

Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович

Раздел: **Разновидности технологий связи на сетях абонентского доступа и их применение.**

Тема: **Разновидности и технологии доступа по проводным сетям.**

Учебные вопросы:

1. Разновидности организации доступа и их особенности к голосовым услугам связи.
2. Передача данных по проводным сетям. Технологии DSL. Передача данных по коаксиальному кабелю — технология DOCSIS.
3. Выделенные линии. Способы формирования сигналов. Протокол X.25.
4. Наложённые услуги. Проблемы и решения в проводных сетях.
5. Услуги оповещения и циркулярного вызова.

Литература:

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.
2. DOCSIS 3.1 — как достичь максимальной пропускной способности. Материалы сайта <https://m.habr.com>.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2012. — 960 с.

В настоящее время итогом любой стратегии или нового проекта любого оператора связи является подключение новых клиентов и таким образом расширение сети доступа или внедрение новых востребованных клиентом услуг, которые уже появились на рынке или разработка и внедрение перспективных, объявленных в рамках некоторых концепций или перспективных планов или проектов услуг, ранее на рынке не предоставлявшихся.

Абоненты сетей операторов связи всегда, а в последнее время особенно, стали обращать особое внимание на скорость доставки востребованного контента и на качество такой доставки. А значит скорость передачи и ширина пропускания канала на сети доступа будет и далее одним из основных факторов выбора оператора.

1. Разновидности организации доступа и их особенности к голосовым услугам связи.

Если брать за основу среду передачи данных САД, то как рассматривалось ранее на лекциях основные способы организации именно широкополосных каналов следующие:

- на проводной среде - варианты xDSL доступа,
- на оптике — PON и гибридная FTTB,
- на радио доступе — широко применяемый Wi-Fi, плюс другие БШПД на основе вариантов RadioEthernet.

Рассматривая развитие сетей с точки зрения услуг операторы определили наборы наиболее востребованных клиентами сетей базовых услуг, в основе которых лежат, как мы уже рассматривали три типа доступа и варианты услуг на их основе:

- доступ к платформе голосовых услуг,
- доступ к сетям ПД - в основном к сети Интернет и в случае потребности к выделенной одной или нескольким VPN,
- доступ к видеоконтенту и платформам видеослужб.

Основные принципы построения голосовых услуг были рассмотрены на 4 лекции. Теперь рассмотрим основные варианты структурной организации этой услуги на сети абонентского доступа оператора до коммутатора, где поднята нумерация абонента или производится его авторизация (регистрация).

- 1 вар-т — ТА — АЛ — АТС (аналоговая либо цифровая с пространственной или TDM коммутацией);
- 2 вар-т — ТА — АЛ — IP-шлюз (по MGCP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — MGW(медиа-шлюз) или SMG(Шлюз сигнализации и медиа-шлюз) — СЛ (сигнальный транк) или Sigtran — АТС;
- 3 вар-т — ТА — АЛ — IP-шлюз (по MGCP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — MGW(медиа-шлюз) или SMG(Шлюз сигнализации и медиа-шлюз) — СЛ (сигнальный транк) или Sigtran — SSW;
- 4 вар-т — ТА — АЛ — IP-шлюз (по SIP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — SSW;
- 5 вар-т — IP-Phone (по SIP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — SSW.

Все рассмотренные варианты структур можно использовать на традиционной проводной медной сети доступа, а четыре последних варианта и на разных цифровых сетях доступа включая гибридные.

Операторам с большой территорией охвата и разными сетями доступа такая вариативность очень нужна и для привлечения новых абонентов и для удержания существующих.

В дополнение можно отметить, что эти 5 предложенных способов конечно не единственные с точки зрения построения услуги, возможны и многие другие, но эти способы имеют такое существенное превосходство над другими структурами в том, что при передаче услуги между разными сетями (в смысле сопряжений сетей традиционной телефонии POTS и IP-сетями ПД) имеют меньшее количество преобразований (конвертаций) сигнала, а следовательно меньше искажений при передаче. Такой подход необходимо стремиться применять при построении услуг и сетей всегда, и направлять голосовой поток (речь) сразу в сеть POTS или IP-сеть в зависимости от способа подключения второго абонента, избегая множественных повторных преобразований.

2. Передача данных по проводным сетям. Технологии DSL.

Большое количество существующих медных линий в РФ не позволят в короткий срок модернизировать эту сеть доступа и поэтому операторы вынуждены продолжать ее использование с внедрением на проводных сетях широкополосных технологий.

xDSL — семейство технологий, позволяющих значительно расширить пропускную способность абонентской линии сети доступа путём использования эффективных линейных кодов и адаптивных методов коррекции искажений линии.

В аббревиатуре xDSL символ «x» используется для обозначения первого символа в названии конкретной технологии, а DSL обозначает цифровую абонентскую линию DSL (англ. Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия).

Перечислим основные технологии проводных DSL:

- 1) ADSL - Asymmetrical Digital Subscriber Line (асимметричная цифровая абонентская линия);
- 2) RADSL - Rate Adaptive Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия с адаптивной скоростью);
- 3) HDSL - High Bit Rate Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия с высокой скоростью передачи битов);
- 4) SHDSL - Symmetrical High Bit Rate Digital Subscriber Line (симметричная высокоскоростная цифровая абонентская линия);
- 5) SDSL – Single-line Digital Subscriber Line (высокоскоростная цифровая абонентская линия по 1 паре);
- 5) VDSL - Very High Bit Rate Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия с очень высокой скоростью передачи битов).

Самым распространенным на сегодня является предоставление доступа в сеть Интернет с использованием технологии ADSL и SHDSL.

Сравнительный анализ технологий ADSL и SHDSL.

Таблица 1.

Технология DSL	Максимальная скорость (прием/передача)	Максимальное расстояние	Количество телефонных пар	Основное применение
ADSL	24Мбит/с / 3,5Мбит/с	5,5 км	1	Доступ в Интернет, голос, видео, HDTV (ADSL2+)
SHDSL	2,32 Мбит/с	7,5 км	1	Объединение сетей

Технология ADSL представляет собой вариант DSL, в котором доступная полоса пропускания канала распределена между исходящим и входящим трафиком несимметрично — для большинства пользователей входящий трафик значительно более существенен, чем исходящий, поэтому предоставление для него большей части полосы пропускания вполне оправдано (исключениями из правила являются пиринговые сети (одноранговые компьютерные сети, основанные на равноправии участвующих в обмене файлами, то есть каждый участник одновременно является и клиентом, и сервером) и электронная почта, где объем и скорость исходящего трафика бывают важны). Обычная телефонная линия использует для передачи голоса полосу частот 0...4 кГц. Чтобы не мешать использованию телефонной сети по её прямому назначению, в ADSL нижняя граница диапазона частот находится на уровне 25 кГц. Верхняя же граница, исходя из требований к скорости передачи данных и возможностей телефонного кабеля, составляет 1,1 МГц. Эта полоса пропускания делится на две части — частоты от 26 кГц до 160 кГц отведены исходящему потоку данных, а частоты от 240 кГц до 1,1 МГц — входящему.

Метод передачи информации, разработанный для ADSL, состоит в том, что для передачи сигналов используется 256 несущих - бинов. Это означает, что в канале передачи работают 256 мини-модемов, каждый из которых передает информацию на своей несущей. Между несущими устанавливается защитный интервал.

Объем передаваемой информации на отдельной несущей зависит от соотношения сигнал/шум на данной частоте. В процессе установления связи модем и DSLAM выполняют диагностику на каждой несущей. Если на несущей соотношение оказывается небольшим, то количество бит/с на ней устанавливается меньшим. Подробнее принцип работы ADSL с DMT рассмотрим ниже.

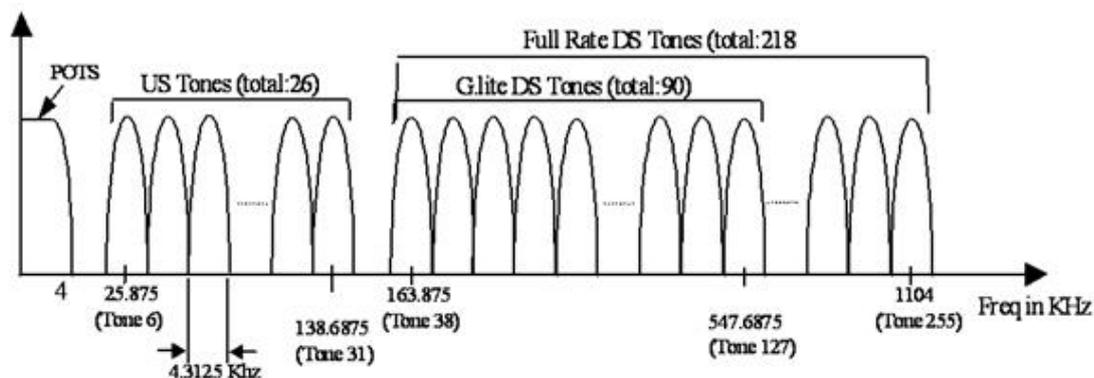


Рис. 1. Использование спектра частот в технологии ADSL.



Рис. 2. Дискретная многотоновая модуляция DMT в технологии ADSL.

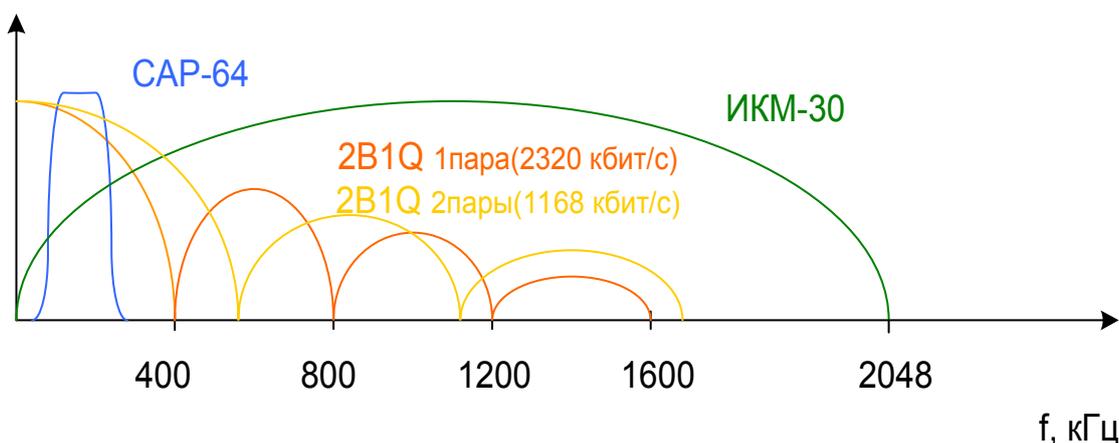


Рис. 3. Использование спектра частот в технологиях HDSL, SDSL, SHDSL, ИКМ.

Принцип работы ADSL.

Подитогом вышесказанного для этой технологии передачи является:

1. Передача и прием данных производится в разных частотных полосах пропускания:
 - Восходящий поток (от абоненского уст-ва) - частоты от 25,875(138)кГц до 138(276)кГц;
 - Нисходящий поток (к абонентскому уст-ву) - частоты от 138(276)кГц до 1,104(2.208)МГц.
2. Метод кодирования данных — DMT — Discrete Multi-tone — дискретный многочастотный метод передачи, который делит полосу передачи-приема на несущие (поднесущие) частоты с шириной полосы в каждой 4,3125кГц. Для технологий ADSL, ADSL2 применяется max=>256 несущих, из них каждая может быть промодулирована от 4 до 256 битами. Восходящий поток — 16(32) несущие в зависимости от версии Annex. Нисходящий поток — 256-16(32)=240(224) несущие.
3. Транспортный протокол передачи — АТМ - Asynchronous Transfer Mode — асинхронная сетевая технология коммутации и мультиплексирования на основе ячеек (cell) фиксированного размера 53 байта, из которых 5 байтов — заголовок.

Таблица 2. Варианты технологии ADSL по стандартам.

Технология	Стандарт	Скорость Down/Up stream
Версии ADSL		
ADSL	ANSI T1.413-1998 Issue 2	8/1.2Мбит/с
ADSL G.DMT	ITU G.992.1	8/1.3Мбит/с
ADSL over POTS	ITU G.992.1 Annex A	12/1.3Мбит/с
ADSL over ISDN	ITU G.992.1 Annex B	12/1.3Мбит/с
ADSL G.Lite	ITU G.992.2	1.5/0.5Мбит/с
Версии ADSL2		
ADSL2	ITU G.992.3	12/1.2Мбит/с
ADSL2 over POTS	ITU G.992.3 Annex A	12/1.2Мбит/с
ADSL2 over ISDN	ITU G.992.3 Annex B	12/1.2Мбит/с
ADSL2	ITU G.992.3 Annex J	12/3.5Мбит/с
RE-ADSL2	ITU G.992.3 Annex L	5/0.8Мбит/с
ADSL2	ITU G.992.3 Annex M	12/3.5Мбит/с
Splitterless ADSL2	ITU G.992.4	1.5/0.5Мбит/с
Версии ADSL2+		
ADSL2+ G.DMT.bis.plus	ITU G.992.5	24/1.2Мбит/с
ADSL2+ over POTS	ITU G.992.5 Annex A	24/1.2Мбит/с
ADSL2+ over ISDN	ITU G.992.5 Annex B	24/1.2Мбит/с
ADSL2+	ITU G.992.5 Annex M	24/3.5Мбит/с
RE-ADSL2+	ITU G.992.5 Annex L	24/1.5Мбит/с

Annex — разновидности стандарта ADSL совместно с телефонией в линии.

Annex A — ADSL поверх POTS Up-поднесущие от 6 до 31, Down-поднесущие от 38.
Annex B — ADSL поверх ISDN Up-поднесущие от 33 до 57, Down-поднесущие от 63.
Возможно совместное применение на линии охранной ВЧ-сигнализации.
Annex L — увеличивает дальность(до 7км) за счет применения схем подавления перекрестных помех и увеличения мощности сигнала на нижних тонах.
Annex M — для хороших линий увеличивает скорость Up за счет увеличения количества Up-поднесущих вдвое до 64, на это же количество уменьшается и количество Down-поднесущих. Может работать в связке с *Annex A*.
Annex J — выделенная линия **без телефонии** рабочая полоса от 0.3кГц, Up-поднесущие от 1 до 57, Down-поднесущие от 63.

Технология ADSL2+ поднимает верхнюю границу полосы до 2.208МГц с количеством несущих до 512.

Основным принципом в АТМ является формирование данных для передачи в два этапа:

1. => сегментация данных в виде ячеек АТМ(53байта=48байт данные(блоки PDU) + 5байт заголовок) с присвоением ячейкам типов данных по классам сервиса:

- CBR (Constant Bit Rate) — данные с постоянной битовой скоростью, представляют собой один из классов сервиса АТМ. Основной параметр - пиковая скорость передачи ячеек PCR (Peak Cell Rate) - максимальная скорость в канале без риска потерять ячейку. Данные передаются по этому соединению с запрошенной скоростью - не быстрее и, не медленнее. CBR-соединения гарантируют пропускную способность с минимальной вероятностью потери ячейки и незначительным изменением времени задержки передачи ячейки. Сервис CBR предназначен специально для передачи голоса и видео в реальном времени.
- UBR (Unspecified Bit Rate) — данные с неопределенной битовой скоростью, не определяют ни битовую скорость, ни параметры трафика, ни качество сервиса. Сервис UBR занимается доставкой "по возможности", без гарантий по времени и задержки. Сервис UBR - это решение для эластичного трафика, не критичного к реальному времени и полосе пропускания. Этот класс сервиса обычно устанавливается по умолчанию.
- VBR (Variable Bit Rate) — данные с переменной битовой скоростью. По сравнению с сервисом CBR, для VBR применяется сложная процедура заказа соединения между сетью и приложением. В дополнение к пиковой скорости VBR определяет длительно поддерживаемую скорость (среднюю скорость ячеек в секунду) SCR (Sustained Cell Rate), которая представляет собой среднюю гарантированную скорость передачи данных. Канал может превышать скорость SCR вплоть до величины PCR, но только на определенное количество ячеек MBS (Maximum Burst Size), которое может быть передано со скоростью большей чем SCR, но меньшей чем PCR. VBR будет использовать среднее значение SCR для управления трафиком, снижая его интенсивность на соответствующие периоды времени. Как и в случае CBR, пользователи VBR получают гарантированное обслуживание в отношении потерь ячеек, изменения задержек передачи ячеек и доступной полосы пропускания до тех пор, пока трафик удовлетворяет определенным при соединении требованиям QoS.

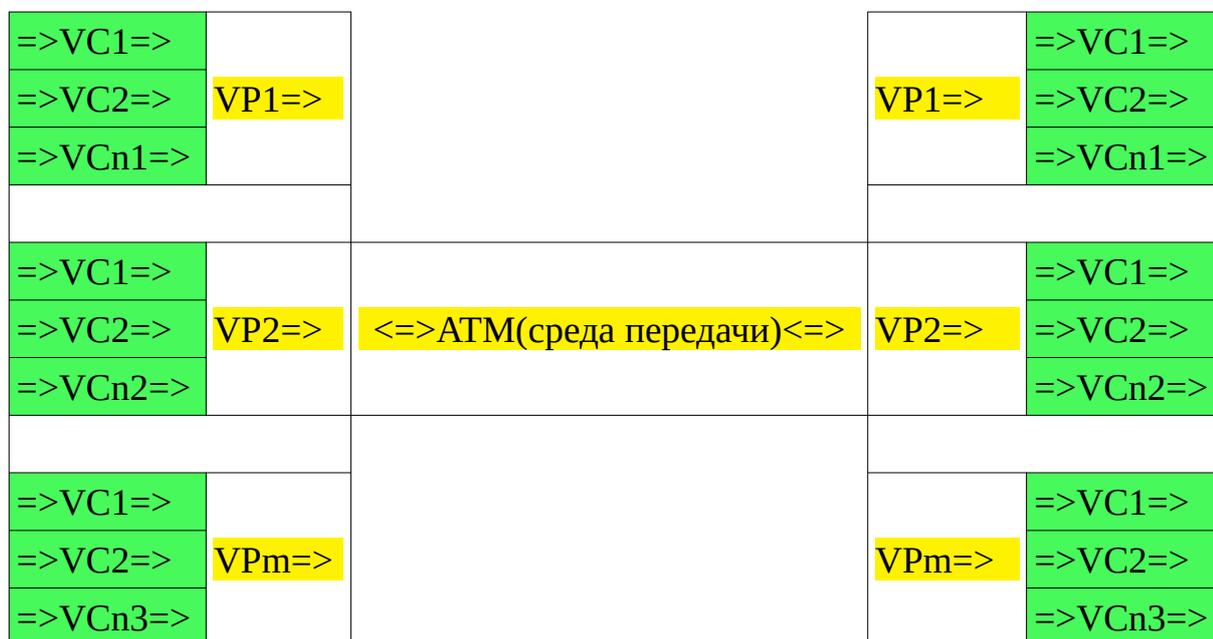
Процедура сегментации/сращивания сокращенно называется SAR.

Полученные и озаглавленные после сегментации ячейки методом асинхронного мультиплексирования (по мере поступления ячеек) поступают в каналы АТМ для передачи.

2.=> в сети АТМ виртуальное соединение определяется виртуальным каналом VC — Virtual Channel и виртуальным путем VP — Virtual Path. Виртуальные каналы входят VC в состав виртуальных путей VP и выполняют передачу разнородного трафика в канале(ах) АТМ. Адресное поле каждой ячейки образуют два поля:

VPI - Virtual Path Identifier — идентификатор виртуального пути;

VCI - Virtual Channel Identifier — идентификатор виртуального канала.



VPI и VCI для заданного потока ячеек являются постоянными. В процессе передачи потока возможна коммутация, как на уровне VP, так и на уровне VC. VPI и VCI могут принимать зарезервированные значения для передачи служебной информации.

Стандарты АТМ Forum предусматривают деление трафика на пять классов:

- Трафик, передаваемый с постоянной скоростью - CBR;
- Трафик, передаваемый в реальном времени с переменной скоростью — Real-Time VBR или rt-VBR;
- Трафик, передаваемый не в реальном времени с переменной скоростью — Non-Real-Time VBR или nrt-VBR;
- Трафик, передаваемый с неопределенной скоростью - UBR;
- Трафик, передаваемый с максимально доступной скоростью — ABR- Available Bit Rate.

По версии ITU-T для разных категорий трафика применяют разный уровень приложений АТМ — уровень AAL — см. таблицу 3.

Трафик ADSL принято относить к классу С с применением процедур уровня AAL5.

В ADSL применяются встроенные в АТМ процедуры контроля на специальных служебных ячейках OAM — Operating And Maintenance — обслуживание и управление. Стандарты ITU-T определяют пять потоков передачи ячеек OAM, определяющих неисправности — потоки F1, F2, F3 — физический

уровень регенераторной секции, мультиплексорной секции и маршрута высокого уровня соответственно и полностью аналогичны технологии SDH; поток F4 — неисправность виртуального пути VP; поток F5 - неисправность виртуального канала VC. Ячейки потока F4 и F5 выполняют функцию мониторинга качества в обоих направлениях на уровнях VP и VC соответственно и позволяют контролировать соединение. Потеря ячейки OAM воспринимается оборудованием АТМ как сигнал LOC — Loss of Continuity — потеря связности виртуального канала и при приеме LOC генерирует AIS(RDI) — неисправность в прямом(обратном) направлении.

Таблица 3. Классы АТМ и уровни ААL.

Тип трафика	Речь — класс А	Видео — класс В	Данные — класс С (Frame Relay)	Трафик LAN — класс D
Синхронизация	Требуется		Не требуется	
Скорость	Постоянная	Переменная		
Соединение	Ориентировано на установку соединения			Без соединения
Тип ААL	ААL1	ААL2	ААL5	ААL3/4

Типовые значения в полях установок уровня АТМ для ADSL следующие:

- номер VPI(8)/VCI(35);
- тип нагрузки QoS (UBR);
- параметры трафика по MEF: PCR, SCR и MBS.

Далее сформированный АТМ-поток данных кодируется помехоустойчивым кодом Рида-Соломона с прямым исправлением ошибок FEC-Forward Error Correction и поступает на линейный передатчик, работающий по DMT алгоритму. Кроме кодирования, для уменьшения вероятности возникновения последовательных групповых ошибок используется процедура перемежения — режим Interleaving, который возможно отключить — режим Fast .

Вначале на этапе проверки качества линии передатчик, после измерения уровня помех в частотном диапазоне участка, для каждого из каналов выбирает уровень QAM схемы модуляции. Для чистых каналов с низким уровнем шумов используются алгоритмы с большим уровнем QAM, например, QAM 64, и при этом на более зашумленных участках применяются простые алгоритмы модуляции, например QPSK. Это позволяет наиболее точно согласовывать параметры модулированного сигнала с параметрами линии, по которой он будет передаваться применяя принцип регулирования скорости передачи данных. При такой передаче данные распределяются между отдельными независимыми каналами пропорционально их пропускной способности, приемник выполняет операцию демультимплексирования и восстанавливает исходный поток данных. Алгоритм модуляции DMT считается громоздким и недостаточно технологичным из-за сложности аппаратной реализации среди всех алгоритмов, которые в настоящее время используются для формирования линейного кода устройств DSL.

Процесс установления соединения

В момент подключения к линии ADSL-модема DSLAM выполняет последовательно процедуру активизации соединения в четыре этапа:

- предварительный обмен данными — Handshaking;
- диагностику соединения — Training;
- диагностику каналов обмена данными;
- установление режима обмена данными — обычный рабочий режим.

На первом этапе Handshaking DSLAM использует обычную DPSK-модуляцию — дифференциальную фазовую и это позволяет выполнять максимально устойчивый обмен данными на физическом уровне. Эта стадия устанавливает принципиальную совместимость устройств и оба устройства определяют совместимый режим обмена данными.

На этапе диагностики соединения Training выполняется настройка модема и DSLAMа к конкретной линии:

- измеряется мощность сигнала вверх и настраивается уровень мощности DSLAMа вниз;
- настраиваются режимы управления генерации сигнала AGC-Automatic gain control;
- настраиваются режимы эхокомпенсации;
- настраиваются параметры фильтров — эквалайзеров.

На этапе диагностики каналов обмена данными тестируются параметры линии, определяется SNR-отношение сигнал/шум на каждой несущей и для неё устанавливается приемлемый уровень модуляции QAM (4, 16, 32, 64, 128, 256) с проверкой возможности передачи. Это выполняется в цикле для всех несущих с использованием OAM ячеек. Таким образом DSLAM и модем договариваются о максимальной скорости передачи данных вверх и вниз.

Далее оба устройства завершают процедуру активизации и включают рабочий режим обмена данными.

Похожий на алгоритм DMT модуляционный алгоритм OFDM - orthogonal frequency division multiplexing является его упрощенным вариантом, который использует единый уровень QAM-модуляции для всех частотных подканалов (несущих, поднесущих, бинов), то есть единое значение спектральной эффективности полосы пропускания.

Передача данных по коаксиальному кабелю — технология DOCSIS.

Data Over Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) — стандарт передачи данных по коаксиальному телевизионному кабелю.

Он позволяет осуществлять передачу данных абоненту по сети кабельного телевидения с максимальной скоростью до 42 Мбит/с (55,6 МГц для EuroDOCSIS) при ширине полосы пропускания 6 МГц (8 МГц для EuroDOCSIS) в свободном канале прямого направления и использовании многопозиционной амплитудной модуляции 256-QAM, и получение данных от абонента со скоростью до 10,24 Мбит/с в свободном канале обратного направления и использовании модуляции 64-QAM.

Каналы обратного направления — от абонента — формируются в диапазоне частот 5...42/65 МГц.

Каналы прямого направления — к абоненту — формируются в диапазоне частот 54...1002 МГц.

В отличие от других проводных технологий (DVB-RCC, ADSL), использующих ATM Cell transport, DOCSIS работает с нефиксированной длиной пакета и прямой поддержкой IP-протокола.

Для модуляции частоты используется QAM с одной несущей (SC-QAM) и символы передаются на этой частоте строго последовательно. При возникновении проблем с приёмом сигнала уровень модуляции необходимо понижать, причем не только для этой частоты, но и для всех остальных каналов в сети. То есть модуляция должна быть оптимизирована под самую худшую часть коаксиальной сети.

Все абоненты подключенные к сети разделяют ресурсы одного канала в прямом и обратном направлении. Так работают версии DOCSIS 1.X-2.0.

Версия DOCSIS 3.0 имеет 2 релиза — начальный 0 — использует в прямом и обратном канале 4 свободных канала одновременно и это поднимает скорость передачи прямой/обратный — 171.52/122.88 Мбит/с и релиз 1 — 8/4 канала — скорость — 343.04/122.88 Мбит/с. При передаче применяется предварительное кодирование данных кодом Рида-Соломона с прямой коррекцией ошибок (FEC).

Версия DOCSIS 3.1 для передачи данных использует технологию OFDM с шириной полосы от 24 до 192 МГц внутри которой можно разместить до 8 тысяч поднесущих с шириной полосы 25 или 50 кГц каждая, т. е. 7680 поднесущих 25 кГц или 3840 поднесущих 50 кГц. При передаче применяется предварительное кодирование данных кодом с малой плотностью проверок на чётность (low density parity check — LDPC).

Преимущество OFDM заключается в том, что символы передаются одновременно на разных частотах. Это создаёт возможность исключить поднесущую, если на этой поднесущей возникли помехи и увеличить уровень модуляции на соседней за счет объединения соседних частот, что в свою очередь позволяет продолжить передачу данных с оптимальным уровнем производительности.

Тип модуляции в OFDM задаётся на период времени между проверками ошибок, поэтому данная технология позволяет контролировать взаимное соотношение фаз поднесущих. Если одна поднесущая находится на пике, то соседняя может быть настроена в противофазе, т.е. в нуле. Это уменьшает интерференцию между соседними поднесущими и позволяет использовать для них более высокие уровни модуляции и, соответственно, повысить общую пропускную способность сети. Вместо того, чтобы использовать один уровень модуляции для

всего диапазона, OFDM позволяет использовать различные уровни модуляции для каждой поднесущей.

В DOCSIS 3.1 используются 4 (А - QAM-16 и QAM-64, В - QAM-1024, С - QAM-2048, D - QAM-4096) модуляционных профиля таким образом, чтобы задавать индивидуальные уровни модуляции для всех поднесущих и иметь максимальную производительность и низкий уровень ошибок. Кроме этого в начале сессий используется загрузочный профиль уровня PLC – PHY link channel, при котором используется только BPSK или 16 QAM, это позволяет добиться отсутствия некорректируемых ошибок кодовых слов (uncorrectable codeword errors — CWE), измерить параметры уровней мощности и MER. Если в рабочих профилях начиная с А появляются некорректируемые ошибки, то модем перейдет в режим DCOSIS 3.0 и не будет никакого увеличения эффективности. Профиль А может работать и на более высоких уровнях модуляции, при этом допускаются корректируемые ошибки CWE, это нормально, главное, чтобы не было некорректируемых.

В итоге DOCSIS 3.1 реализует скорости до 10ГБит/с-Downstream (в диапазоне 500-1794МГц, на 200 экв.каналах ТВ) и 2ГБит/с-Upstream (в диапазоне 5-400МГц, на 60 экв.каналах ТВ). В более старом релизе 7/1ГБит/с.

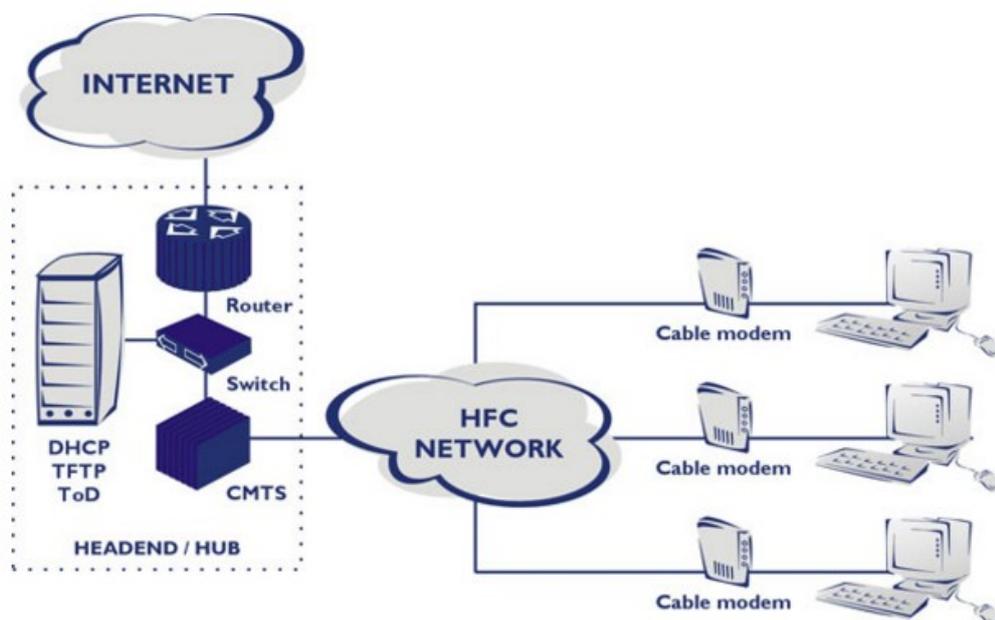


Рис. 4. Обобщенная схема работы технологии DOCSIS.

3. Выделенные линии. Способы формирования сигналов.

Рассмотрим это подробнее с точки зрения использования вариантов модуляции сигнала и кодирования. Цифровой сигнал, прежде чем попасть в линию, подвергается кодированию и преобразованию в аналоговый сигнал. Пропускная способность линий V (бит/с), в соответствии с теоремой Шеннона, зависит от ширины полосы пропускания F (Гц) и допустимого соотношения сигнал/шум S/N (Дб): $V = F \cdot \log_2(1 + S/N)$.

В отличие от телефонии, на линиях верхняя граница полосы пропускания не ограничена, однако на частотах свыше 1,5—2 МГц затухание сигнала крайне велико (следовательно, отношение сигнал/шум очень мало). Но с другой стороны, в области

высоких частот шумов не много. Таким образом, скорость передачи в медной паре ограничена только затуханием сигнала и зашумленностью линии.

Наиболее простой способ передачи данных – импульсно-кодовая модуляция (ИКМ, РСМ). Именно его разновидности применены в трактах T1 и E1. При этом каждый бит представлен отдельным импульсом – положительным или отрицательным. Прием/передача происходят по отдельным симплексным парам. Следовательно, для обмена данными со скоростью 2048 Кбит/с необходима тактовая частота свыше 2 МГц. Причем помехи в какой-либо локальной, пусть даже узкой, области спектра вызывают потерю данных. И в дополнение, неизбежно мощный сигнал – это источник помех для всех близлежащих высокоскоростных линий (из-за паразитной емкости между ними).

В скоростных модемах ИКМ не приемлема, там используют квадратурно-амплитудную модуляцию (QAM, Quadrature Amplitude Modulation), по сути являющуюся амплитудно-фазовой модуляцией. На рис. 5а показан принцип кодирования сигнала в простейшем варианте – 4QAM.

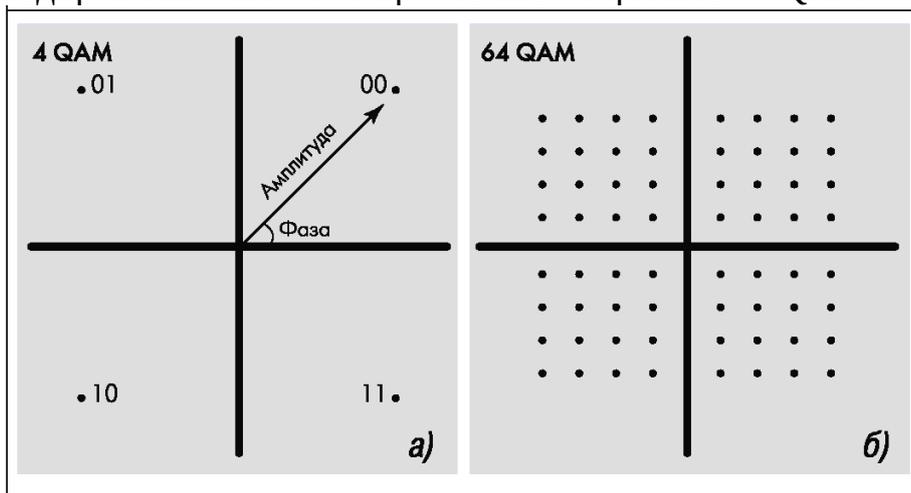


Рис. 5. Пример модуляции 4QAM и 64QAM.

Радиус-вектор соответствует амплитуде, угол – фазе. Каждое положение вектора задает определенный информационный символ. В примере на рис. 5а в каждом из четырех символов два бита. Скорость передачи символов измеряется в бодах (число символов в секунду) и не может превышать частоту несущей. Очевидно, что чем больше бит в символе, тем вероятнее использовать более низкую частоту несущей для той же скорости и уже спектральная область (рис. 5б). В технологии HDSL, так же как и в ISDN, сначала использовали модуляцию 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) вариант QAM с двумя битами в одном “четверичном” символе. Сравнение спектральных характеристик канала T1 с линейным кодом AMI (один бит на символ) и HDSL с той же скоростью обмена (2048 Кбит/с) показывает существенно большую эффективность 2B1Q (рис. 3).

Однако в ряде случаев, на очень многих российских линиях, спектральной эффективности 2B1Q недостаточно. Дальнейшим развитием QAM явилась амплитудно-фазовая модуляция с удалением несущей CAP (Carrierless Amplitude Phase modulation). Принципиальное отличие CAP от QAM – в способе получения выходного аналогового сигнала. Если в QAM применяют аналоговые смесители двух опорных сигналов (синусоидального и косинусоидального), то выходной сигнал CAP вычисляется чисто цифровым способом, а затем преобразуется цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) и передается в линию. CAP-модуляция похожа

на QAM: они имеют одинаковые формы спектра. При использовании метода CAP, модуляция в подканалах осуществляется путем применения двух цифровых трансверсальных полосовых фильтров, импульсные характеристики которых представляют пару Гильберта (одинаковые амплитуды, при фазах отличающихся на $(\pi/2)$). Реализовать такую цифровую обработку в ИС легче и дешевле, чем аналоговую. Спектр сигналов многоуровневой CAP – например CAP64 и CAP128 (6 и 7 битов в символе соответственно) – позволяет добиваться весьма узкой спектральной полосы (рис. 3), поэтому данный вид модуляции активно используется в DSL-технологиях.

Именно спектральными особенностями линейного сигнала объясняются основные преимущества оборудования, использующего модуляцию CAP:

- повышение дальности работы, обусловленное тем, что более низкочастотный (по сравнению с 2B1Q) сигнал меньше ослабляется кабельной линией;
- отсутствие в спектре высокочастотных составляющих обеспечивает нечувствительность к высокочастотным и импульсным шумам, радиоинтерференции, значительно снижает перекрестные наводки;
- отсутствие взаимовлияния в низкочастотной части спектра, традиционно используемой для аналоговой передачи телефонных разговоров и сигнализации, минимальный уровень создаваемых помех и наводок на соседние пары, в спектре нет составляющих ниже 4 кГц, совместимость с аппаратурой уплотнения, работающей по соседним парам;
- нечувствительность к низкочастотным наводкам от силовых установок (наземный электротранспорт, метро, железнодорожный транспорт и др.) и электрических сетей;
- высокая помехоустойчивость и нечувствительность к групповому времени задержки в следствии отсутствия в спектре высокочастотных (свыше 260 кГц) и низкочастотных (ниже 40) составляющих и общей шириной спектра группового сигнала около 200 кГц.

Все эти преимущества CAP проявляются в полностью исправных кабелях, но если в кабеле есть земля или разнопарка, даже в нерабочей паре отношение сигнал/шум на линии значительно ухудшается, начинают проявляться антенные и трансформаторные эффекты и скорость на линии может значительно снизиться или связь между модемами оборваться вообще.

Рассматривая симметричные технологии HDSL и SDSL с точки зрения одновременного использования АЛ и для традиционной телефонии можно сказать, что некоторые типы модемов и технологий это допускают, даже без использования сплиттеров, но по опыту работы сбои в таких линиях наблюдаются чаще.

Для организации защищенных сертифицированных каналов на выделенных линиях на сетях операторов используется оборудование работающее по протоколу X.25. В качестве физической среды передачи данных используется синхронный канал ПД любого типа — организация синхронной дуплексной передачи ITU V.24/EIA RS-232, X.21bis или X.20.bis. На канальном уровне обеспечивается передача кадров между X.25 DTE (терминальное устройство) и X.25 DCE (сетевое устройство) и следующие функции:

- организация канала для логических соединений между DTE и DCE;

- контроль ошибок при передаче кадров;
- управление потоком данных;
- разрыв соединения.

Работа канального уровня базируется на протоколе HDLC (High Level Data Link Control).

На пакетном уровне выполняется организация соединений, передача данных пакетами X.25, разрыв соединений, восстановление соединений (рестарт).

Структура пакета X.25:

Заголовок кадра — Информационное поле — Завершение кадра

Информационное поле состоит:

GFI — LGN(4 бита) — LCN(8бит) — Packet X.25 type ID — User Data

где,

GFI — общий идентификатор формата;

LGN(4 бита) — номер группы логического канала — до 16 групп;

LCN(8бит) — номер логического канала — до 255 номеров;

Packet X.25 type ID — тип пакета (запрос соед., запрос разрыва, подтв., сброс...);

User Data — поле данных.

Каждый логический канал может принимать и инициировать вызовы. Каналы управляются пользователем.

4. Наложённые услуги. Проблемы и решения в проводных сетях.

Как упоминалось ранее, особенно привлекательными для оператора являются те технологии, в которых можно не отказываясь от уже используемых услуг, на тех же АЛ, по существу в той же сети доступа, предоставлять и новые виды доступа и услуги на их основе. На использовании такого принципа появилось и закрепилось понятие наложенной услуги и наложенной сети.

В 1987 году профессор Стэнфордского университета Джон М.Сиоффи (John M. Cioffi) разработал новый вид линейного кодирования – дискретную многотоновую модуляцию DMT (Discret Multi-Tone), метод передачи на основе многих несущих. В 1992 году он основал компанию Amati Corp. (сейчас – в составе Texas Instruments) и выпустил первые ADSL-модемы на основе DMT–Prelude. Вскоре за Прелюдией последовала Увертюра (Overture) – новое семейство ADSL-модемов. DMT оказалась столь удачна, что стала международным стандартом. Весь спектральный диапазон разбивается на субканалы (обычно 256) шириной по 4 кГц (рис. 1 и 2). В каждом из субканалов выполняется QAM-модуляция несущей (центральная частота субканала) со скоростью до 15 бит/символ/Гц. Это можно представить как одновременную работу 256 аналоговых модемов с максимальной производительностью 60 Кбит/с каждый. Следовательно, теоретически возможная скорость обмена с использованием DMT – около 15 Мбит/с. Естественно, в реальной работе используется только часть несущих, и скорость данных в каждом субканале может опускаться до 4 бит/символ/Гц и ниже.

DMT оказалась столь удачной, что фактически стала стандартом для асимметричных DSL, вытеснив претендовавшую на эту роль CAP. Прежде всего,

она допускает очень гибкое и динамичное частотное планирование, позволяя избежать зашумленные участки, область телефонии и т.д.

DMT – это “высокоинтеллектуальная” технология. Модем способен определить уровень шума в каждом субканале и задать оптимальное число битов в символе для каждой несущей (рис. 2). Кроме того, при равной скорости время передачи отдельного символа в DMT во много раз (до 250) больше, чем в CAP. Следовательно, короткие широкополосные импульсные помехи менее опасны для сигнала DMT, чем для сигналов CAP (рис. 3). Что еще существеннее, DMT позволяет очень гибко и плавно – с шагом 32 Кбит/с изменять скорость передачи, подстраиваясь под конкретную линию. Так же гибко меняется соотношение скоростей восходящего/нисходящего потоков. Явное достоинство модуляции CAP – меньшая энергоемкость - устройства с CAP могут питаться от линии). Это важно для приложений симметричной DSL, но не существенно для ADSL, поскольку все устройства находятся либо у оператора, либо у пользователя, где нет проблем с электропитанием. Немаловажно, что DMT-оборудование разных производителей, на основе различных комплектов ИС хорошо совместимо друг с другом, чего нельзя сказать про CAP. Победу DMT над CAP в ADSL-приложениях официально подтвердил Международный телекоммуникационный союз (ITU), придав ему статус международного стандарта – G.992.1.

Современные xDSL-модемы сконцентрировали все лучшее, что использовалось и в голосовом диапазоне (до 4 кГц) – методы сжатия данных, контроля и восстановления данных, тестирование линии и учет ее особенностей и т.д. Однако основную проблему – исключение взаимовлияния модемов при работе с линиями из одного кабеля – полностью решить не удалось.

Особое значение данная проблема приобретает в отношении устройств, использующих асимметричную технологию для организации симметричного канала. При этом на одном конце линии фактически оказываются два ADSL-модема, развернутых по отношению друг к другу. В результате не ослабленный линией сигнал одного модема может вызвать помехи в приемном тракте другого, поскольку спектральные области совпадают. Скорость обмена резко упадет у всех, кто работает в “стандартном” направлении в том же кабеле. Столь же нежелательный эффект могут дать и линии E1/T1 из-за очень широкого спектра.

Основную сложность установки ADSL-модема создавал сплиттер – устройство, представляющее собой набор высокочастотных и низкочастотных фильтров для спектрального разделения телефонной аппаратуры и ADSL-модема. Стоит такое устройство вместе с установкой порядка 100—200 долл. А без него работать на одной линии с телефоном модему сложно. Телефоны в момент набора, снятия/опускания трубки, звонка создают импульсные помехи в спектральной области ADSL (выше 25—40 кГц). Телефонная проводка играет роль антенны для радиовещательных станций, особенно если на конце линии нет никаких устройств (в телефонную розетку без фильтра не включен телефон). Кроме того, телефонная аппаратура изменяет физические параметры линии (импеданс), как в процессе работы, так и просто при подключении дополнительного телефона. Вот зачем нужно устройство для надежного отделения телефонного тракта (до 4 кГц) от высокочастотного модема.

Однако современные технологии, прежде всего цифровые сигнальные процессоры (DSP), позволяют в процессе работы анализировать состояние линии и

оперативно подстраиваться под него. Хорошо работают основные достоинства DMT. Появилась возможность избавиться от сплиттера. В результате родился стандарт G.Lite (облегченный ADSL), не требовавший сплиттера, со скоростями нисходящего потока до 1,5 Мбит/с и восходящего – до 512 Кбит/с. Летом 1999 года он был утвержден ITU как G.992.2. Стоимость устройств G.Lite значительно дешевле и приближается к стоимости аналоговых модемов. Однако опыт их эксплуатации выявил ряд проблем. Прежде всего, сказывается отсутствие сплиттера. При изменении параметров линии модему требуется время на адаптацию, а в ряде приложений, например при передаче голоса – Voice Over ADSL, это недопустимо. Но нашлось достаточно простое решение – использовать НЧ-микрофильтр на каждом телефонном устройстве, например фильтр Чебышева второго порядка. Стоимость таких фильтров – мала, установка не вызывает проблем, а эффект весьма ощутим. Хотя скорость обмена снизилась, остались проблемы спектральной совместимости нескольких линий G.Lite в одном кабеле. Но несмотря ни на что, новый стандарт поддержан основными производителями оборудования и комплектов ИС.

Наложение услуг на реальных сетях операторов.

На кроссах АТС установлены рамки, к которым подведены линии от АТС и DSLAM. Через стационарный сплиттер стандарта «Annex A» линии объединяются и подаются в магистраль. В случае выделенной линии порт АТС в данной схеме отсутствует. Со стороны абонента установлен сплиттер такого же стандарта, что и на АТС, который делит входящий сигнал на две составляющие: низкочастотную (телефон) и высокочастотную (интернет).

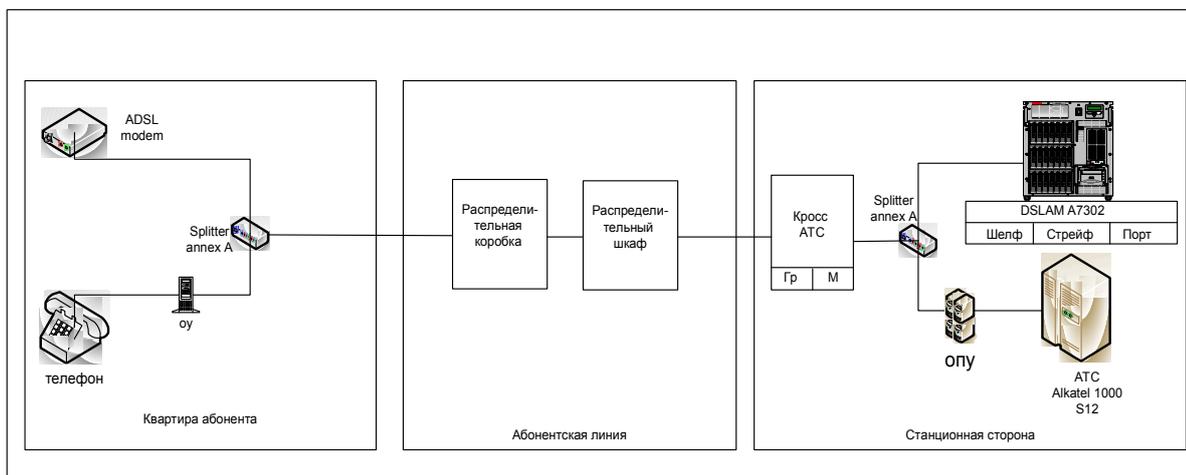


Рис. 6. Подключение услуг к АЛ с использованием ADSL-модемов.

Параметрические требования к АЛ для использования DSL-технологий.

Абонентская телефонная линия, при использовании её для технологий DSL, должна обладать следующими параметрами:

Первичные параметры:

Сопротивление шлейфа — не более 1000 Ом (определяется длиной линии),

Сопротивление изоляции — не менее 40 МОм,

Ёмкость шлейфа — не более 300 нФ,

Ёмкостная асимметрия — не более 10 нФ, или не более 5 %.

Вторичные параметры:

Затухание сигнала (Line Attenuation):

до 20 dB — отличная линия;

от 20 dB до 40 dB — рабочая линия;

от 40 dB до 50 dB — возможны сбои;

от 50 dB до 60 dB — периодически пропадает синхронизация;

от 60 dB и выше — оборудование работать не будет.

Уровень шума:

от -65 dB до -50 dB — линия отличная;

от -51 dB до -35 dB — хорошая линия;

от -36 dB до -20 dB — работа с периодическими сбоями;

от -19 dB и ниже — работа оборудования невозможна.

SN Margin (AKA Signal или Noise Margin или Signal-to-Noise Ratio(SNR)):

до 6 dB — плохая линия, присутствуют проблемы синхронизации;

от 7 dB до 10 dB — возможны сбои;

от 11 dB до 20 dB — хорошая линия, без проблем с синхронизацией;

от 20 dB до 28 dB — очень хорошая линия;

от 29 dB — отличная линия.

Конструкционные требования кабелей проводных сетей:

Кабели на основе витой пары по рабочей частоте делятся на следующие категории.

– К категории 1 относят обычные не витые телефонные кабели. По ним можно передавать только речь.

– Кабель категории 2 позволяет передавать данные в полосе частот до 1МГц (используется редко).

– Кабель категории 3 используется для передачи данных в полосе частот до 16МГц. Он состоит из витых пар с девятью витками проводов на 1м длины.

– Кабель категории 4 передает данные в полосе частот до 20МГц. Используется редко, т.к. не слишком отличается от категории 3.

– Кабель категории 5 в настоящее время самый применяемый кабель, рассчитанный на передачу данных в полосе частот до 100МГц. Состоит из витых пар, имеющих не менее 27-ми витков на 1м длины.

– Кабель категории 6 — перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 (или 250)МГц.

Повив проводников был изобретен Грэхемом Беллом в 1881 году, именно он впервые применил эту технику к телефонным проводам, пролегающим вдоль линий электропередач и обнаружил, что при свитых проводниках линии через каждые 3-4 столба, значительно уменьшаются помехи и дальность передачи сигнала возрастает.

Витая пара стала основой для всех проводных кабелей, в том числе и Ethernet-кабелей. Это позволило сократить влияние внутренних перекрестных помех и перекрестных наводок от внешних источников.

Рассмотрим самые применяемые кабели для Ethernet сетей.

Два главных физических различия между кабелями Cat-5 и Cat-6 – это количество витков витой пары на единицу длины и толщина оплетки.

Длина витка по показателям не стандартизирована, но обычно у категории Cat-5(e) 1.5-2 витка на сантиметр, а у категории Cat-6 количество витков больше 2.

Внутри одного кабеля, каждая цветная пара обладает различной длиной витка, основанной на простых числах. Длины витков подобраны таким образом, чтобы два различных витка никогда не совпадали. Количество витков на каждую цветную пару обычно уникально для каждого производителя. Как можно видеть на рисунке, на 1 дюйм у каждой цветной пары приходится разное количество витков.

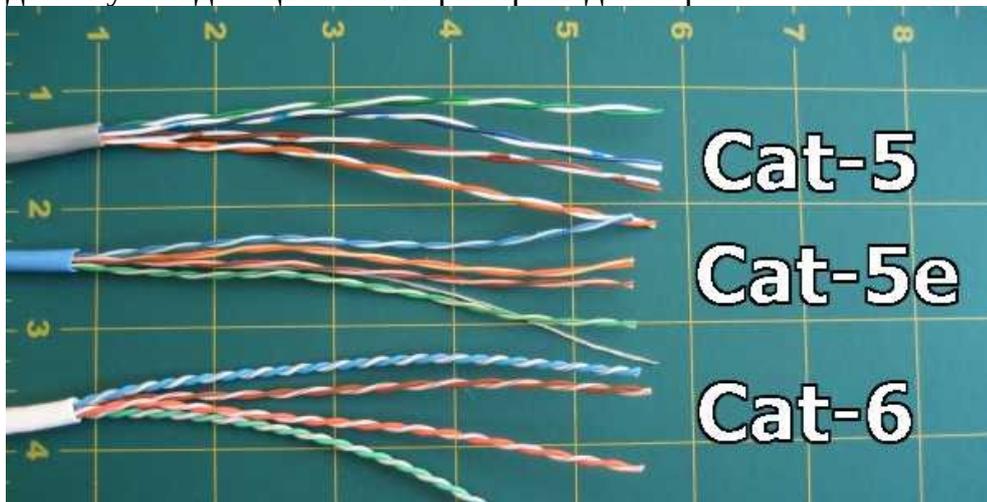


Рис. 7. Примеры разделанных Ethernet-кабелей.

Значительно лучше в условиях помех работают экранированные кабели. При этом обязательным условием является правильное заземление экрана или его присоединение к корпусу (общей шине или проводнику). Неисполнение этого требования может не дать эффекта экранирования, а в некоторых случаях даже ухудшить ситуацию — увеличив уровень помех в линии.



Рис. 8. Примеры кабелей UTP (не экранированный) и STP (экранированный).

Для DSL линии рекомендуется к использованию витая пара не ниже 3 категории.

Перед развертыванием цифровых систем необходимо проверить используемую линию на наличие потенциальных проблем, таких как:

- кабельные отводы, которые практически не влияют на параметры обычной аналоговой телефонной связи, но их влияние проявляется в рабочих диапазонах

частот технологий xDSL. Поэтому число и длина кабельных отводов АЛ, используемых для работы оборудования xDSL, жёстко нормируются;

- пупиновские катушки, которые резко увеличивают затухание АЛ в диапазоне частот выше частоты 4 кГц., который является рабочим диапазоном частот линий xDSL. Поэтому на всех АЛ, используемых в качестве линий xDSL, пупиновские катушки должны быть удалены;

- непреднамеренное скрещивание проводов. Оно появляется, когда при сращивании строительных длин кабеля один из проводов одной пары соединяется с проводом соседней пары.

Также необходимо проверить «последнюю милю» на наличие старых муфт (при необходимости их пересобрать - обязательно по технологии врезного контакта), «надкушенных» проводов, либо проводов с поврежденной изоляцией, не допускается наличие скруток на кабеле, не допускается, чтобы на проводах были видимые повреждения, окисление проводов и т.д.

5. Услуги оповещения и циркулярного вызова. Прочие услуги проводных сетей.

Ранее на САД ТфОП применялась аппаратура оповещения населения (сирены и громкоговорящая связь) и аппаратура циркулярного вызова (для подачи сигнала вызова абоненту ТфОП - по списку, в случаях экстренных или чрезвычайных ситуаций). Для этого использовались обычные АЛ. К таким линиям - обычно на линейную сторону кросса подавались сигналы от специально установленного в УД оборудования оповещения или циркулярного вызова — по принципу параллельного присоединения или дополнительного присоединения, так же как и устройства охраны работающие шлейфовым способом — то есть в самое начало линии, по принципу увеличения надежности, что за этим не должно быть никаких присоединений.

При использовании одной АЛ для подачи таких наложенных (группой) услуг необходимо учитывать использование линий для DSL технологий и присоединять услуги правильно. Присоединение устройств шлейфовой (включая устройства вч-шлейфов) охраны должно производиться до сплиттера, как и подача сигналов циркулярного вызова. Оборудование оповещения обычно работает по выделенным линиям.

Обычные АЛ используют и для присоединения абонентского телеграфного оборудования и подключения к сетям АТ (абонентского телеграфирования) и ТгОП (почтовые отделения, военкоматы, УВД, ВЧ и пр.) телеграфных модемов и аппаратов. Это также необходимо учитывать при эксплуатации сетей ПД на базе использования проводных сетей связи.