

09.04.2020

Тема урока: Линии DSL

Задание: Ознакомьтесь с теоретическим материалом.

При подключении абонентов к сети Интернет важнейшую роль играет выбор среды передачи данных для организации "последней мили", то есть линий, по которым помещения абонентов подключаются к точкам доступа оператора. В настоящее время известны и широко используются в городских условиях следующие средства для организации "последней мили":

- телефонные медные провода;
- волоконно-оптические кабели;
- телевизионные кабельные сети;
- радиэфир (технология "радио-Ethernet");
- каналы спутникового телевидения

Наиболее доступны с точки зрения затрат те средства передачи данных, которые используют линии телефонной сети общего пользования и технологии DSL. Сокращение DSL расшифровывается как Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия).

Технологии DSL позволяют значительно увеличить скорость передачи данных по медным парам телефонных проводов без необходимости модернизации абонентских телефонных линий. Именно возможность преобразования существующих телефонных линий в высокоскоростные каналы передачи данных и является главным преимуществом технологий DSL.

DSL является достаточно новой технологией, позволяющей значительно расширить полосу пропускания старых медных телефонных линий, соединяющих телефонные станции с индивидуальными абонентами. Любой абонент, пользующийся в настоящий момент обычной телефонной связью, имеет возможность с помощью технологии DSL значительно увеличить скорость своего соединения, например, с сетью Интернет. Следует помнить, что для организации линии DSL используются именно существующие телефонные линии; данная технология тем и хороша, что не требует прокладывания дополнительных телефонных кабелей. В результате вы получаете круглосуточный доступ в сеть Интернет с сохранением нормальной работы обычной телефонной связи.

Благодаря многообразию технологий DSL пользователь может выбрать подходящую именно ему скорость передачи данных — от 32 Кбит/с до более чем 50 Мбит/с. Данные технологии позволяют также использовать обычную телефонную линию для таких широкополосных систем, как видео по запросу

или дистанционное обучение. Причем скорость передачи данных **зависит только от качества и протяженности линии**, соединяющих пользователя и провайдера.

DSL представляет собой набор различных технологий, позволяющих организовать цифровую абонентскую линию.

Все технологии DSL (ISDN-BA, ADSL, HDSL, SDSL, VDSL и SHDSL) разработаны для обеспечения высокоскоростной передачи данных по телефонным линиям, изначально предназначенным для осуществления голосовой связи в спектре частот 300 Гц - 3,4 кГц. В качестве предварительной меры, призванной обеспечить нормальную работу технологий DSL, с используемых для высокоскоростной передачи данных телефонных линий должны быть удалены **пупиновские** катушки. Такие катушки устанавливались на некоторых сетях через определенное расстояние и позволяли повысить качество телефонной связи по длинным линиям. Развитие технологий цифровой обработки сигнала (DSP) в сочетании с новейшими алгоритмами и технологиями кодирования позволили значительно поднять информационную емкость сетей доступа. Ширина используемой полосы частот увеличилась на два порядка за последнее десятилетие: от приблизительно 100 кГц для узкополосной ISDN-BA до более чем 10 МГц для VDSL.

Рассмотрим технологии, которые DSL объединяет под своей крышей.

ISDN-BA (DSL)

Эта технология использует 4-уровневый линейный код PAM (амплитудно-импульсная модуляция, прямая, немодулированная передача), известный как 2B1Q.

В большинстве своем модемы ISDN-BA используют технологию компенсации эхо-сигналов, которая позволяет организовать полностью дуплексную передачу по одной паре телефонных проводов. Трансиверы ISDN-BA, в которых используется технология эхоподавления, позволяют использовать полосу частот приблизительно от 10 кГц до 100 кГц, а пик спектральной плотности мощности систем DSL, базирующихся на 2B1Q, находится в районе 40 кГц.

Системы ISDN-BA выгодно отличаются тем, что могут использоваться на длинных телефонных линиях, и большая часть абонентских линий допускает использование данных систем. Данная технология уже используется в течение значительного времени, и за последние годы было достигнуто значительное улучшение рабочих характеристик трансиверов.

Международные стандарты ISDN-BA в большей степени определяют аспекты передачи для физического уровня для интерфейса ISDN «U» (только проводной интерфейс) и обслуживанию, предоставляемому по шине S/T(сетевой интерфейс пользователя).

Передача данных по линии DSL обычно осуществляется по двум каналам «B» (каналам передачи информации) со скоростью 64 Кбит/с по каждому, плюс по каналу «D» (служебному каналу), по которому со скоростью 16 Кбит/с передаются сигналы управления и служебная информация. Это обеспечивает пользователю возможность доступа со скоростью 128 Кбит/с. Дополнительный служебный канал в 16 Кбит/с недоступен конечному пользователю.

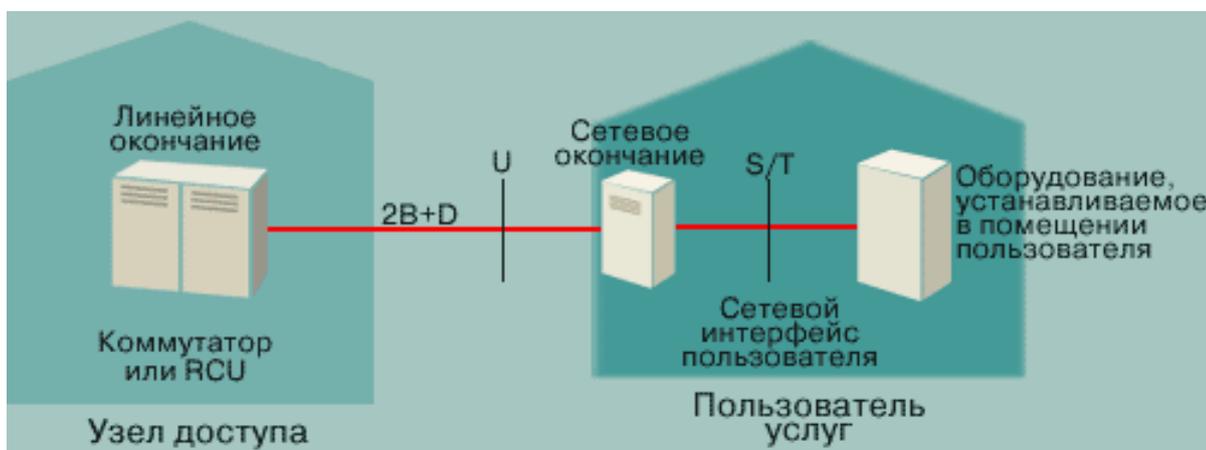
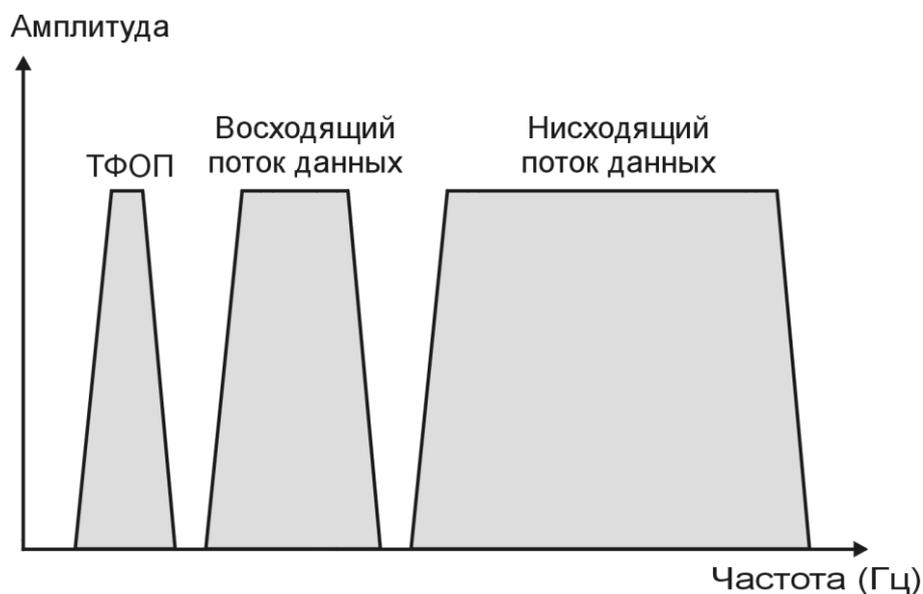


Рис 1. Концепция ISDN-BA базового уровня (DSL).

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line — асимметричная цифровая абонентская линия)

Технология ADSL (асимметричная цифровая абонентская линия) была разработана в Северной Америке в середине 1990-х годов. Она была разработана для предоставления таких услуг, которые требуют асимметричной передачи данных, например, видео по запросу, когда требуется передавать большой поток данных в сторону пользователя, а в сторону сети от пользователя передается гораздо меньший объем данных. При этом организуются три информационных канала — «нисходящий» поток передачи данных, «восходящий» поток передачи данных и канал обычной телефонной связи (ТФОП) (рис.). Канал телефонной связи выделяется с помощью фильтров, что гарантирует работу телефона даже при аварии соединения ADSL.



Данная технология является асимметричной, то есть скорость передачи данных от сети к пользователю значительно выше, чем скорость передачи данных от пользователя в сеть. Такая асимметрия, в сочетании с состоянием «постоянно установленного соединения» (когда исключается необходимость каждый раз набирать телефонный номер и ждать установки соединения), делает технологию ADSL идеальной для организации доступа в сеть Интернет, доступа к локальным сетям (ЛВС) и т.п. При организации таких соединений пользователи обычно получают гораздо больший объем информации, чем передают.

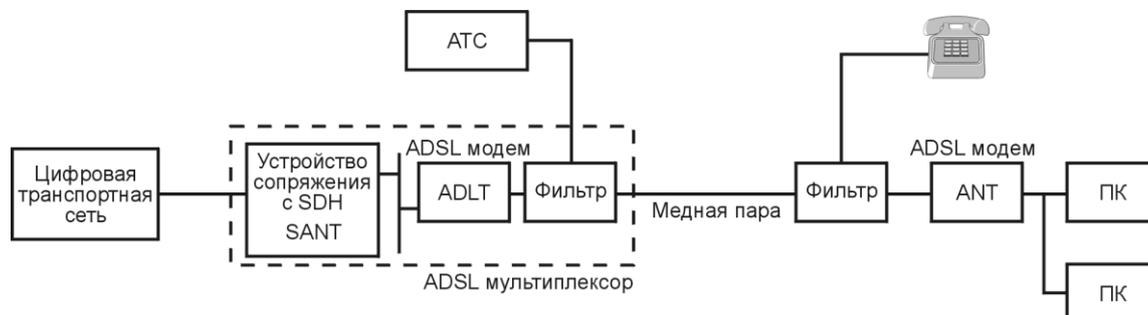
Технология ADSL обеспечивает по проводам диаметром 0,5 мм. :

- скорость «нисходящего» потока данных от 1,5 Мбит/с до 8 Мбит/с ;
- скорость «восходящего» потока данных от 640 Кбит/с до 1,5 Мбит/с.;
- скорость 1,5 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов;
- скорость 6-8 Мбит/с на расстояние не более 3,5 км

Кроме «классической» технологии современное ADSL оборудование поддерживают улучшенные модификации технологии ADSL — ADSL2, ADSL2+.

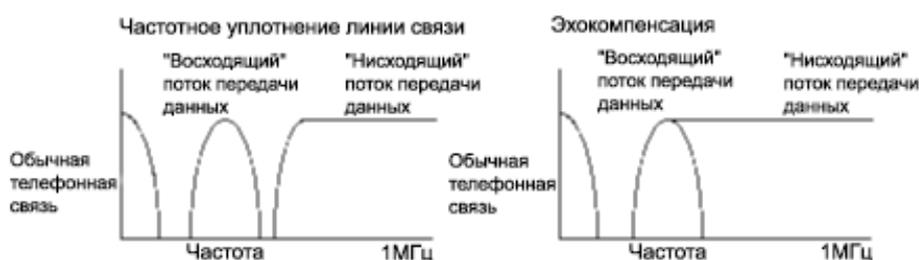
В ADSL2 увеличена скорость и дальность передачи информации, реализована функция адаптивного изменения скорости. Благодаря этим изменениям стала возможной поддержка большого количества новых приложений и дополнительных услуг. В ADSL2+ увеличена вдвое скорость приема информации на расстояниях до 1,5 км.

Кроме того, что технология ADSL обеспечивает крайне асимметричную передачу данных, она также отличается от ISDN-BA тем, что позволяет использовать ту же самую пару проводов для традиционной телефонной связи. Для этого используются специальные устройства разделения сигналов – фильтры (сплиттеры) (рис).



Концепция асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL).

Технология ADSL использует частотное уплотнение линии связи (Frequency Division Multiplexing — FDM) (рис.). При FDM один диапазон выделяется для передачи «восходящего» потока данных, а другой диапазон (более широкий) для «нисходящего» потока данных. Диапазон «нисходящего» потока в свою очередь делится на один или несколько высокоскоростных каналов и один или несколько низкоскоростных каналов передачи данных. Диапазон «восходящего» потока также делится на один или несколько низкоскоростных каналов передачи данных. Кроме этого может применяться технология эхокомпенсации (Echo Cancellation), при использовании которой диапазоны «восходящего» и «нисходящего» потоков перекрываются и разделяются средствами местной эхокомпенсации.



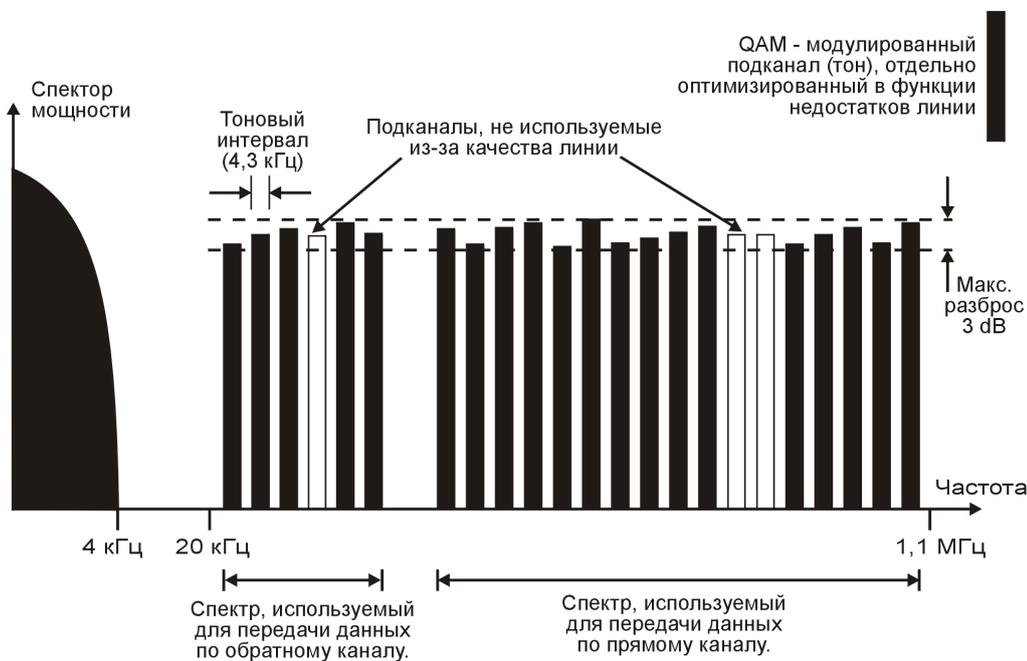
Одним из наиболее важных вопросов при стандартизации систем передачи является вопрос выбора типа используемой модуляции. В процессе стандартизации ADSL, ANSI определил три потенциальных типа модуляции:

- Квадратурная амплитудная модуляция (Quadrature Amplitude Modulation - QAM)
- Амплитудно-фазовая модуляция с подавлением несущей (Carrierless Amplitude/Phase Modulation – CAP)

- Дискретная многотональная модуляция (Discrete MultiTone Modulation – DMT)

Исследования показали, что наиболее производительной является DMT, он и был принят в качестве стандарта для применения в ADSL.

DMT использует модуляцию со многими несущими. Время разбивается на стандартные «периоды символа» (symbol period), в каждый из которых передается один DMT – символ, переносящий фиксированное количество бит. Биты объединяются в группы и присваиваются сигнальным несущим различной частоты. Следовательно, с частотной точки зрения, **DMT разбивает канал на большое число подканалов**. Пропускная способность зависит от полосы частот, то есть подканалы с большей пропускной способностью переносят больше бит. Биты для каждого подканала преобразуются в сложное число, от значения которого зависит амплитуда и фаза соответствующего сигнальной несущей частоты. Таким образом, **DMT можно представить как набор КАМ систем, которые функционируют параллельно, каждая на частоте несущей соответствующей частоте подканала DMT** (смотри рисунок). Итак, DMT передатчик по существу осуществляет модуляцию путем формирования пакетов сигнальных несущих для соответствующего количества частотных подканалов, объединения их вместе и затем посылки их в линию как «символа DMT».



Распределение частот для передачи сигналов ADSL.

Модуляция/демодуляция с использованием многих несущих реализуется в полностью цифровой схеме с помощью развития методов

быстрого преобразования Фурье БПФ (Fast Fourier Transform – FFT). Ранние реализации DMT функционировали плохо в следствии сложности обеспечения равных промежутков между подканалами. Современные реализации функционируют успешно благодаря наличию интегральных микросхем, реализующих БПФ- преобразование аппаратно, что позволяет эффективно синтезировать сумму КАМ-модулированных несущих.

Для достижения оптимальной эффективности главной задачей является выбор количества подканалов (N). Для абонентских телефонных линий оптимальным является значение N=256, которое позволяет не только достигнуть оптимальной производительности, но и сохранить достаточную простоту реализации системы.

При поступлении данных они сохраняются в буфере. Пусть данные поступают со скоростью R бит/с. Они должны быть разделены на группы бит, которые будут затем присвоены DMT символу. Скорость передачи DMT символа обратно пропорциональна его длительности T, таким образом, число бит, присваиваемых символу будет $b=R.T$. (т.е. символьная скорость будет $1/T$). Из этих b бит, b_i бит ($i=1, \dots, N=256$) предназначены для использования в I подканале, таким образом:

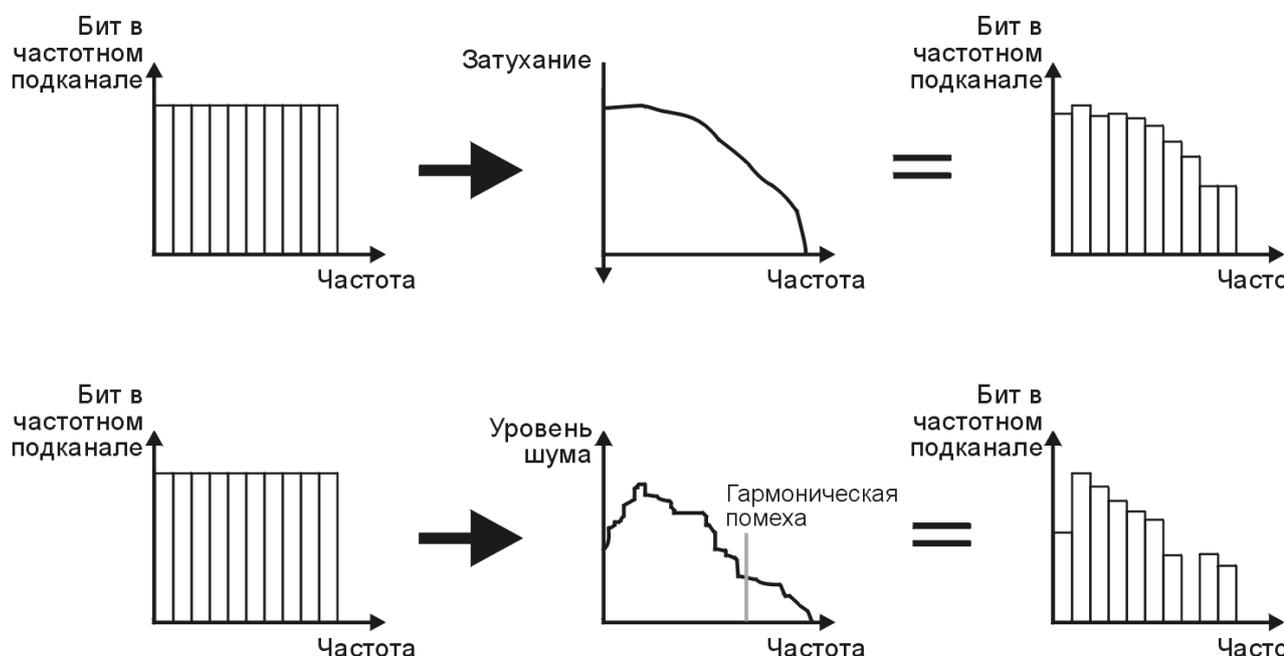
$$b = \sum_{i=1}^N b_i$$

Для каждого из N подканалов, соответствующие ему b_i биты, транслируются кодером DMT в сложный символ X_i , с соответствующей амплитудой и фазой. Каждый символ X_i , может быть рассмотрен как векторное представление процесса модуляции КАМ на частоте несущей f_i . Для данного вектора существует 2^{b_i} возможных значений. Фактически каждые b_i бит представляют точку на сигнальной решетке КАМ, присвоенную определенному каналу i в DMT символе. В результате получается N КАМ векторов. Данные N векторов подаются на вход блок инверсного быстрого преобразования Фурье (Inverse Fast Fourier Transform – IFFT). Каждый символ X_i представлен на определенной частоте, с амплитудой и фазой соответствующими КАМ модуляции. В результате N КАМ векторов представляют из себя набор из N=256 равноудаленных друг от друга частот с заданными частотой и фазой. Данный набор преобразуется IFFT во временную последовательность. N выходов IFFT затем подаются на конвертер, преобразующий сигнал из параллельного в последовательный. Далее осуществляется цифроаналоговое преобразование, с помощью ЦАП (DAC). Перед отправкой непосредственно в линию DMT- символ пропускается через аналоговый полосовой фильтр, который необходим для разделения по частоте направлений передачи от пользователя и к пользователю (как видно, с точки зрения направления передачи система является системой с частотным

разделением каналов (ЧРК). Для приемника осуществляются обратные действия.

Использование узких подканалов имеет преимущество, которое заключается в том, что характеристики кабеля линейны для данного подканала. Поэтому дисперсия импульса в пределах каждого подканала, а следовательно и необходимость в коррекции в приемнике будет минимальна. В следствии наличия импульсного шума принятый символ будет искажен, однако БПФ «раскидает» данный эффект по большому числу подканалов, в результате чего вероятность ошибки будет невелика.

При использовании DMT количество бит данных, передаваемых по каждому подканалу может варьироваться в зависимости от уровня сигнала и шума в данном подканале. Это не только позволяет максимизировать производительность для каждой конкретной абонентской линии, но также позволяет уменьшить влияние таких эффектов как переходные помехи. Количество бит данных, передаваемых по каждому подканалу определяется на фазе инициализации. В общем случае использование более высоких частот вызывает более сильное затухание, что приводит к необходимости использования КАМ более низкой разрядности. С другой стороны, затухание на низких частотах будет ниже, что позволяет использовать КАМ более высокой разрядности. В дополнении к этому, распределение количества бит по подканалам может адаптироваться на фазе передачи данных, в зависимости от качества канала.



Распределение бит по частотным подканалам при использовании DMT

Для обеспечения хорошего качества передачи в технологии ADSL используются коды исправляющие ошибки. Из всего многообразия кодов

данной разновидности, после длительных исследований, ANSI выбрал код Рида-Соломона (Reed-Solomon – RS) в качестве обязательного для всех приемопередатчиков ADSL.

Не двоичные коды Рида-Соломона являются специальным классом линейных блочных кодов.

RS коды функционируют точно так же как и двоичные коды. Единственным различием являются не двоичные символы. Алфавит RS кодов состоит из 256 элементов. Именно поэтому данный класс кодов является не двоичным.

(n,k) RS код представляет из себя циклический код, который преобразует блок из k байтов в блок из n байтов ($n \leq 255$).

С точки зрения кодового расстояния RS коды функционируют наилучшим образом для заданных n и k, т.е. $d_{\min} = n - k + 1$ (d_{\min} – минимальное расстояние Хэмминга).

Аппаратная реализация RS кодера выполняется в виде одного чипа, и позволяет добавить к вектору сообщения до 32 байт, причем максимальный размер кодового вектора может достигать 255 байт.

Наиболее часто используется RS код (255,239). С помощью 16 проверочных байт осуществляется коррекция до 8 ошибочных байт в кодовом векторе

$$d_{\min} = 255 - 239 + 1 = 17 = 2q + 1.$$

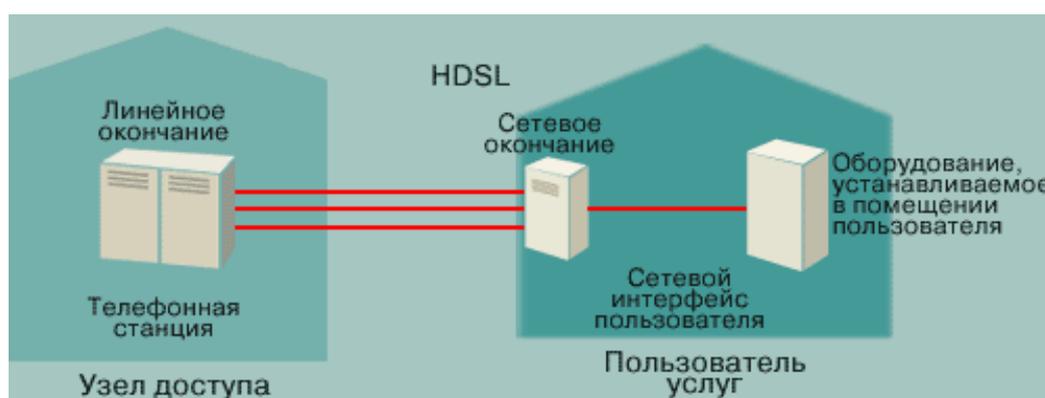
R-ADSL (Rate-Adaptive Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения)

Технология R-ADSL обеспечивает такую же скорость передачи данных, что и технология ADSL, но при этом позволяет адаптировать скорость передачи к протяженности и состоянию используемой витой пары проводов. При использовании технологии R-ADSL соединение на разных телефонных линиях будет иметь разную скорость передачи данных. Скорость передачи данных может выбираться при синхронизации линии, во время соединения или по сигналу, поступающему от станции.

G . Lite (ADSL.Lite) представляет собой более дешёвый и простой в установке вариант технологии ADSL, обеспечивающий скорость «нисходящего» потока данных до 1,5 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных до 512 Кбит/с или по 256 Кбит/с в обоих направлениях.

HDSL (High Bit-Rate Digital Subscriber Line — высокоскоростная цифровая абонентская линия)

Стандарт HDSL (высокоскоростная цифровая абонентская линия) берет свое начало от стандарта ISDN-BA. Оригинальная концепция HDSL была разработана в Северной Америке, разработчики DSL пытались повысить тактовую частоту ISDN, чтобы увидеть, насколько далеко и насколько быстро могут работать системы высокоскоростной передачи данных. Следует также учитывать, что одновременно также очень быстро развивалась технология DSP (технология цифровой обработки сигнала). Исследовательская работа привела к удивительному открытию. Оказывается, даже простая 4-уровневая модуляция PAM (амплитудно-импульсная модуляция) позволяет работать на скоростях до 800 Кбит/с при вполне приемлемой длине линии (в США данная зона называется Carrier Serving Area — зона обслуживания оператора). Была снова использована технология компенсации эхо-сигналов, которая позволила организовать двустороннюю передачу данных со скоростью 784 Кбит/с по одной паре проводов, отвечая при этом всем требованиям по расстоянию передачи и запасу по помехоустойчивости, которые должны быть выполнены для предоставления необходимого качества обслуживания.



Концепция высокоскоростной цифровой абонентской линии (HDSL).

Технология HDSL предусматривает организацию симметричной линии передачи данных, то есть скорости передачи данных от пользователя в сеть и из сети к пользователю равны. Благодаря скорости передачи (1,544 Мбит/с по двум парам проводов и 2,048 Мбит/с по трем парам проводов) телекоммуникационные компании используют технологию HDSL в качестве альтернативы линиям T1/E1. (Линии T1 используются в Северной Америке и обеспечивают скорость передачи данных 1,544 Мбит/с, а линии E1 используются в Европе и обеспечивают скорость передачи данных 2,048 Мбит/с.) Хотя расстояние, на которое система HDSL передает данные (а это порядка 3,5 — 4,5 км), меньше, чем при использовании технологии ADSL, для недорогого, но эффективного, увеличения длины линии HDSL телефонные компании могут установить специальные повторители. Использование для организации линии HDSL двух или трех витых пар телефонных проводов

делает эту систему идеальным решением для соединения серверов Интернет, локальных сетей и т.п. Технология HDSL2 является логическим результатом развития технологии HDSL. Данная технология обеспечивает характеристики, аналогичные технологии HDSL, но при этом использует только одну пару проводов.

Работа линии HDSL основывается на применении эхокомпенсаторов, использующих методы цифровой обработки сигнала. Однако несмотря на большую корректирующую способность эхокомпенсаторов, их возможности не безграничны.

Физическая цепь линии HDSL, как правило, неоднородна и представляет собой совокупность последовательно включённых отрезков витой пары различной длины и различного диаметра. Как правило, диаметр витой пары увеличивается по мере удаления от коммутационной станции, что диктуется экономическими и конструктивными соображениями. Кроме того, типовая абонентская линия имеет достаточно большое количество паяных соединений, поскольку строительная длина многопарных низкочастотных абонентских кабелей сравнительно невелика. Так, например, многопарные кабели телефонной сети имеют строительные длины 150 м; таким образом, при средней длине абонентской линии 3 км она может содержать примерно 10 сростков. С учётом различия диаметра провода на отдельных участках типовая абонентская линия является очень неоднородной средой передачи.

Кроме того, абонентские линии могут содержать параллельные отводы (bridged taps). Вышеуказанные факторы отклонения реальной абонентской линии от идеальной однородной симметричной пары увеличивают число и уровень отражённых сигналов и, таким образом, требуют значительного увеличения корректирующих возможностей эхокомпенсатора, что практически недостижимо. Поэтому реально наличие неоднородностей реальной абонентской линии сокращает величину перекрываемого затухания.

Требования к параметрам витых пар симметричных кабелей местных сетей США и Западной Европы, определяющие условия применения на этих линиях технологий xDSL, регламентированы соответственно стандартами ANSI и ETSI.

Практически эти минимальные условия состоят в следующем:

- абонентская линия не должна содержать пупиновских катушек;
- должна использоваться только витая пара или пара кабеля четверочной скрутки;
- дополнительное экранирование отдельных абонентских пар не является необходимым;

- количество параллельных отводов не должно быть более двух, а длина каждого из них не должна превышать 500 метров.

Основным показателем качества линии HDSL является коэффициент ошибок. В соответствии с требованиями стандарта ETSI ETR-152 допустимая вероятность ошибок линии HDSL должна быть не более 10^{-7} . Эта величина совпадает с допустимой вероятностью ошибок абонентской линии сети связи России.

Величина коэффициента ошибок однозначно определяется отношением сигнал/шум приёмника HDSL. Мощность шумов линии HDSL определяется внутренними и внешними источниками помех. К внутренним источникам относятся тепловой шум абонентской линии и собственный шум аппаратуры HDSL, обусловленный эхокомпенсатором. Внешними источниками помех системы HDSL являются переходные влияния со стороны систем передачи, работающих в том же кабеле, а также импульсные шумы коммутационной станции, электростатические разряды и др.

Исходной идеальной моделью шумов линии HDSL является модель, при которой линия является однородной и не имеет отводов, переходные влияния от соседних пар кабеля пренебрежимо малы а определяющими помехами являются собственные шумы линии и аппаратуры. Вторая, реальная модель шумов линии HDSL учитывает все источники помех и называется моделью шумов ETSI.

SDSL (Single Line Digital Subscriber Line — однолинейная цифровая абонентская линия)

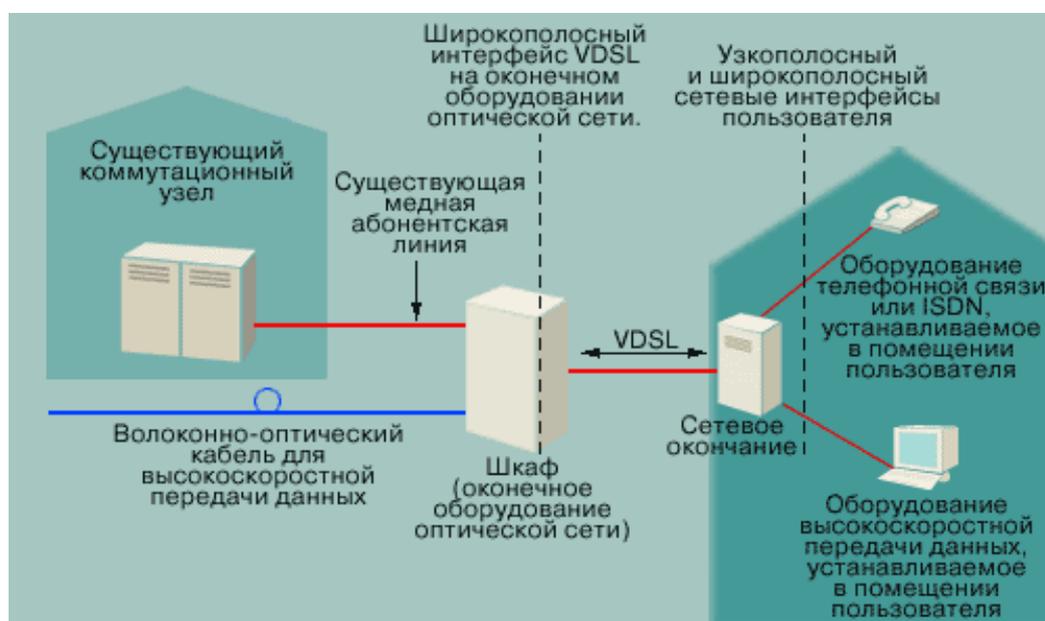
Симметричная или двухпроводная линия DSL (SDSL) является симметричной и базируется на более ранней технологии HDSL, но имеет целый ряд усовершенствований, которые позволяют более гибко организовать передачу данных по одной паре проводов. Кроме того, максимальное расстояние передачи ограничено 3 км. В пределах этого расстояния технология SDSL обеспечивает, например, работу системы организации видеоконференций, когда требуется поддерживать одинаковые потоки передачи данных в оба направления. Технология SDSL может найти применение как в сфере бизнеса, так и в частном секторе, что создает ей очень высокую потенциальную ценность.

Стоит заметить, что некоторые современные производители узкополосного коммутационного оборудования рассматривают данную технологию как один из способов продления существования оборудования данного типа. Технология SDSL может использоваться в виде встроенных линейных карт, способных передавать 2 канала В коммутируемого трафика через коммутационную сеть. Любые другие возможности высокоскоростного доступа выводятся из коммутируемой сети в некоммутируемую сеть

высокоскоростной передачи данных IP или ATM. Кроме того, технология SDSL может использоваться в качестве дополнения к таким технологиям доступа как HDSL, ADSL и VDSL.

VDSL (Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line — сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия)

Технология VDSL (сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия) является результатом естественной эволюции технологии ADSL в сторону увеличения скорости передачи данных и использования еще более широкой полосы частот. Данная технология может быть успешно внедрена путем сокращения эффективной длины абонентской линии за счет расширения сети волоконно-оптических линий и их внедрения в существующую сеть доступа.



Концепция сверхвысокоскоростной цифровой абонентской линии (VDSL).

Технология VDSL является наиболее «быстрой» технологией xDSL. Она обеспечивает скорость передачи данных «нисходящего» потока в пределах от 13 до 52 Мбит/с, а скорость передачи данных «восходящего» потока в пределах от 1,5 до 2,3 Мбит/с, причем по одной витой паре телефонных проводов. В симметричном режиме поддерживаются скорости до 26 Мбит/с. Технология VDSL может рассматриваться как экономически эффективная альтернатива прокладыванию волоконно-оптического кабеля до конечного пользователя. Однако, максимальное расстояние передачи данных для этой технологии составляет от 300 метров до 1300 метров. То есть, либо длина абонентской линии не должна превышать данного значения, либо оптиковолокнистый кабель должен быть подведен поближе к пользователю (например, заведен в здание, в котором находится много потенциальных

пользователей). Технология VDSL может использоваться с теми же целями, что и ADSL; кроме того, она может использоваться для передачи сигналов телевидения высокой четкости (HDTV), видео по запросу и т.п.

Ниже в таблице показаны зависимости скорости передачи и дальности от технологии.

Технология	Скорость передачи	Дальность
ISDN-BA (DSL)	128 Kbps	~ 12 км
ADSL	1 Mbps u/s, 8 Mbps d/s	~ 5,5 км
HDSL	2 Mbps	~ 6,5 км
SDSL	2 Mbps - 144 Kbps	~ 6 км
VDSL	6,4 Mbps u/s, 52 Mbps d/s	~ 1,5 км