

Лекция 5.

5.1. Основы технологии SDH

Технология SDH (Synchronous Digital Hierarchy - синхронная цифровая иерархия), называемая также SONET, является развитием технологии PDH (plesioхронная цифровая иерархия), выполненным главным образом для повышения скорости применяемых каналов передачи данных, это развитие было выполнено в конце 1980-х - начале 1990-х годов и стандартизовано OSI (международным институтом стандартизации).

Технология SDH является технологией чисто физического уровня, поверх которого могут работать различные технологии канального уровня, такие, например, как ATM, Ethernet и др. SDH обеспечивает построение иерархически организованных сетей мультиплексоров, работающих в режиме TDM (мультиплексирования по времени в синхронных каналах) и связанных друг с другом волоконно-оптическими каналами передачи данных. К одной сети более высокого уровня может быть подключено несколько подсетей более низкого уровня. По сути, сеть более высокого уровня – это магистральная сеть взаимодействия подсетей более низкого уровня. На разных уровнях сети используются мультиплексоры различной производительности (тем выше, чем выше уровень). Скорость передачи данных каналами различных уровней также различна (см. чуть ниже). Для повышения надежности сетей на верхних уровнях сети используются многосвязные (mesh) топологии связей между мультиплексорами этого уровня, на нижних уровнях - как правило кольцевые топологии. Типичная картина построения многоуровневой сети SDH приведена на рис. 1. В качестве указанных в этой схеме коммуникационных устройств (КУ) в технологии SDH используются мультиплексоры SDH.

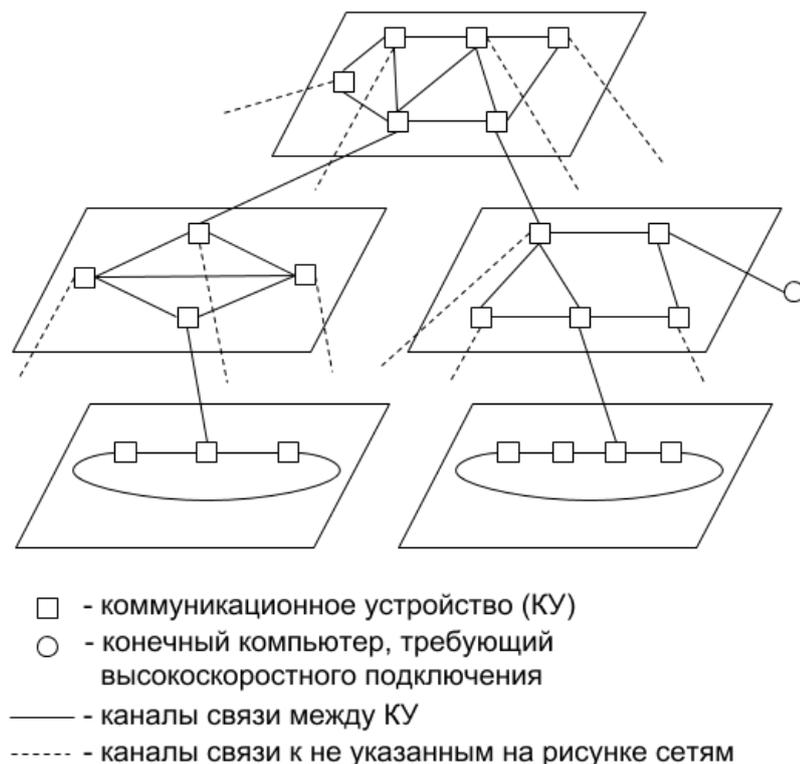


Рис. 1. Типовая схема топологии многоуровневой сети SDH

Уровни технологии SDH называются STM (Synchronous Transfer Mode - синхронный режим передачи) и имеют номера от 1 до 1024, так что номер каждого следующего за STM-1 уровня получается умножением номера предыдущего уровня на 4. В той же прогрессии растут и скорости работы каналов передачи данных уровня. В таблице 2.1. Приведены скорости работы всех уровней STM.

Таблица 2.1

Скорости работы портов различных уровней STM

Название уровня	Скорость передачи
STM-1	155,5 Мбит/сек
STM-4	622 Мбит/сек
STM-16	2488 Мбит/сек
STM-64	~ 10 Гбит/сек
STM-256	~ 40 Гбит/сек
STM-1024	~ 160 Гбит/сек

Отметим, что уровень STM-1024 был реализован только в 2017 году. И обратим внимание на корреляцию скоростей передачи каналов 2-х первых уровней со скоростями работы каналов ATM, а также корреляцию скоростей 2-х предпоследних уровней с 10 Gbit и 40 Gbit Ethernet. Очевидно, что без сколь либо существенных потерь пропускной способности на упомянутые каналы STM могут накладываться соответствующие им по пропускной способности каналы ATM и Ethernet. Каналы 100Gigabit Ethernet могут передаваться через каналы STM-1024.

Мультиплексор каждого уровня имеет некоторое количество портов своего уровня а также порты одного (ближайшего) или нескольких более низких уровней. Мультиплексоры уровня STM-1 могут иметь порты меньших пропускных способностей для подключения каналов T1, E1, E3 и T3 скорость работы которых соответственно равна 1.5, 2, ~35 и ~45 Мбит/сек. Через эти порты к ним могут быть подключены абонентские каналы, работающие по другим сетевым технологиям. В частности, через стандартные телефонные цифровые потоки E1 (европейский стандарт) или T1 (американо-японский стандарт) к этим мультиплексорам могут быть подключены коммутаторы цифровых АТС, коммутирующие вложенные в потоки E1 и/или T1 потоки индивидуальных цифровых телефонных соединений (часть из которых может оказаться незадействованной) пропускной способностью 64 Кбит/сек.

Потоки E3 и T3 в 1990-х и в начале 2000-х годов часто использовались для подключения через них абонентских сетей по технологии Frame Relay. Поверх этих потоков может работать и технология Fast Ethernet, при этом через один

канал Fast Ethernet может передаваться, например, информация из 2-х потоков T3 в порядке следования виртуальных контейнеров (см. ниже) этих потоков, попарно сконкатенированных друг с другом.

Как мы видим, каждый из мультиплексоров STM может иметь порты нескольких пропускных способностей. Поэтому рассмотренное нами в Лекции 1 настоящего курса простое правило мультиплексирования, состоящее в сопоставлении тайм-слотов кадра одного быстрого канала кадрам определенных в N раз более медленных каналов, в данном случае оказывается неприменимым. С учетом того, что каждый из мультиплексоров может иметь различное число портов разной пропускной способности, невозможно использование фиксированной структуры кадра для каждого из портов. Поэтому в начале таких “кадров” в технологии SDH помещается описание размещения в нем “кадров” более низкого уровня. Такой “кадр” называется в технологии SDH виртуальным контейнером VC (Virtual Container). При этом существует столько типов виртуальных контейнеров, сколько типов портов поддерживаются всеми типами мультиплексоров SDH. Типы виртуальных контейнеров идентифицируются своими номерами. Так виртуальный контейнер VC-12 используется при передаче потока E1, VC-3 - при передаче потока E3, VC-4 - при передаче потока STM-1. Отметим, что минимальной единицей данных всех передаваемых через сеть SDH виртуальных контейнеров является тайм-слот базового телефонного цифрового канала (потока), с пропускной способностью 64 Кбит/сек.

Более детальное рассмотрение технологии SDH не входит в наши задачи, поскольку эта технология применяется профессиональными связистами, обслуживающими главные магистрали интернета. Отметим, что технология SDH достаточно широко используется в настоящее время в магистральных сетях самого высокого уровня, а также в цифровых телефонных сетях. Как и все технологии мультиплексирования синхронных каналов эта технология обеспечивает сквозную передачу через сеть потоков гарантированной пропускной способности (CIR). А это свойство очень востребовано операторами сетей передачи данных магистральных уровней. Отметим также, что в 2017 году эта технология временно возвратила себе лидирующие позиции по показателю максимальной возможной пропускной способности каналов. А в 2019 г. технология Ethernet вновь стала лидером (работы по созданию Terabit Ethernet привели к созданию 200Megabit Ethernet и 400Megabit Ethernet), это не значит, что соревнование этих двух технологий закончится. Вероятно, технологии Ethernet и SDH будут сосуществовать еще достаточно долго с возможным постепенным проникновением Ethernet в сетевые магистрали все более высокого уровня - ряд магистральных сетей российского масштаба, созданных различными операторами связи, уже построили свои современные магистральные сети на базе технологий семейства Ethernet.

5.2. Основы технологии WDM и ее разновидности

Технология WDM (Wavelength Division Multiplexing - мультиплексирование с разделением по длине волны) является технологией частотного (спектрального) мультиплексирования сигнала, передаваемого через волоконно-оптические сети (напомним, что значения частоты и длины волны светового сигнала связаны соотношением обратно-пропорциональной зависимости и взаимно-однозначно определяют друг друга). Эта технология, созданная в начале 2000-х годов, позволяет на базе одной физической жилы построить N волоконно-оптических каналов, информация которых передается на разных частотах оптического

спектра, где количество N зависит от разновидности технологии WDM. Каждый из созданных таким способом каналов может использоваться независимо от других, возможно в рамках различных технологий канального уровня, основанных на использовании волоконно-оптических каналов (Ethernet, ATM, SDH и др.). При этом каждый из таких мультиплексированных каналов "работает" со скоростью соответствующей технологии канального уровня.

5.2.1. Принципы работы оптических мультиплексоров семейства WDM

Каждый из мультиплексоров WDM имеет N оптических разъемов, предназначенных для подключения каналов, мультиплексированный сигнал которых передается через единственную оптическую жилу, для подключения которой предусмотрен отдельный оптический разъем.

Каждый лазерный передатчик сигнала для некоторого мультиплексируемого канала, подключенному к соответствующему этому каналу оптическому разъему мультиплексора (к которому может быть подключена отдельная жила), передает сигнал на определенной частоте из строго определенного частотного плана следующим образом. Сгенерированный «белый» сигнал подается на грань оптической призмы мультиплексора WDM под строго определенным для каждой из частот углом и преломляется этой призмой в объединенный (мультиплексированный) оптический сигнал, направленный строго вдоль оси оптического сердечника жилы, обеспечивающей передачу мультиплексированного сигнала. Мультиплексор SDH, установленный с противоположной стороны оптической жилы с помощью такой же призмы выполняет операцию демультиплексирования. Выходящий из оптической жилы мультиплексированный сигнал направляется на эту призму и расщепляется на N передаваемых в N строго определенных направлениях "разноцветных" сигнала, попадающих на установленные на каждом из этих направлений N приемников сигнала. Принятый каждым из приемников сигнал направляется в соответствующий оптический разъем мультиплексора.

Очевидно, что количество мультиплексируемых каналов, передающих свой сигнал на различных частотах оптического спектра, существенным образом зависит от точности преломления мультиплексирующей оптической призмой объединяемых в единый пучок нескольких "цветных" пучков света и от точности места установки и пространственной ориентации передатчиков и приемников этих пучков цвета. Чем выше точность реализации отмеченных аспектов устройства оптического мультиплексора, обеспечивающих исключение взаимного искажения сигналов соседних каналов при меньшем частотном "разносе" (минимально допустимой разнице в частотах) этих каналов, тем большее число каналов может быть организовано с использованием одной оптической жилы. Но существенно большая точность исполнения влечет и существенное удорожание оборудования мультиплексоров.

Отметим, что «цветной» канал, созданный "внутри" одной оптической жилы средствами мультиплексоров WDM, зачастую коротко называют "лямбдой", от названия греческой буквы λ , обычно используемой для обозначения длины волны.

5.2.2. Разновидности технологий семейства WDM

Первою из технологий семейства WDM стала технология двухчастотного спектрального мультиплексирования, применяемая для организации двунаправленного оптического канала передачи данных через одну оптическую жилу.

Современные системы WDM разделяются на три группы:

- Грубые WDM (Coarse WDM - CWDM) или просто WDM - системы с частотным разносом каналов более 250 ГГц; обеспечивают мультиплексирование 16-ти спектральных каналов для оптических жил длиной до 50 км.
- Плотные WDM (Dense WDM - DWDM) - системы с разносом каналов около 100 ГГц; обеспечивают мультиплексирование до 40 каналов для оптических жил глобальных магистральных сетей
- Высокочастотные WDM (High Density WDM - HDWDM) — системы с разносом каналов 50 ГГц и менее; обеспечивают мультиплексирование более 64-х каналов для оптических жил глобальных магистральных сетей

Частотный план для систем CWDM определяется рекомендациями (стандартом) G.694.2 ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication sector: Сектор телекоммуникаций международного союза электросвязи). Основной областью применения этой технологии являются городские сети с расстояниями между мультиплексорами до 50 км. Достоинством этого вида WDM систем относительно является низкая (по сравнению с остальными разновидностями WDM) стоимость оборудования вследствие менее жестких требований к точности реализации компонентов мультиплексоров.

Подводя итоги рассмотрению технологий WDM отметим, что мультиплексоры WDM являются очень дорогими устройствами. При этом стоимость мультиплексоров, обеспечивающих увеличение плотности мультиплексирования возрастает многократно. Однако эта высокая стоимость многократно ниже стоимости тех затрат, которые пришлось бы потратить на прокладку протяженных кабелей сетей городского и глобального масштаба. Но прокладка новых кабелей в ЛВС масштаба здания или небольшого кампуса может быть дешевле применения дорогих мультиплексоров WDM для более плотного использования существующих кабелей. Поэтому технологии WDM достаточно широко применяются в магистральных сетях городского и более глобальных масштабов. И пока будут существовать технологии канального уровня, основанные на использовании волоконно-оптических каналов, сохранится и, возможно, будет расширяться потребность в использовании технологий WDM.

5.3. Основы технологии ADSL

Технология ADSL принадлежит к семейству xDSL технологий. В этих аббревиатурах первая буква идентифицирует конкретного представителя семейства, а буквы DSL расшифровываются как Digital Subscriber Line – цифровая линия абонента. Технологии xDSL разрабатывались в середине 1980 годов первоначально для высокоскоростного подключения по обычным телефонным проводам абонентов интерактивного телевидения, но использовались и для организации межузловых каналов передачи данных в телекоммуникационных сетях.

Эти технологии обеспечивали высокую для телефонных проводов скорость передачи данных – до 5 Мбит/сек на качественных телефонных линиях длиной до 2-3 км, а иногда и до 5 км, что почти на 2 порядка превосходило максимальную скорость передачи данных через телефонные линии, «оконеченные» обычными модемами (56 Кбит/сек). Высокие скорости передачи в каналах, построенных с использованием технологий данного семейства, обеспечивались за счёт применения частотного мультиплексирования (FDM) для параллельной передачи различных частей цифрового потока данных.

Но развитие технологий xDSL определённое время никем не поддерживалось и продолжилось в середине 1990-х годов. Именно в это время была создана технология ADSL (Asymmetric DSL – асимметричная DSL), получившая достаточно широкое распространение с момента её создания и по настоящее время для подключения компьютеров и небольших компьютерных сетей абонентов к интернету.

При использовании технологии ADSL спектр частот телефонной линии разбивается на 3 диапазона. Они предназначены для: передачи голосового сигнала обычного телефонного аппарата (который может использоваться обычным образом даже во время пересылки по телефонному проводу данных, осуществляемой «поверх голоса» - Data Over Voice); организации исходящего канала передачи данных от оборудования абонента к интернету и организации нисходящего канала данных из интернета к оборудованию абонента. Поскольку на практике в подавляющем большинстве случаев интенсивность входящего (нисходящего) потока данных примерно на порядок выше интенсивности исходящего (восходящего) потока данных технологией ADSL выполняется асимметричное разбиение ёмкости канала передачи данных между входящим и исходящим потоками. Так ёмкость входящего потока может достигать (на телефонном проводе высокого качества) 8 Мбит/сек, в то время, как ёмкость исходящего – всего лишь 1 Мбит/сек. В технологии ADSL2+ эти цифры составляют соответственно 24 Мбит/сек и 1,4 Мбит/сек.

Упомянём конкретные диапазоны частот, используемые в технологии ADSL для организации голосового телефонного канала, а также для восходящего и нисходящего каналов передачи данных. Ширина полосы частот телефонного канала составляет около 1,1 МГц. «Нижняя часть» этой полосы шириною 26 кГц резервируется для передачи голоса (на самом деле полоса частот голосового сигнала лежит в диапазоне 0,3 - 3,4 кГц). Оставшаяся часть полосы частот делится на две части: частоты от 26 кГц до 138 кГц выделены исходящему потоку данных, а частоты от 138 кГц до 1,1 МГц -нисходящему. Отметим, что полоса частот от 26 кГц до 1,1 МГц была выбрана для организации в ней каналов передачи данных далеко не случайно. В этом диапазоне коэффициент затухания сигнала почти не зависит от частоты, что упрощает организацию параллельной пересылки «подпотоков» данных.

Перейдём к рассмотрению оборудования ADSL.

Со стороны оператора связи таким оборудованием является мультиплексор ADSL доступа (DSL Access Multiplexer, DSLAM), находящийся на той же АТС, к которой подключается телефонная линия абонента. При этом линия абонента подключается именно к DSLAM, имеющим подключения как к оборудованию АТС, так и к оборудованию передачи данных.

Со стороны абонента на телефонную линию устанавливается последовательно 2 устройства: частотный разделитель (или сплиттер – splitter) и ADSL-модем (см. рис.2). Сплиттер, является пассивным сетевым устройством, не требующим электропитания. Он имеет 3 телефонных порта RJ-10. Телефонный сигнал, поступающий по кабелю, подключённому к телефонной розетке, разделяется (демультиплексируются) по частотам. Выделенные частотные полосы подаются на порт, предназначенный для подключения телефона (с надписью PHONE), и на порт, предназначенный для подключения ADSL-модема (с соответствующей надписью). При пересылке голоса и/или данных в обратном направлении сплиттер обеспечивает мультиплексирование (частотное) голосового канала и восходящего канала передачи данных. ADSL-модем имеет порт RJ-10 для подключения к сплиттеру и порт RJ-45 для подключения к сетевой карте Ethernet компьютера. Фактически ADSL-модем является транслирующим

МОСТ-МОДЕМОМ, соединяющим сегменты канального уровня, использующие различные технологии канального уровня.

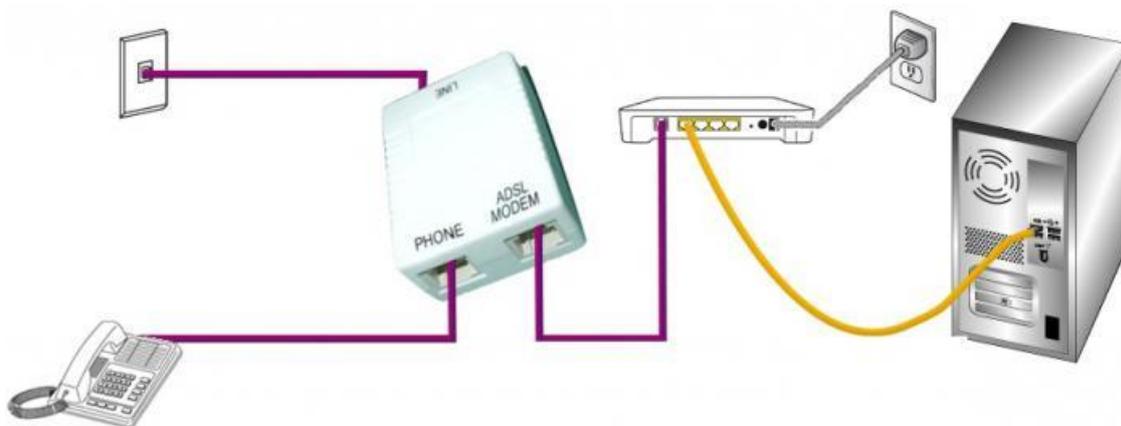


Рис. 2. Схема соединения абонентского оборудования ADSL

Отметим, что в настоящее время широко распространены устройства, называемые ADSL WiWi роутерами. Эти устройства включают реализованные в общем корпусе маршрутизатор (роутер), а также подключённые к его портам ADSL-модем и точку доступа WiFi. Это устройство подключается к сплиттеру вместо ADSL-модема и позволяет строить на его основе локальную WiFi сеть, к которой может быть одновременно подключено несколько компьютеров и других устройств (смартфонов, телевизоров и пр.), допускающих их подключение к компьютерной сети по технологии WiFi.