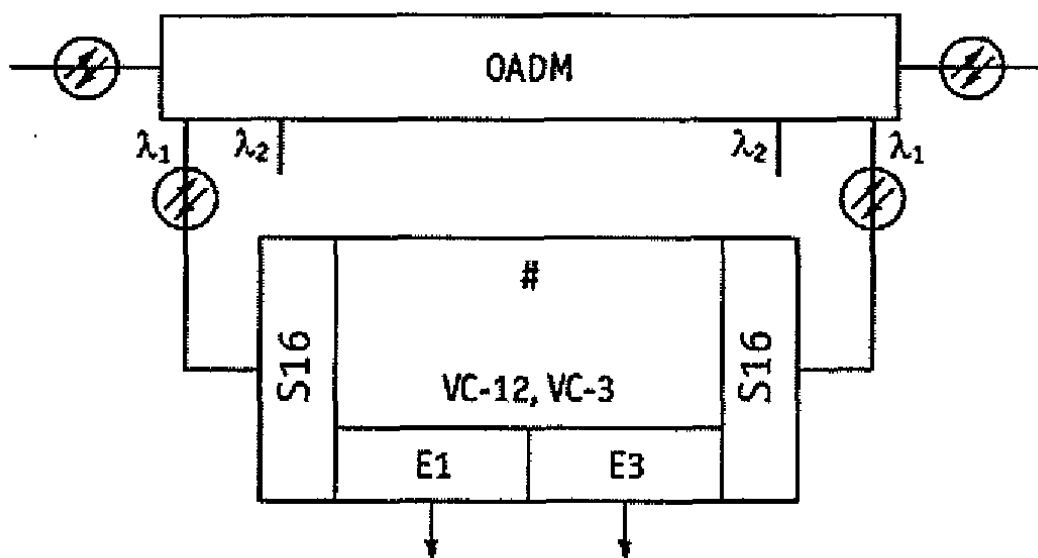


Рисунок 8.7 – Мультиплексор ADM и оптический мультиплексор OADM

Лекция № 9. Синхронизация, управление и защита в транспортных сетях связи

Цель лекции: изучение систем синхронизации и управления в транспортных сетях связи.

Синхронизация в транспортных сетях. Обработка цифровых сигналов в различных системах (передачи, коммутации, мультиплексирования и т.д.) должна выполняться в строгой последовательности во времени и синхронно. Приемник цифровых сигналов должен всегда работать синхронно с передатчиком. Только это условие, выполненное полностью, способствует безошибочной передаче цифровых данных. Следовательно, такты импульсной передачи, создаваемые передатчиком, должны синхронизировать работу приемника. Проблема тактовой синхронизации обнаруживается на стыке цифровых систем (систем передачи и систем коммутации), имеющих самостоятельные тактовые механизмы. Частоты fi и $u/2$ могут не совпадать. Кроме того, такты записи и считывания могут расходиться по фазе. Фазы тактов частот fi и $u/2$ могут дрейфовать во времени. Изменение фаз с частотой выше 10 Гц получило название джиттера. Изменение фаз с частотой менее 10 Гц получило название блуждания или вандера.

В результате различия частот и фаз тактов записи данных в буферную память и их считывания могут появиться лишние временные посылки, которые переполняют буфер и будут утеряны, таким образом может образоваться их недостаток, который приведёт к ложному считыванию из

буфера неопределённых посылок. В конечном счете, это может привести к сбою на более высоких уровнях цифровой обработки. Например, нарушается последовательность данных слов синхронизации по циклам, по сверхциклам, разрушаются синхронизирующие последовательности пакетов данных сетей: АТМ, Ethernet и других. В свою очередь это может приводить к потере части информационных сообщений, ухудшению качества услуг связи. Явление пропуска или повторения битов в считываемом из буфера цифровом сигнале на стыке систем получило название проскальзывания (Slip).

Проскальзывания делятся на два типа:

- *управляемые проскальзывания*, которые не приводят к сбою циклового синхронизма, и при этом сигнал с потерями восстанавливает синхронизм;

- *неуправляемые проскальзывания*, которые приводят к потере циклового синхронизма и невосполнимым потерям в цифровом сигнале.

Качество услуг G.801. Нормы на проскальзывания G.822 Модель цепи синхронизации G.803. Нормы на оборудование SDH G.957,G.958.Нормы на генераторы (G.811,G.812,G.813) .Нормы на джиттер и вандер (G.823,G.825)

Режим работы сети тактовой сетевой синхронизации

Рекомендацией МСЭ-Т G.803 определены четыре режима работы сети синхронизации: синхронный; псевдосинхронный; плезиохронный; асинхронный.

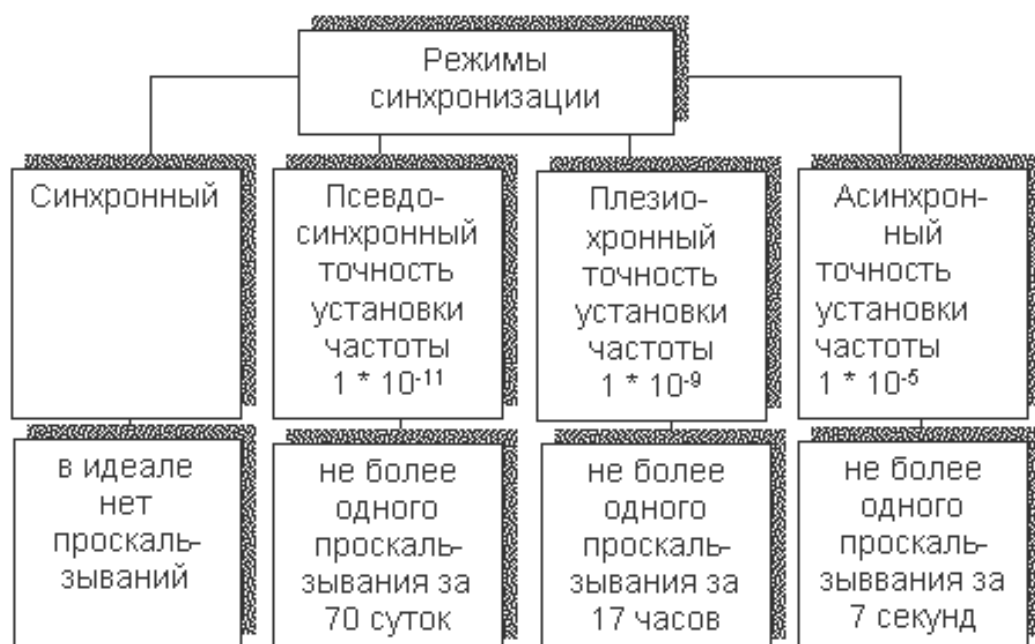


Рисунок 9.1 – Режимы синхронизации

Управление в транспортных сетях. Управление транспортной сетью относится к задачам, определенным общей концепцией управления сетями электросвязи, которая получила название сети управления

телекоммуникациями TMN (Telecommunications Management Network). В этой концепции Международного союза электросвязи разработаны стандарты на построение систем управления сетями связи. Стандарты управления опубликованы в виде рекомендаций МСЭ-Т серии M.3xxx.

Сеть управления (СУ), согласно концепции TMN, обеспечивает функции управления для сетей телекоммуникаций и услуг этих сетей (рисунок 9.1). Кроме того, разработаны различные концепции СУ для телекоммуникационных систем предприятий, ведомств, объединений, которые исповедуют принципы платформенного управления средствами простого протокола управления сетью SNMP (Simple Network Management Protocol), протокола общей архитектуры брокера объектных запросов CORBA (Common Object Request Broker Architecture) и др.

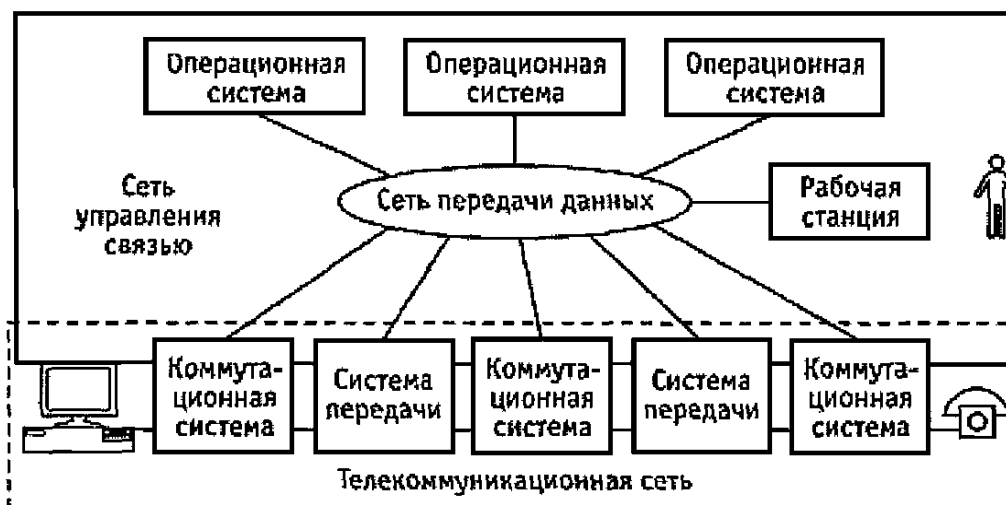


Рисунок 9.2 – Взаимосвязь сети управления и управляемой сети

Сеть управления самостоятельна по отношению к управляемой сети. Взаимодействие сетей реализуется через интерфейсы коммутационных станций, систем передачи и пользовательских терминалов. Для этой цели предусмотрены отдельные каналы передачи данных. В сети SDN используются каналы на основе байтов заголовков секций регенерации и мультиплексирования (байты D1.. D3 образуют канал DCCr со скоростью 192 Кбит/с в заголовке RSON, байты D4...D12 образуют канал DCCm со скоростью 576 Кбит/с в заголовке MSON). В оптической сети OTN-OTN используются каналы на основе байтов заголовков OTUk и ODUk (два байта GCC в заголовках OTU1, OTU2, OTU3 и по два байта GCC1, GCC2 в заголовках ODU1, ODU2, ODU3 поддерживают скорости передачи соответственно 326,723, 1312,405, 5271,864 Кбит/с). В транспортных сетях на основе технологий ATM и Ethernet также организуются каналы передачи данных управления, однако эти каналы виртуальные, т.е. образованы случайным потоком ячеек или кадров и имеют переменную скорость передачи. При этом информация управления записывается в поля нагрузки

ячеек и кадров, а в заголовках ячеек и кадров указывается сетевой адрес элемента сети или адрес узла управления.

Концепцией TMN предусмотрено иерархическое построение системы управления, которое имеет пирамидальную форму (рисунок 9.2)



Рисунок 9.3 – Пирамида управления TMN

Самый нижний уровень «Сетевые элементы» — это управляемая сеть со всеми ее сетевыми элементами, их ресурсами и состояниями. Каждый вышележащий уровень управления имеет более высокую степень обобщения информации управления, чем лежащий ниже.

Уровень «Управление сетевыми элементами» включает в себя контроль, фиксацию параметров функционирования, техническое обслуживание, конфигурирование применительно к отдельным устройствам сети (например, оптическим мультиплексорам, базовым станциям сотовой связи, коммутаторам каналов или пакетов). Функции этого уровня, иногда называемого нулевым, могут быть выполнены с использованием графического терминала, стыкуемого непосредственно с сетевым элементом или удаленно, т.е. через сеть передачи данных.

Уровень «Управление сетью» обеспечивает охват функциями управления группы сетевых элементов, составляющих во взаимосвязи единую сеть со всеми ресурсами, например, оптическую транспортную сеть с секциями оптического мультиплексирования, оптическими или электрическими трактами, каналами, средствами резервирования и синхронизации.

Уровень «Управление услугами» поддерживает предоставление услуг электросвязи пользователям, т.е. в отличие от расположенных ниже

уровней нацелен на потребителей услуг связи. Ключевым фактором на этом уровне является обеспечение качества услуг, привлечение потребителей новыми услугами.

Уровень «Административное управление» предназначен для поддержки функционирования компании-оператора сети связи. На этом уровне решаются проблемы инвестиций, проектов развития, кадровое обеспечение, взаимодействие с другими операторами, органами государственного управления и т.д.

Лекция № 10. Транспортная технология MPLS

Цель лекции: изучение архитектуры мультипротокольной коммутации по меткам (MPLS - Multi-Protocol Label Switching).

Архитектура MPLS регламентируется в документе IETF «Multiprotocol Label Switching Architecture» (RFC3031).

В традиционных сетях IP, в общем случае, маршрутизация пакетов осуществляется на основе IP адреса назначения (destination IP address). Каждый маршрутизатор в сети обладает информацией о том, через какой интерфейс и какому соседу необходимо перенаправить пришедший IP-пакет.

В MPLS каждому IP-пакету назначается некая метка. Маршрутизаторы принимают решение о передаче пакета следующему устройству на основании значения метки. Метка добавляется в составе MPLS заголовка, который добавляется между заголовком кадра (второй уровень OSI) и заголовком пакета (третий уровень модели OSI) (рисунок 10.1).

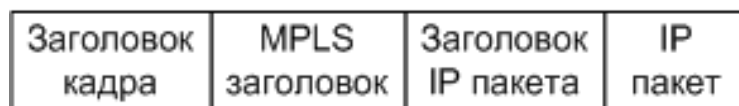


Рисунок 10.1 – Место MPLS заголовка в кадре

Формат MPLS заголовка представлен на рисунке 10.2



Рисунок 10.2 – Формат MPLS-метки

Описание полей MPLS-заголовка:

метка - собственно метка, по которой и осуществляется коммутация;
CoS – поле, описывающее класс обслуживания пакета (аналог IP precedence);

TTL - time-to-live - аналог IP TTL;

S - одному пакету может быть назначено несколько меток («стек» меток). S - поле-флаг, обозначающий то, что метка последняя в «стеке».

Пример изображён на рисунке 10.3

Заголовок кадра	MPLS заголовок №3	MPLS заголовок №2	MPLS заголовок №1	Заголовок IP пакета	IP пакет
--------------------	----------------------	----------------------	----------------------	------------------------	-------------

Рисунок 10.3 – Пример назначения стека меток

В рамках архитектуры MPLS различают следующие типы устройств:

1) LSR - Label-Switch Router - маршрутизатор, поддерживающий коммутацию по меткам и традиционную IP-маршрутизацию.

2) Edge LSR - маршрутизатор, подключённый к устройствам, не осуществляющим коммутацию по меткам (устройства могут, используют другую политику маршрутизации или вообще не поддерживают MPLS).

3) MPLS domain - MPLS-домен - группа соединённых устройств, осуществляющих коммутацию по меткам, находящихся под единым административным подчинением и функционирующих в соответствии с единой политикой маршрутизации. MPLS домен образуется LSR-ами, а на границе домена размещаются устройства E-LSR.

4) LSR выполняет два процесса: маршрутизации и коммутации по меткам. Процесс маршрутизации функционирует на базе внутреннего протокола маршрутизации (например, OSPF). Процесс маршрутизации получает маршрутную информацию от соседей и формирует таблицу маршрутизации. Таблица маршрутизации используется для маршрутизации обыкновенных IP-пакетов.

Процесс коммутации функционирует на базе протокола обмена метками между соседями (Label Distribution Protocol). Протокол обмена метками согласует конкретные значения меток для создания целостных маршрутов коммутации по меткам (LSP). Процесс коммутации по меткам при составлении таблиц коммутации использует также таблицу IP-маршрутизации. Взаимосвязь процессов коммутации по меткам и IP-маршрутизации приведена на рисунке 10.4.

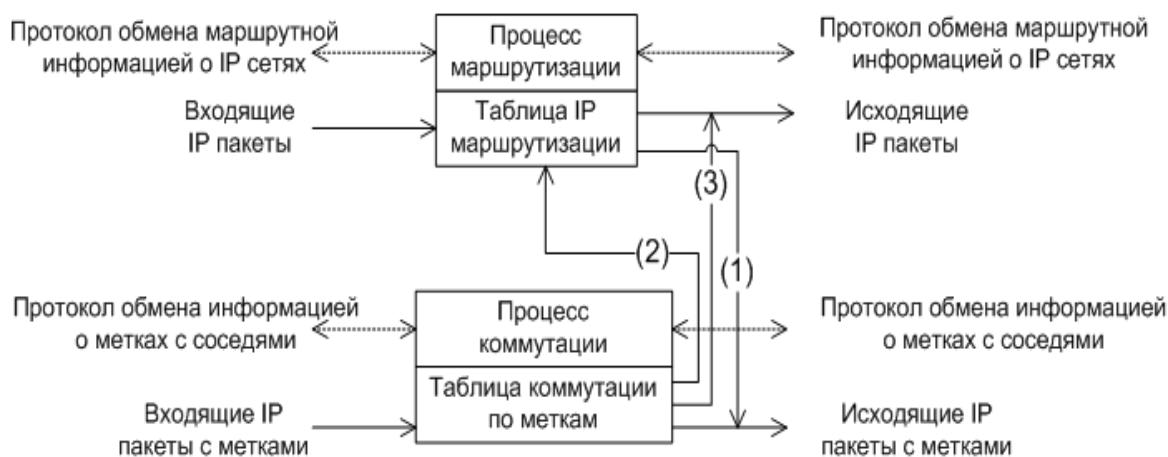


Рисунок 10.4 – Взаимосвязь процессов MPLS-коммутации и IP-маршрутизации на LSR/E-LSR

Таблица 10.1 – Основные функции выполняемые E-LSR/LSR-ами

Функция	Англоязычное название	Описание
Традиционная маршрутизация IP-пакетов	IP routing	Входящие IP-пакеты маршрутизируются на основе таблицы маршрутизации
Назначение метки	label imposing	Если устройство функционирует в качестве E-LSR, то для входящего IP-пакета на базе таблицы IP-маршрутизации определяется метка, которая должна быть назначена, и выходной интерфейс, через который должен быть переслан пакет (1)
Коммутация по метке	label swapping	Входящие IP-пакеты с метками обрабатываются процессом коммутации по меткам, который на основании таблицы коммутации по меткам определяет, какое из следующих действий будет выполнено: - пересылка пакета со сменой метки через определённый интерфейс (label swapping). При этой операции возможно назначение дополнительных меток в «стек»; - снятие метки и одно из следующих действий; - если метка была последняя в стеке, то пакет передаётся процессу маршрутизации IP-пакетов (2) (традиционная коммутация) или пересылается через определённый
Снятие метки	label popping	
Снятие метки (PHP)	Label popping with PHP	

		интерфейс (коммутации с PHP) (3); - если метка была не последняя в стеке, то пакет пересылается через определённый интерфейс.
Примечание: выходной интерфейс определяется на основе таблицы коммутации по меткам.		

Необходимо отметить, что уникальность меток обеспечивается только на уровне интерфейса, то есть для двух разных входных интерфейсов могут встречаться одинаковые значения меток (в таблице коммутации первая и вторая запись). Таким образом, пакет, пришедший с меткой 100 с интерфейса Serial1 и пакет, пришедший с меткой 100 с интерфейса Ethernet2, проследуют по разным LSP. Уникальной комбинацией является входящий интерфейс и метка. И для этой уникальной комбинации однозначно определяется выходной интерфейс и операция, которая должна быть произведена над меткой. Такой подход позволяет образовывать целостные LSP между E-LSR-ам.

Примечание: различные производители могут по-разному реализовывать архитектуру LSR/E-LSR. Например, возможно использовать объединённую таблицу IP-маршрутизации и MPLS-коммутации. Или использовать три таблицы: одна только для традиционной IP-маршрутизации, другая для назначения меток, третья для MPLS-коммутации. Приведённая в данном документе архитектура LSR/E-LSR лишь абстрактная модель.

Лекция № 11. Пассивные оптические сети (PON)

Цель лекции: изучение пассивных оптических сетей (PON).

Развитие сети Internet, в том числе появление новых услуг связи, способствует росту передаваемых по сети потоков данных и заставляет операторов искать пути увеличения пропускной способности транспортных сетей. При выборе решения необходимо учитывать:

- разнообразие потребностей абонентов;
- потенциал для развития сети.

Технология пассивных оптических сетей PON (passive optical network) – это распределительная сеть доступа PON, основанная на древовидной волоконной кабельной архитектуре с пассивными оптическими разветвителями на узлах, возможно, представляется наиболее экономичной и

способной обеспечить широкополосную передачу разнообразных приложений. При этом архитектура PON обладает необходимой эффективностью наращивания как узлов сети, так и пропускной способности в зависимости от настоящих и будущих потребностей абонентов.

Можно выделить следующие топологии оптических сетей доступа: точка-точка, кольцо, дерево с активными узлами, дерево с пассивными оптическими элементами.

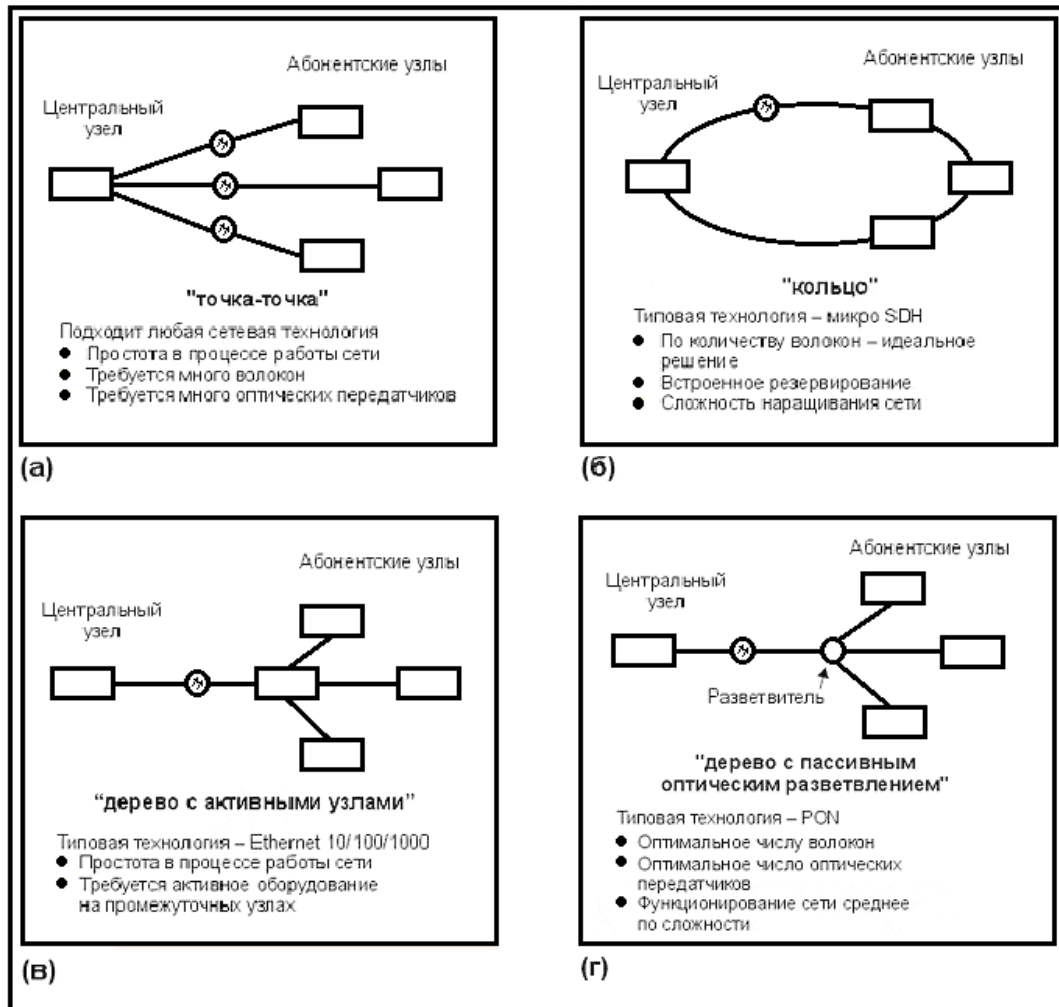


Рисунок 11.1 – Фундаментальные топологии оптических сетей доступа

Наиболее простая архитектура. Основной минус связан с низкой эффективностью кабельных систем. Необходимо вести отдельный ВОК из центрального офиса в каждое здание или к каждому корпоративному абоненту. Данный подход может быть реализован в том случае, когда абонентский узел (здание, офис, предприятие), к которому прокладывается выделенная кабельная линия, может использовать эти линии рентабельно. Топология P2P не накладывает ограничения на используемую сетевую технологию. P2P может быть реализована как для любого сетевого стандарта, так и для нестандартных решений, например, для оптических модемов. С

точки зрения безопасности и защиты передаваемой информации при соединении P2P обеспечивается максимальная защищенность абонентских узлов. Поскольку ОК нужно прокладывать индивидуально до каждого абонента, этот подход является наиболее дорогим, и он привлекателен в основном для крупных корпоративных клиентов.

Кольцевая топология на основе SDH положительно зарекомендовала себя в городских телекоммуникационных сетях. Однако в сетях доступа не все обстоит так же хорошо. Если при построении городской магистрали расположение узлов планируется на этапе проектирования, то в сетях доступа нельзя заранее знать, где, когда и сколько абонентских узлов будет установлено. При случайном территориальном и временном подключении пользователей кольцевая топология может превратиться в сильно изломанное кольцо с множеством ответвлений, подключение новых абонентов осуществляется путем разрыва кольца и вставки дополнительных сегментов. На практике часто такие петли совмещаются в одном кабеле, что приводит к появлению колец, похожих больше на ломаную – «сжатых» колец (collapsed rings), что значительно снижает надежность сети. И тогда главное преимущество кольцевой топологии сводится к минимуму.

Дерево с активными узлами – это экономичное, с точки зрения использования волокна, решение. Это решение хорошо вписывается в рамки стандарта Ethernet с иерархией по скоростям от центрального узла к абонентам 1000/100/10 Мбит/с (1000Base-LX, 100Base FX, 10Base-FL).

Стандарт IEEE 802.3 Ethernet давно перестал ограничиваться нишей корпоративных сетей. Строящиеся таким образом сети могут иметь достаточно сложную и разветвленную древовидную архитектуру. Однако в каждом узле дерева обязательно должно находиться активное устройство (применительно к IP-сетям - коммутатор или маршрутизатор). Оптические сети доступа Ethernet, преимущественно использующие данную топологию, относительно недороги. К основному недостатку следует отнести наличие на промежуточных узлах активных устройств, требующих индивидуального питания.

Дерево с пассивным оптическим разветвлением PON-P2MP. Частным случаем, когда в качестве пассивного оптического элемента выступает оптический разветвитель, является сеть PON – решение, становящееся массовым во всем мире. Сеть PON использует топологию «точка-многоточка» P2MP (point-to-multipoint). К одному порту центрального узла может быть подключен целый волоконно-оптический сегмент древовидной архитектуры, охватывающий десятки абонентов. При этом оптические разветвители, устанавливаемые в промежуточных узлах дерева, полностью пассивны и не требуют питания и специализированного обслуживания.

В топологии P2MP за счет оптимизации размещения разветвителей можно достичь значительной экономии оптических волокон и снижения стоимости кабельной инфраструктуры. Абонентские узлы не влияют на работоспособность сети в целом. Подключение, отключение или выход из

строю одного или нескольких абонентских узлов никак не сказывается на работе остальных.

Преимущества архитектуры PON:

- отсутствие промежуточных активных узлов; экономия волокон;
- экономия оптических приемопередатчиков в центральном узле;
- легкость подключения новых абонентов и удобство обслуживания.

Древовидная топология P2MP позволяет оптимизировать размещение оптических разветвителей, исходя из реального расположения абонентов, затрат на прокладку ОК и эксплуатацию кабельной сети. К недостатку можно отнести возросшую сложность технологии PON и отсутствие резервирования в простейшей топологии дерева.

Оптический разветвитель – это пассивный оптический многополюсник, распределяющий поток оптического излучения в одном направлении и объединяющий несколько потоков в обратном направлении. В общем случае у разветвителя может быть M входных и N выходных портов. В сетях PON наиболее часто используют разветвители $1 \times N$ с одним входным портом. Разветвители $2 \times N$ могут использоваться в системе с резервированием по волокну. По рабочей полосе пропускания разветвители делятся на стандартные однооконные (раб 10 нм), широкополосные однооконные (раб 40 нм) и двухоконные (1310 40 нм и 1550 40 нм). Для сетей PON используются только двухоконные разветвители. В указанных рабочих окнах характеристики разветвителя должны быть стабильными.

Принцип действия PON. Основная идея архитектуры PON – использование всего одного приемо-передающего модуля в OLT для передачи информации множеству абонентских устройств ONU и приема информации от них. Реализация этого принципа показана на рисунке 2. Число абонентских узлов, подключенных к одному приемо-передающему модулю OLT, может быть настолько большим, насколько позволяет бюджет мощности и максимальная скорость приемопередающей аппаратуры. Для передачи потока информации от OLT к ONU – прямого (восходящего) потока, как правило, используется длина волны 1550 нм. Наоборот, потоки данных от разных абонентских узлов в центральный узел, совместно образующие обратный (нисходящий) поток, передаются на длине волны 1310 нм. В OLT и ONU встроены мультиплексоры WDM, разделяющие исходящие и входящие потоки.

Прямой поток. Прямой поток на уровне оптических сигналов является широковещательным. Каждый ONU, читая адресные поля, выделяет из этого общего потока предназначенную только ему часть информации (рисунок 2).

Фактически мы имеем дело с распределенным демультиплексором.

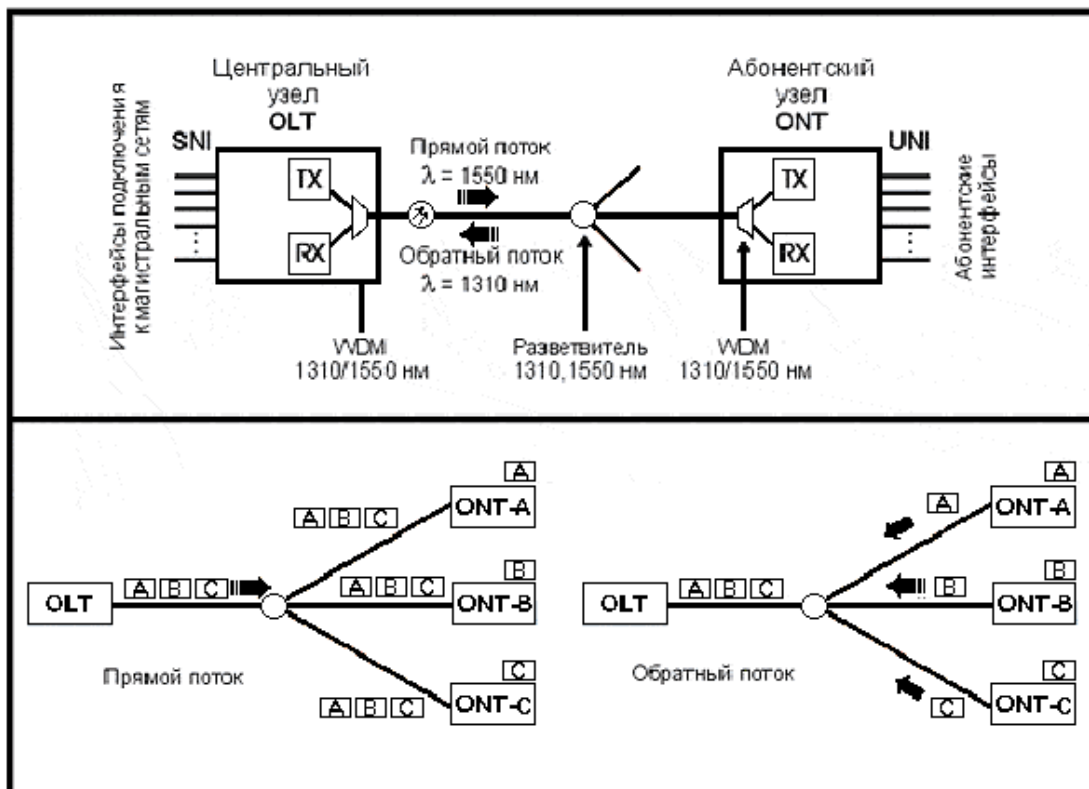


Рисунок 11.2 – Основные элементы архитектуры PON и принцип действия

Обратный поток. Все абонентские узлы ONU ведут передачу в обратном потоке на одной и той же длине волны, используя концепцию множественного доступа с временным разделением TDMA (time division multiple access). Для того чтобы исключить возможность пересечения сигналов от разных ONU, для каждого из них устанавливается свое индивидуальное расписание по передаче данных с учетом поправки на задержку, связанную с удалением данного ONU от OLT. Эту задачу решает протокол TDMA MAC.

Архитектуры APON, EPON И GPON. Первые шаги в технологии PON (passive optical networks) были предприняты 1995 г., когда влиятельная группа из семи компаний (British Telecom, France Telecom, Deutsche Telecom, NTT, KPN, Telefonica и Telecom Italia) создала консорциум для того, чтобы претворить в жизнь идеи множественного доступа по одному волокну. Эта неформальная организация, поддерживаемая ITU-T, получила название FSAN (full service access network). Много новых членов как операторов, так и производителей оборудования, вошли в нее в конце 90-х гг. прошлого века. Целью FSAN была разработка общих рекомендаций и требований к оборудованию PON для того, чтобы производители оборудования и операторы могли сосуществовать вместе на конкурентном рынке систем

доступа PON. На сегодня FSAN насчитывает 40 операторов и производителей и работает в тесном сотрудничестве с такими организациями по стандартизации, как ITU-T, ETSI и ATM форум.

Список литературы

- 1 Зингеренко Ю.А. Цифровые системы передачи. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 393 с.
- 2 Глазунов В.А. Цифровые системы передачи информации. – Самара: СГАУ, 2012. – 49 с.
- 3 Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. – Издательство: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2008. – 288 с.
- 4 Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. Цифровые системы передачи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 351 с.
- 5 Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. – М.: Радио и связь, 2004. – 328 с.
- 6 Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / В.В. Крухмалев и др. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510 с.
- 7 Транспортные сети и системы электросвязи. Системы мультиплексирования: Учебник для студентов по специальности «Телекоммуникации» / Под ред. В.К. Стеклова. – К., 2003. – 352 с.
- 8 Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2001. – 284 с.
- 9 Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. – 143 с.
- 10 Цифровые и аналоговые системы передачи / В.И. Иванов и др. – 2-е изд. – М.: Горячая линия телеком, 2003. – 232 с.
- 11 Беллами Дж. Цифровая телефония. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2004. – 640 с.
- 12 Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. – 148 с.

Содержание

Введение	3
1 Лекция № 1. Многослойная архитектура транспортной сети	4
2 Лекция № 2. Модели оптических транспортных сетей	8
3 Лекция № 3. Системы передачи плезиохронной цифровой иерархии(РС	12
4 Лекция № 4. Системы передачи с синхронной цифровой иерархией SDH)	18
5 Лекция № 5. Схема мультиплексирования SONET/SDH и базовые элементы	22
6 Лекция № 6. Основные принципы построения сети АТМ	26
7 Лекция № 7. Оптические транспортные сети	30
8 Лекция № 8. Сетевые элементы оптических транспортных сетей	34
9 Лекция № 9. Синхронизация, управление и защита в транспортных сетях связи	39
10 Лекция № 10. Транспортная технология MPLS	43
11 Лекция № 11. Пассивные оптические сети (PON)	46
Список литературы	

Алимжан Сергеевич Байкенов
Катипа Сламбаевна Чежимбаевна

ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ

Конспект лекций для студентов специальности
5В071900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Редактор: Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации: Н.К. Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 100 экз.
Объем 3.3 уч.- изд.л.

Формат 60x84 1/16.
Бумага типографическая №1.
Заказ № Цена 1650 тенге.

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинского университета энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126