

# Системы документальной электросвязи и телематические службы

## Лекция № 12 Модемы для выделенных линий. xDSL-модемы

доц. каф. СС и ПД, к.т.н. С. С. Владимиров

2016 г.

## xDSL (digital subscriber line, цифровая абонентская линия)

семейство технологий, позволяющих значительно повысить пропускную способность абонентской линии телефонной сети общего пользования путём использования эффективных линейных кодов и адаптивных методов коррекции искажений линии на основе современных достижений микроэлектроники и методов цифровой обработки сигнала. В аббревиатуре xDSL символ «x» используется для обозначения первого символа в названии конкретной технологии. Существующие типы технологий xDSL различаются в основном по используемой форме модуляции и скорости передачи данных.

Службы xDSL разрабатывались для достижения определенных целей: они должны работать на существующих телефонных линиях, они не должны мешать работе различной аппаратуры абонента, такой как телефонный аппарат, факс и т. д., скорость работы должна быть выше теоретического предела в 56 Кбит/с, и наконец, они должны обеспечивать постоянное подключение.

## Основные технологии xDSL

Техн. DSL	Макс. скорость (прием/передача)	Максимальное расстояние	Кол-во тел. пар	Основное применение
ADSL	24 Мбит/с / 3,5 Мбит/с	5,5 км	1	Доступ в Интернет, голос, видео
IDSL	144 кбит/с	5,5 км	1	Передача данных
HDSL	2 Мбит/с	4,5 км	1,2	Объединение сетей, услуги E1
SDSL	2 Мбит/с	3 км	1	Объединение сетей, услуги E1
VDSL	62 Мбит/с / 26 Мбит/с	1,3 км на max. скорости	1	Объединение сетей
SHDSL	2,32 Мбит/с	7,5 км	1	Объединение сетей
UADSL	1,5 Мбит/с / 384 кбит/с	3,5 км на max. скорости	1	Доступ в Интернет, голос, видео

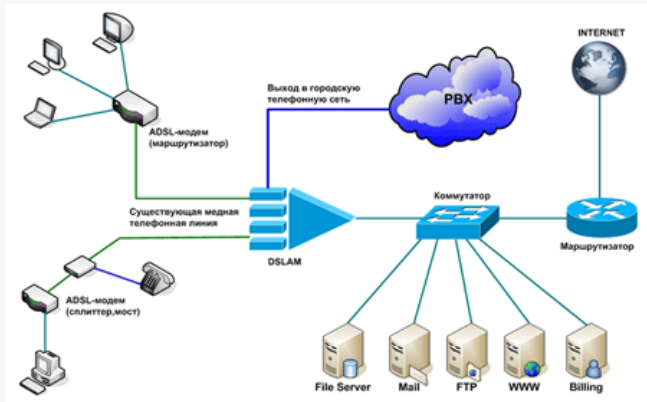
## ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)

Модемная технология, в которой доступная полоса пропускания канала распределена между исходящим и входящим трафиком асимметрично. Так как у большинства пользователей объём входящего трафика значительно превышает объём исходящего, то скорость исходящего трафика значительно ниже.

Стандарт ADSL ANSI T1.413-1998 Issue 2 был принят в 1998. Он обеспечивал скорость передачи 8,160/1,216 Мбит/с. С 1999 технологии ADSL развивались как стандарт ITU G.992.x.

Передача данных по технологии ADSL реализуется через обычную аналоговую телефонную линию при помощи абонентского устройства — модема ADSL и мультиплексора доступа (DSL Access Multiplexer, DSLAM), находящегося на той АТС, к которой подключается телефонная линия пользователя, причём включается DSLAM до оборудования самой АТС. В результате между ними оказывается канал без каких-либо присущих телефонной сети ограничений. DSLAM мультиплексирует множество абонентских линий DSL в одну высокоскоростную магистральную сеть.

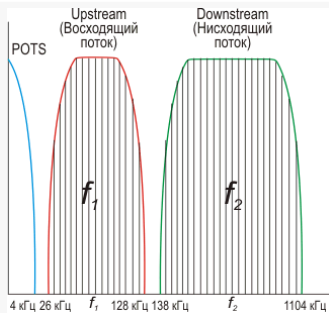
# Схема включения ADSL



## DSLAM

Мультиплексор (модем) доступа цифровой абонентской линии xDSL. Со стороны сети у него WAN-порты, а со стороны клиента — xDSL-полуккомплекты (модемы), к которым подключается абонентская линия. На другом конце абонентской линии у клиента стоит абонентский полуккомплект xDSL (модем) или IAD (Integrated Access Device — устройство интегрированного доступа). Последнее используется в случаях, когда по xDSL линии реализуется одновременная передача данных и голоса в цифровом виде, то есть VoDSL (Voice over DSL).

## Диапазоны частот ADSL



Обычная телефонная линия использует для передачи голоса полосу частот 0,3–3,4 кГц. Чтобы не мешать использованию телефонной сети по её прямому назначению, в ADSL нижняя граница диапазона частот находится на уровне 26 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 138 кГц отведены исходящему потоку данных, а частоты от 138 кГц до 1,1 МГц — входящему. Полоса частот от 26 кГц до 1,1 МГц была выбрана не случайно. В этом диапазоне коэффициент затухания почти не зависит от частоты.

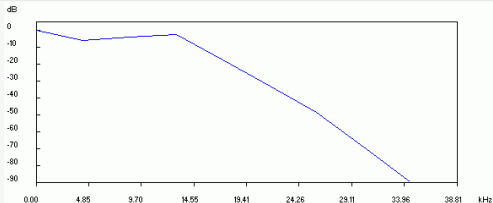
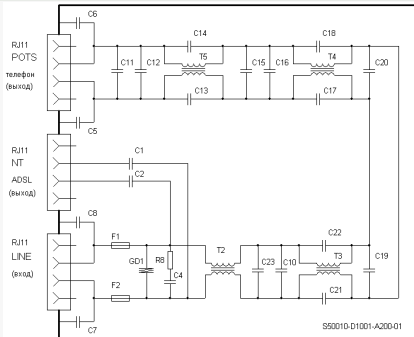
Такое частотное разделение позволяет разговаривать по телефону, не прерывая обмен данными по той же линии. Разумеется, возможны ситуации, когда либо высокочастотный сигнал ADSL-модема негативно влияет на электронику современного телефона, либо телефон из-за каких-либо особенностей своей схемотехники вносит в линию посторонний высокочастотный шум или же сильно изменяет её АЧХ в области высоких частот; для борьбы с этим в телефонную сеть непосредственно в квартире абонента устанавливается фильтр низких частот (частотный разделитель, Splitter), пропускающий к обычным телефонам только низкочастотную составляющую сигнала и устраняющий возможное влияние телефонов на линию. Такие фильтры не требуют дополнительного питания, поэтому речевой канал остаётся в строю при отключённой электрической сети и в случае неисправности оборудования ADSL.

# Сплиттеры ADSL

## Сплиттеры Siemens. Плата и внешний вид

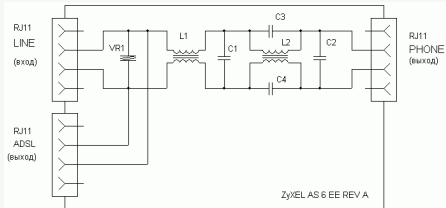


## Сплиттеры Siemens. Схема и АЧХ

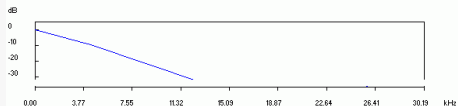
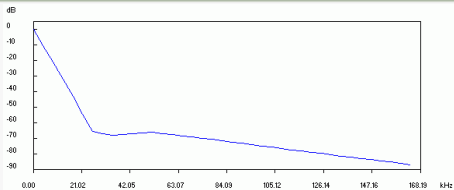


# Сплиттеры ADSL (2)

## Сплиттер Zyxel. Плата, внешний вид и схема



## Сплиттер Zyxel. АЧХ



Стандарт **ADSL2 (ITU G.992.3)** появился в 2002 году. Он обеспечивал скорости передачи до 12/1,216 Mbps (12/3,5 Mbps для версии Annex J). Также была предложена спецификация **ITU G.992.4** (известен как **G.lite.bis**) — стандарт для технологии ADSL2 без использования сплиттера. Требования к скорости составляют 1,536 Мбит/с по направлению к абоненту и 512 кбит/с в обратную сторону.

ADSL2 специально разрабатывался для улучшения скорости и дальности ADSL, в основном для достижения лучшей производительности на длинных линиях с помехами. Это стало возможным благодаря использованию более эффективных методов модуляции, уменьшению количества служебной информации, увеличению эффективности кодирования, и применению расширенных алгоритмов обработки сигнала.

*Эффективность модуляции в ADSL2 повышена за счет совместного применения четырехмерной, 16-и фазовой решетчатой и 1-битной квадратурной модуляции. Это позволяет получить более высокие скорости на длинных линиях с низким соотношением сигнал/шум.*

*Системы ADSL2 используют меньшее количество служебной информации благодаря кадру с программируемым количеством служебных битов. Поэтому, в отличие от ADSL первого поколения, где служебные биты в кадре были фиксированы и потребляли 32 кбит/с от полезной информации, количество служебных бит в кадре может меняться от 4 до 32 кбит/с. В системах ADSL первого поколения на длинных линиях, где скорость передачи информации и так невысока (например, 128 кбит/с), под служебную информацию фиксировано отведено 32 кбит/с (или более 25% общей скорости). В системах ADSL2, это значение может быть снижено до 4 кбит/с, что добавит к пропускной способности дополнительные полезные 28 кбит/с.*

*На длинных линиях, где, как правило, скорости передачи низки, ADSL2 позволяет достичь большей эффективности кодирования кода Ридда-Соломона. Это возможно благодаря улучшениям в кадрах, повышающим гибкость и программируемость при создании кодовых слов.*



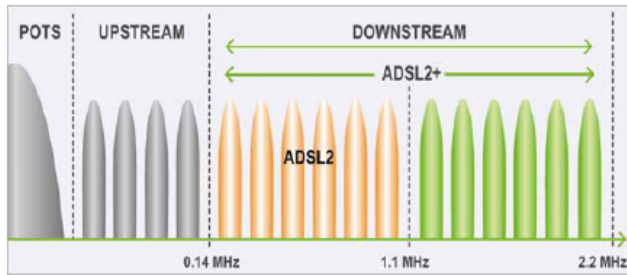
# Технология ADSL2+

Стандарт **ITU G.992.5 (ADSL2+ или G.DMT.bis.plus)** предложен в 2003 году. Он расширяет возможность базовой технологии ADSL, удваивая число битов входящего сигнала до указанных ниже скоростей передачи данных:

- ▶ По направлению к абоненту — до 24 Мбит/с
- ▶ По направлению от абонента — до 1,4 Мбит/с

Фактическая скорость может варьироваться в зависимости от качества линии и расстояния от DSLAM до дома клиента. В стандарте прописаны скорости для витой пары, при использовании линии другого типа скорость может быть намного ниже.

В ADSL2+ удваивается диапазон частот по отношению к ADSL2 от 1,1 МГц до 2,2 МГц, что влечет за собой увеличение скорости передачи данных входящего потока предыдущего стандарта ADSL2 с 12 Мбит/с до 24 Мбит/с.

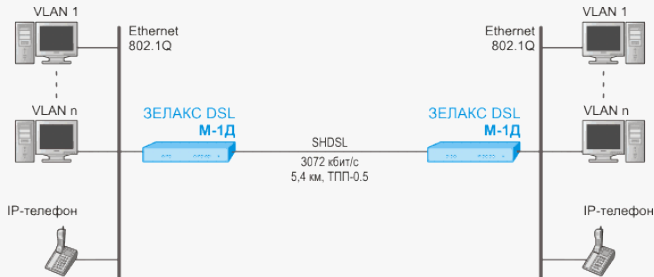


# Технология SHDSL

## SHDSL (Single-pair High-speed DSL), G.shdsl, ITU G.991.2

Это одна из xDSL-технологий, обеспечивает симметричную дуплексную передачу данных сигнала по паре медных проводников. Используется преимущественно для соединения абонентов с узлом доступа провайдера (так называемая последняя миля). Была принята в 2001 году. Используется модуляция TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation).

По стандарту технология SHDSL обеспечивает симметричную дуплексную передачу данных со скоростями от 192 Кбит/с до 2,3 Мбит/с (с шагом в 8 Кбит/с) по одной паре проводов, или от 384 кбит/с до 4,6 Мбит/с по двум парам. При использовании методов кодирования TC-PAM128 стало возможным повысить скорость передачи до 15,2 Мбит/сек по одной паре и до 30,4 Мбит/сек по двум парам соответственно. При максимальной скорости (для провода 0,4 мм) рабочая дальность составляет около 3,5 км, а при минимальной — свыше 6 км.

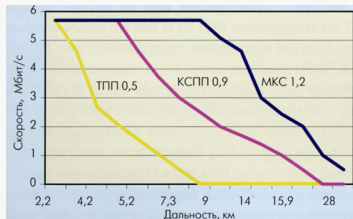


# Дальность работы SHDSL модемов

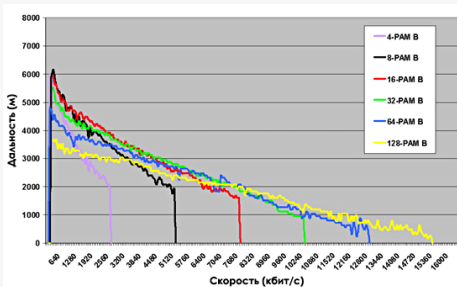
## Модем Orion2+ (TC-PAM-64/128), кабель ТПП-0.4

Линейная скорость, кбит/с	Дальность работы на кабеле без шумов, м	Дальность на зашумленном кабеле, м
192	8000	7000
512	6700	5100
1024	5900	3900
1536	5600	3200
2304	5000	2600
4096	3900	1600
5632	3300	1100
8640	2200	300
11072	1400	100

## Зависимость скорости передачи и расстояния от типа кабеля



## Зависимость расстояния от скорости передачи для разных уровней TC-PAM



# Примеры SHDSL-модемов

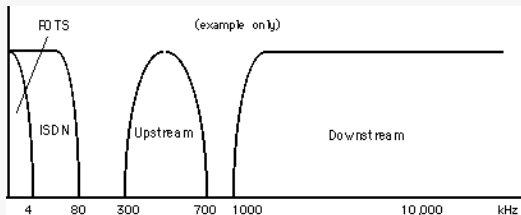


## VDSL (Very-high data rate DSL)

xDSL решение, продукт эволюции и конвергенции технологий ADSL и G.SHDSL. Описана в стандарте ITU G.993.1.

По сравнению с ADSL, VDSL имеет значительно более высокую скорость передачи данных: от 13 до 52 Мбит/с от сети к пользователю и до 11 Мбит/с от пользователя к сети при работе в асимметричном режиме; максимальная пропускная способность линии VDSL при работе в симметричном режиме составляет примерно 26 Мбит/с в каждом направлении передачи. В зависимости от требуемой пропускной способности и типа кабеля длина линии VDSL лежит в пределах от 300 метров до 1,3 км. После превышения 1500 метров пропускная способность, предлагаемая VDSL, делается ниже, чем в случае использования технологии ADSL.

VDSL, как и технология ADSL, может работать по существующим телефонным линиям, при этом не мешая ни обычной телефонии, ни работе ISDN.



На практике большинство производителей на рынке VDSL технологий предлагают так называемый Ethernet-over-VDSL (EoV) — VDSL модемы, жестко работающие в симметричном режиме на скоростях 10 (11, 13) Мбит/с на любых расстояниях до 1300 (1500) метров.

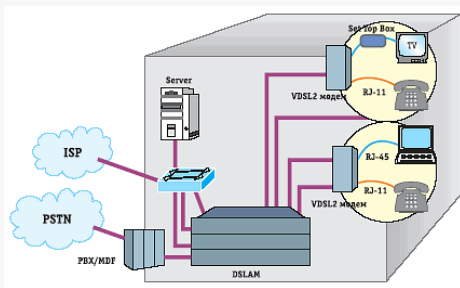
Отмечается также, что поскольку сигнал VDSL является высокочастотным, нельзя использовать несколько VDSL каналов в одном многопарном кабеле — из-за влияния перекрестных помех.

# Технология VDSL2

## VDSL2 (Very-high data rate DSL 2)

Технология доступа, которая использует существующую инфраструктуру медных проводов, первоначально развернутую для ТФОП. Сеть может быть развернута из центральных офисов, из питаемых волокном кабинетов, расположенных около потребительского помещения, или в зданиях. Протокол был стандартизирован как **ITU G.993.2** 17 февраля 2006 года.

**ITU-T G.993.2 (VDSL2)** является расширением G.993.1 (VDSL), что позволяет передавать асимметричный и симметричный трафик (downstream и upstream) на витой паре с суммарной скоростью до 200 Мбит/с с использованием полосы пропускания до 30 МГц. VDSL2 основана на технологии DMT (Discrete Multi-tone Modulation — дискретная мультитоновая модуляция).



Скорость VDSL2 начинает быстро падать с теоретического максимума 250 Мбит/с до 100 Мбит/с на расстоянии 0.5 км и до 50 Мбит/с на расстоянии от 1 км. При этом, однако, следует отметить, что падение скорости по отношению к расстоянию происходит значительно медленнее, чем в VDSL. Начиная с 1,6 км производительность VDSL2 равна ADSL2+.

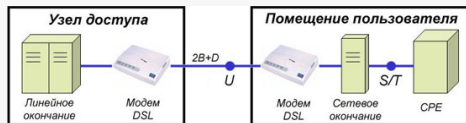
Стандарт получил неофициальное название "удлинитель оптики поскольку предполагается, что соответствующее оборудование будет использоваться для обеспечения передачи данных внутри жилых домов и офисных зданий. Концентрирующее оборудование (DSLAM) будет подключаться к узлам доступа в транспортные сети по оптике.

# Профили VDSL

<b>Профиль</b>	<b>Диапазон частот (МГц)</b>	<b>Количество несущих</b>	<b>Шаг несущих (кГц)</b>	<b>Мощность (дБм)</b>	<b>Макс. сумм. скорость вход+исход (Мбит/с)</b>
8a	8.832	2048	4.3125	+17.5	50
8b	8.832	2048	4.3125	+20.5	50
8c	8.5	1972	4.3125	+11.5	50
8d	8.832	2048	4.3125	+14.5	50
12a	12	2783	4.3125	+14.5	68
12b	12	2783	4.3125	+14.5	68
17a	17.664	4096	4.3125	+14.5	100
30a	30	3479	8.625	+14.5	200

## IDSL (ISDN Digital Subscriber Line) — цифровая абонентская линия ISDN

DSL-технология, основанная на ISDN, позволяющая обеспечить канал связи для передачи данных по существующим телефонным линиям на скорости 144 кбит/с. IDSL предназначена для фиксированных соединений «точка-точка» по одной медной паре UTP cat.3.



Международные стандарты IDSL в основном определяют аспекты передачи физического уровня для U интерфейса ЦСИО. Передача данных при использовании IDSL осуществляется по двум каналам B и по каналу D, по которому со скоростью 16 кбит/с передаются сигналы управления и служебная информация, иногда он может использоваться для пакетной передачи данных.

Это обеспечивает пользователю возможность доступа со скоростью 144 кбит/с. Дополнительный служебный канал в 16 кбит/с предоставляется для встроенного эксплуатационного канала, предназначенного для обмена информацией (например, статистики работы линии передачи данных) между линейным окончанием и сетевым окончанием. Обычно встроенный эксплуатационный канал недоступен конечному пользователю. Дополнительные 32 кбит/с используются для обеспечения синхронизации и служебных функций. Таким образом, общая линейная скорость канала IDSL составляет 192 кбит/с.

Большинство модемов IDSL используют компенсацию эхо-сигналов, позволяющую организовать полностью дуплексную передачу на скорости 160 кбит/с по одной ненагруженной паре телефонных проводов и четырехуровневый линейный код PAM (амплитудно-импульсная модуляция, прямая, немодулированная передача), известный как 2B1Q. Трансиверы IDSL с эхоподавлением позволяют использовать полосу частот примерно от 10 до 100 кГц, а пик спектральной плотности мощности систем DSL, базирующихся на методе 2B1Q, находится в районе 40 кГц с первым спектральным нулем на частоте 80 кГц. Системы IDSL выгодно отличаются тем, что могут использоваться на длинных телефонных линиях, и их использование допускает большая часть абонентских линий.



# Технологии MDSL и MSDSL

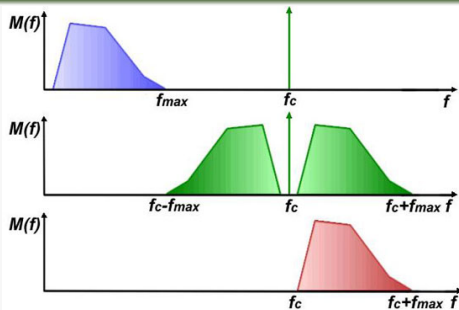
## MDSL (Multi-Rate DSL) — многоскоростная DSL

Позволяет проводить передачу данных по одной паре проводов со скоростями 128 кбит/с – 2,3 Мбит/с. Используется модуляция 2B1Q.

## MSDSL (Multi-Rate SDSL) — многоскоростная SDSL

Является одной из разновидностей SDSL. Позволяет менять скорость передачи данных для достижения оптимальной дальности и наоборот. В случае плохого состояния кабеля MSDSL обеспечивает надежную связь ценой скорости. Модемы MSDSL обеспечивают передачу данных на расстояние порядка 6,5 км. В MSDSL используется амплитудно-фазовая модуляция с подавлением несущей (CAP)

### Амплитудно-фазовая модуляция с подавлением несущей (CAP)



Алгоритм CAP представляет собой одну из разновидностей алгоритма QAM, его особенность заключается в специальной обработке модулированного информационного сигнала перед его отправкой в линию. В процессе этой обработки из спектра модулированного сигнала исключается составляющая, которая соответствует частоте несущей QAM. После того, как приемник принимает сигнал, он сначала восстанавливает несущую частоту, а после этого - поток данных. Такие манипуляции со спектром выполняются для того, чтобы уменьшить долю неинформативной составляющей в спектре передаваемого сигнала. Это, в свою очередь, делается для того, чтобы обеспечить большую дальность распространения сигнала и уменьшить уровень перекрестных помех между сигналами, которые передаются по одному кабелю.

- ▶ "Как правильно подключить ADSL splitter". С сайта <http://spblan.narod.ru>
- ▶ С. Иванов "Цифровизация отдаленных районов: решения компании "Натекс". Журнал "Первая Миля №3/2007. С сайта <http://www.nateks-dv.ru>
- ▶ "Дополнительная информация о серии модемов FlexDSL Orion". С сайта <http://www.nateks.ru>
- ▶ "Алгоритм модуляции CAP". Электронный курс "Назначение и примеры использования интегрированного устройства абонентского доступа FlexDSL FG-PAM-SAN-4Eth-R, V1 в компьютерных сетях". С сайта <http://opds.sut.ru>