

## Технологии DSL.

В настоящее время для построения участков сетей широкополосного доступа СШД, соединяющих узлы обработки УО СШД со станциями и узлами ТфОП и другими источниками и потребителями информации используются симметричные кабели существующей кабельной сети. В этом случае для формирования групповых сигналов целесообразно использовать технологию PDH. В целях оптимизации передачи цифровых сигналов по металлическим кабелям целесообразно выбрать один из вариантов **технологии «последней мили»**, известной также по условному обозначению **DSL**.

Абонентские линии строятся симметричными медными многопарными кабелями (чаще всего с жилами 0,32 мм), скрученными парами, а иногда и нескрученными парами проводов (лапшой). Для построения сетей доступа в части соединения узлов доступа УД и абонентских устройств также представляется перспективным использование технологии **DSL**. Существует ряд разновидностей этой технологии, имеющих общее условное обозначение **xDSL**.

### Многоуровневые цифровые сигналы.

Практически все варианты упомянутой технологии базируются на использовании **многоуровневых цифровых сигналов**. Формирование многоуровневых сигналов позволяет эффективно использовать принцип сдвига энергетического спектра сигнала в низкочастотную область и, тем самым, использовать участки амплитудно-частотных характеристик кабелей с минимальным прямым и, соответственно, с большим переходным затуханием группового сигнала.

Формирование многоуровневых цифровых сигналов производится методом **многопозиционной амплитудно-фазовой манипуляции**. Данный метод заключается в делении исходного бинарного сигнала на блоки, состоящие из **k** бинарных символов, которые затем кодируются одним символом **M**-позиционного линейного сигнала. Число **M** выбирается чётным, половина символов многоуровневого сигнала положительна, а другая половина – отрицательна, благодаря чему энергетический спектр линейного сигнала не содержит постоянной составляющей. Скорость передачи линейного сигнала **V<sub>лин</sub>** уменьшится в **k** раз по сравнению со скоростью передачи исходного информационного бинарного сигнала **V<sub>инф</sub>**. Соответственно уменьшится и ширина спектра линейного сигнала. Сдвиг энергетического спектра линейного сигнала в область низких частот позволяет снизить затухание регенерационного участка пропорционально  $\sqrt{k}$ .

В большинстве находящихся в эксплуатации ЦСП используются, в силу целого ряда преимуществ, так называемые квазитроичные сигналы, то есть сигналы, содержащие символы «+1», «-1», «0». Передаваемая при их помощи информация соответствует исходному бинарному сигналу. Возникающая благодаря этому информационная избыточность (так как тремя символами можно передать больше информации, чем двумя, при одинаковой скорости передачи) выражается в форме внесения в алгоритм формирования сигнала определённых ограничений, что, в свою очередь, ведёт к появлению целого ряда запрещённых комбинаций символов или кодовых слов. Отсюда, кстати, и определение сигнала, как «квазитроичного», то есть троичного (трёхпозиционного) по форме, но соответствующего исходному бинарному сигналу по информативности.

Квазитроичные сигналы AMI и HDB3 формально также можно отнести к многоуровневым сигналам, однако эти сигналы занимают ту же полосу частот, что и

исходный бинарный сигнал, только благодаря фазовой манипуляции в их спектре отсутствует постоянная составляющая. Такие сигналы можно обозначить, как 1В1Т, то есть каждому символу исходного бинарного сигнала соответствует один символ квазитроичного сигнала.

Следует отметить, что в литературе подобное преобразование сигнала часто называют кодированием, однако правильнее было бы определить такое преобразование, как одну из форм амплитудно-фазовой манипуляции.

Первоначально в качестве основного типа стыкового сигнала использовался сигнал с чередованием полярности импульсов ЧПИ или АМІ, формируемый путём инверсии полярности каждой чётной единицы исходного бинарного сигнала. Нули исходного бинарного сигнала передаются нулями квазитроичного сигнала. Передача такого сигнала по кабельной линии неизбежно связано со значительной деформацией прямоугольных импульсов. Такая деформация, в свою очередь, ведёт к появлению межсимвольной интерференции. Для минимизации межсимвольных искажений импульсы занимают только половину тактового интервала, обеспечивая появление защитного интервала (промежутка между импульсными посылками) имеющего длительность, также равную половине тактового интервала. Нулевая посылка при этом остаётся без изменений. Сигнал АМІ по сравнению с другими стыковыми и линейными сигналами характеризуется более простыми схемотехническими решениями его формирования и обнаружения моментов нарушения алгоритма его формирования (то есть ошибок). Однако в настоящее время указанный сигнал находит весьма ограниченное применение, так как возможное появление в нём больших последовательностей нулей может привести в ряде случаев к потере качества передачи.

Сигнал HDB-3 (в отечественной литературе встречается также название КВП-3, то есть код высокой плотности) является улучшенным вариантом сигнала АМІ. Целью формирования сигнала HDB-3 является повышение плотности единиц в цифровом сигнале, обеспечивающее независимость работы оборудования регенерации и передачи сигнала от распределения нулей и единиц исходного бинарного сигнала. Формирование сигнала HDB-3 производится путём подмешивания в исходный сигнал, преобразованный в соответствии с алгоритмом АМІ и содержащий длинные серии нулей (большие или равные четырём), комбинации посылок вида 000V и V00V. В в данном случае обозначает единицу, соответствующую алгоритму чередования полярностей импульсов сигнала АМІ, а V - единицу, нарушающую указанное правило. Такое преобразование исходного сигнала обеспечивает такую «окраску» искусственно вводимых на передающей стороне вставок, которая позволяет на приёмной стороне легко их обнаруживать и удалять, возвращаясь к исходному сигналу. Критерием обнаружения вставок в данном случае является наличие в сигнале сдвоенных единиц одной полярности. Очень важно, что этот факт не вызывает изменения уровня («плавания») постоянной составляющей сигнала HDB-3, так как полярность сформированных двоек импульсов в цифровом потоке всегда будет чередоваться.

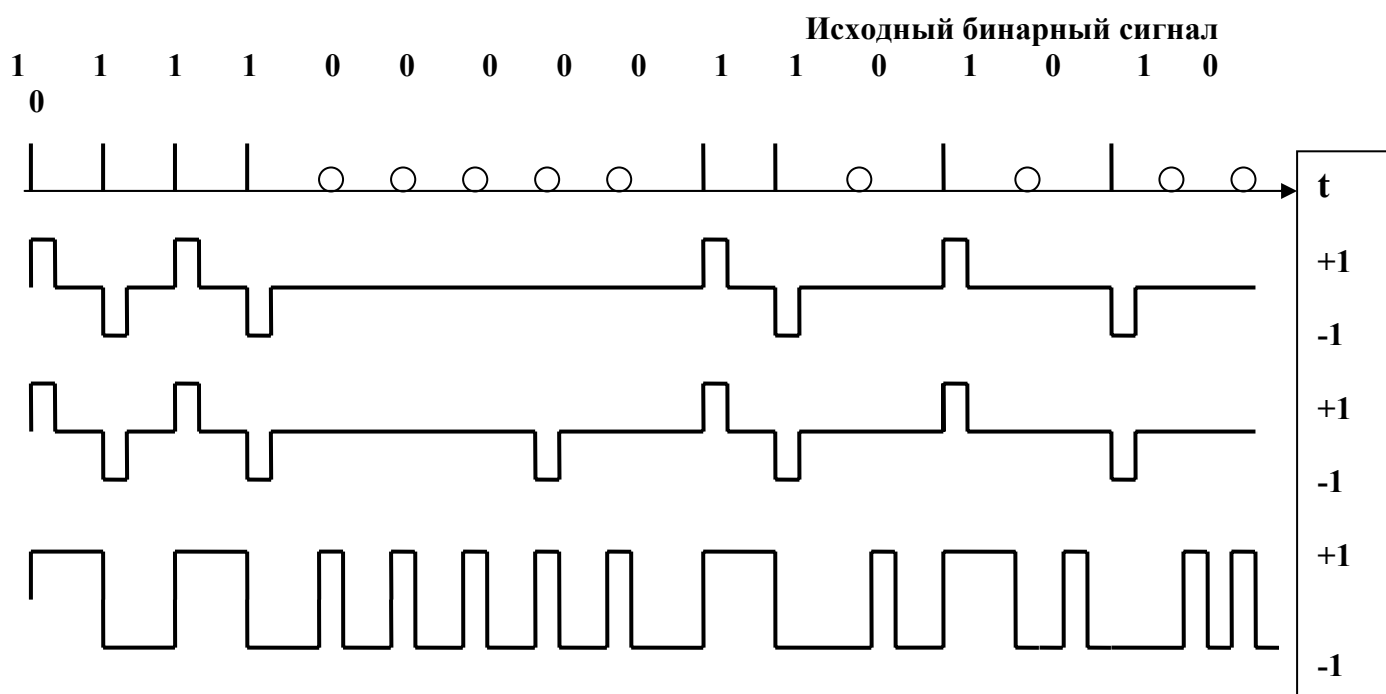
Энергетически сигнал HDB-3 ненамного превосходит сигнал АМІ, но дополнительное ограничение, запрещающее появление в потоке передаваемой информации серии нулей, превышающей 3 нуля подряд, улучшает условия работы систем тактовой синхронизации. Схемотехнические решения формирователя HDB-3 и обнаружения моментов нарушения алгоритма его формирования сложнее, чем для АМІ, но легко реализуются современной элементной базой. Отличительной особенностью сигналов АМІ и HDB-3 является то, что в их энергетических спектрах отсутствует постоянная составляющая, а также составляющие тактовой частоты и её гармоник. Поэтому значительно упрощаются схемотехнические решения таких узлов, входящих в состав оконечных и линейных регенераторов, как усилители и

согласующие трансформаторы, так как отпадает необходимость восстановления постоянной составляющей цифрового сигнала.

Квазитроичные сигналы с импульсами с длительностью, равной 0,5 тактового интервала, позволяют минимизировать межсимвольные влияния, что является их несомненным преимуществом. С другой стороны, такие сигналы неэффективны энергетически, так как 75% времени передачи занимают нулевые посылки и защитные интервалы, то есть моменты, когда в тракте отсутствует активный сигнал.

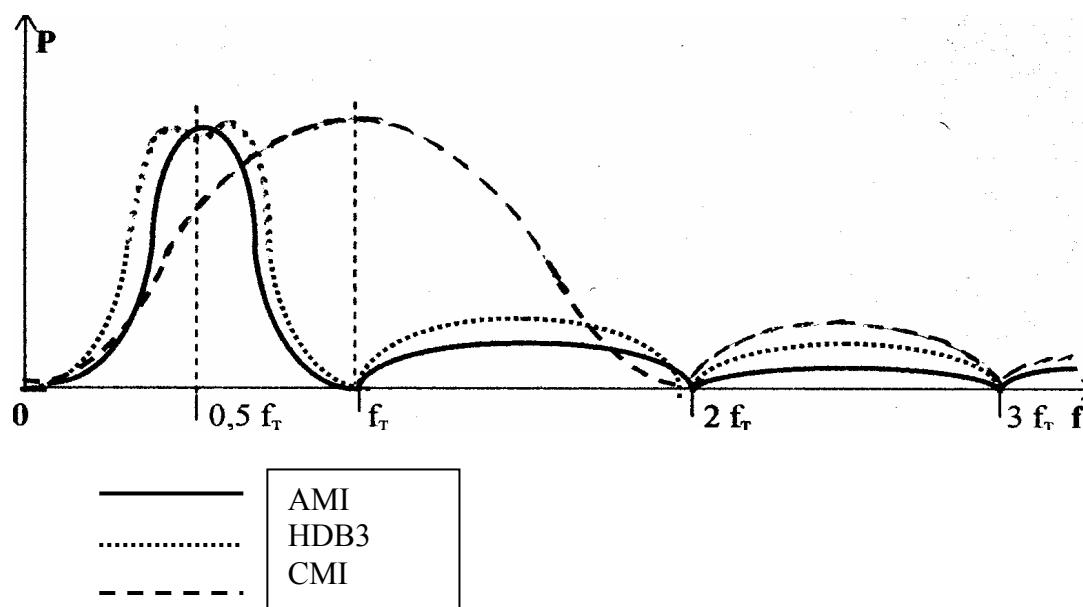
Наличие избыточности определяет, наверное, одно из основных преимуществ квазитроичных сигналов: возможность осуществления непрерывного оперативного контроля качества передачи путём обнаружения ошибок, ведущих к нарушению указанных выше критериев. Для сигнала АМІ – это нарушение чередования полярности импульсов, для сигнала HDB-3 – превышение текущей величины модуля алгебраической суммы символов сигнала над 1 (другими словами, когда сумма равна 2 или 3, и т.д.). Такой контроль можно вести без остановки связи, что очень важно при организации мониторинга систем передачи.

Осциллограммы сигналов АМІ, HDB3 и СМІ показаны на рис.1.



*Рис. 1: Сигналы АМІ, HDB3, СМІ.*

Энергетические спектры сигналов ЧПИ (АМІ), МЧПИ (HDB3) и СМІ показаны на рис. 2. Спектры не имеют постоянной (нулевой) составляющей. Уровни составляющих с частотами, кратными тактовой частоте системы передачи равны нулю. За исключением указанных точек, сигналы имеют непрерывный спектр. Уровни составляющих спектра, представленных на данном графике, получены путём усреднения результатов измерений, производимых в течение достаточно большого интервала времени. Реально цифровой сигнал представляет собой чисто случайный процесс передачи единичных посылок (символов «1» и «0»), в процессе которого уровень каждой из составляющих может принимать произвольные значения, меняющиеся в широких пределах.



*Рис.2: Энергетические спектры сигналов AMI, HDB3, CMI.*

Номенклатура линейных сигналов ЦСП, а также сигналов, передаваемых в сетях широкополосного абонентского доступа существенно шире, чем стыковых. Выбор типа сигнала в этом случае определяется:

- скоростью передачи,
- требуемой величиной коэффициента ошибок,
- протяжённостью регенерационного участка,
- уровнями и характером помех,
- электромагнитной совместимостью.

К основным требованиям, предъявляемым к сигналам, относятся:

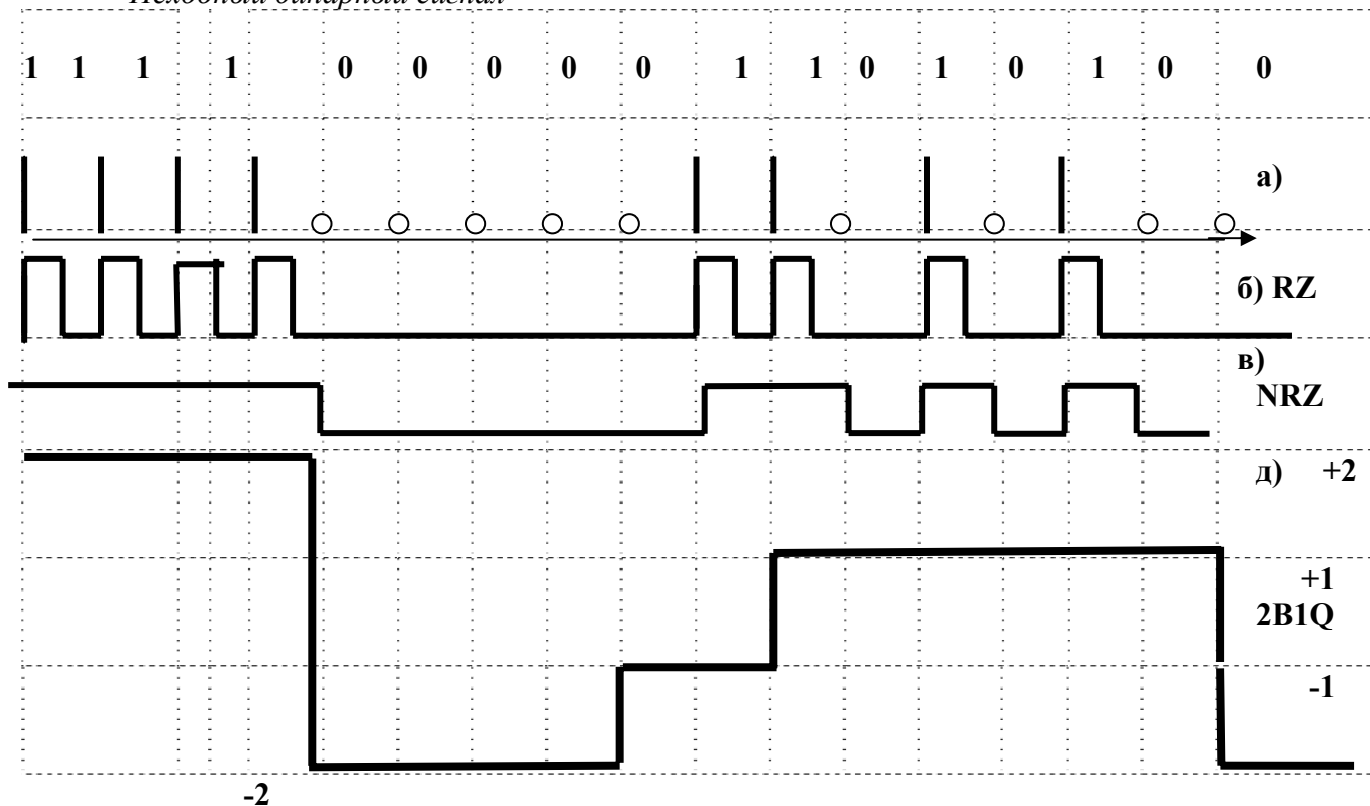
- возможность передачи информационной последовательности любого вида, включая последовательности, состоящие из одних нулей или единиц;
- возможность выделения из линейного сигнала хранирующей последовательности для организации тактовой синхронизации аппаратуры линейного тракта;
- возможность организации непрерывного контроля качества передачи;
- эффективное использование полосы частот спектра информационного сигнала.

Собственно бинарные сигналы, получившие название сигналов с возвращением к нулю (RZ) (см. рис. 3б), формируются из исходного бинарного сигнала (рис. 3а) путём образования токовых посылок с длительностью, равной 0,5 тактового интервала, разделяемых защитными интервалами, также имеющими длительность, равную 0,5 тактового интервала. Сигналы без возвращения к нулю (NRZ) (см. рис. 3в) формируются путём образования единичных посылок с длительностью, равной длительности тактового интервала.

Принцип использования многоуровневых сигналов хорошо иллюстрируется на примере модернизации цифровых линейных трактов, построенных на основе медных кабелей, при помощи одного из простейших таких сигналов **2B1Q**. (см. рис. 3г). Алгоритм 2B1Q предусматривает формирование 4-уровневого сигнала, каждая из позиций которого (1Q) соответствует определённой 2-символьной комбинации исходного бинарного сигнала (2B). Комбинации 00 соответствует уровень «-2», 01 – «-1», 10 – «+1», 11 – «+2». В этом случае скорость передачи уменьшается в 2 раза, а затухание линии в полосе частот группового сигнала – в 1,41 раза. Этот метод

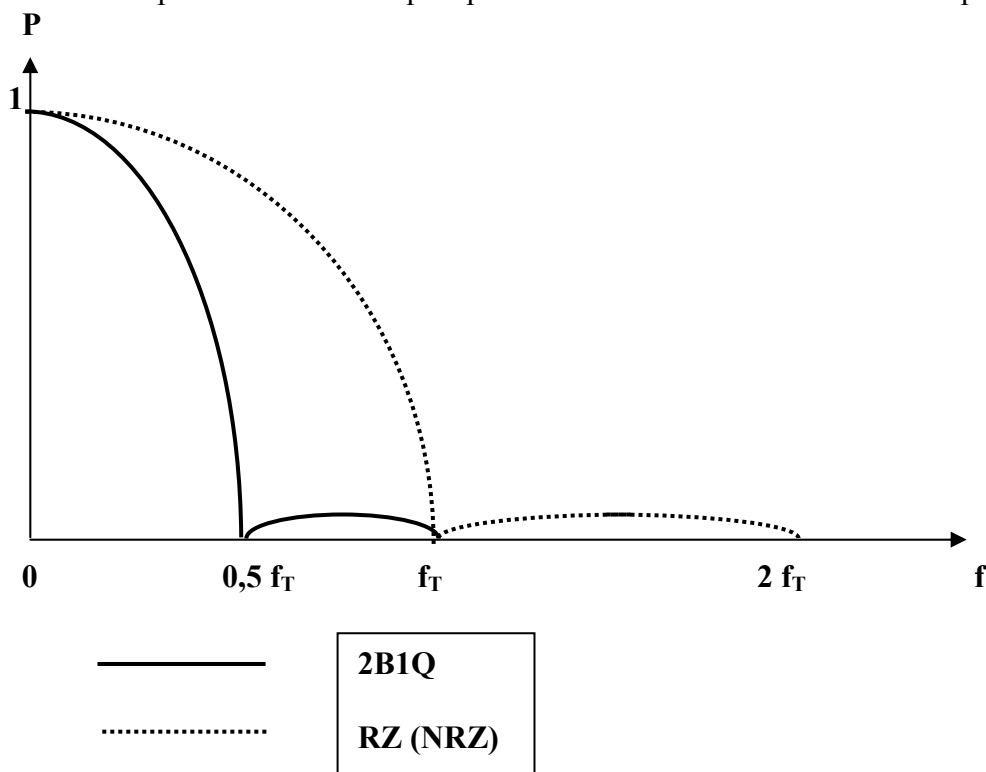
позволяет при переходе от сигналов АМІ или HDB3 к сигналу 2B1Q примерно в полтора раза увеличить длину регенерационного участка или обеспечить большую помехозащищённость регенератора при сохранении существующей длины этого участка.

*Исходный бинарный сигнал*



**Рис. 3:** Сигналы RZ(б), NRZ(в), (ОМС)(г), 2B1Q(д).

Энергетические спектры перечисленных сигналов показаны на рис. 4.



**Рис.4:** Энергетические спектры сигналов RZ (NRZ), 2B1Q.

Многопозиционная фазовая манипуляция наглядно иллюстрируется двухмерными фазовыми диаграммами. На рис. 5а представлена диаграмма 4-позиционной ФМ (2B1Q), на рис. 5б – 8-позиционной ФМ.

Дальнейшее развитие фазовой модуляции пошло по пути *квадратурной модуляции*. Квадратурное представление сигнала состоит в выражении гармонического колебания, как линейной комбинации синусоидального и косинусоидального колебаний с нулевыми начальными фазами. Поскольку сигналы  $\text{Cos } \omega_c t$  (так называемый **B** – сигнал) и  $\text{Sin } \omega_c t$  (**K** – сигнал) сдвинуты друг относительно друга на  $90^\circ$ , их векторы на фазовой диаграмме перпендикулярны или, как принято говорить, «находятся в квадратуре». Чисто фазовую модуляцию можно представить выражением

$$\text{Cos } (\omega_c t + \varphi) = \text{Cos } \varphi \cdot \text{Cos } \omega_c t - \text{Sin } \varphi \cdot \text{Sin } \omega_c t, \quad (1)$$

причём коэффициенты  $\text{Cos } \varphi$  и  $\text{Sin } \varphi$  представляют собой константы, строго определённые для каждого значения цифрового сигнала (например, 01, 00, 10, 11 для ФМ4 или 011, 010, 000, 001, 101, 100, 110, 111 для ФМ8). В технической литературе приводятся таблицы этих констант.

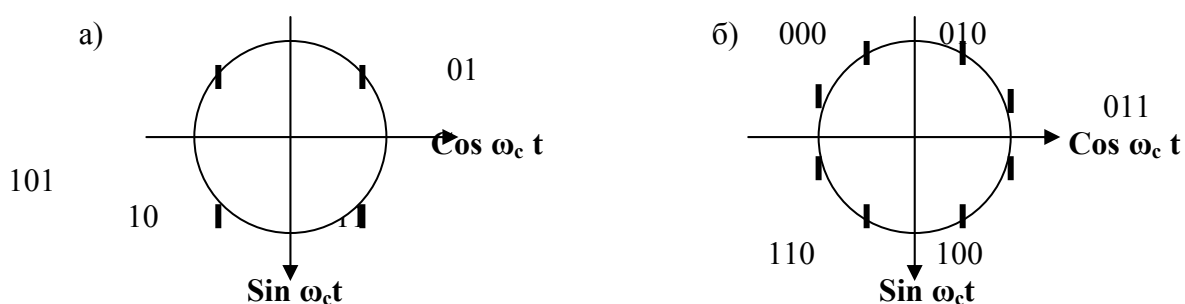
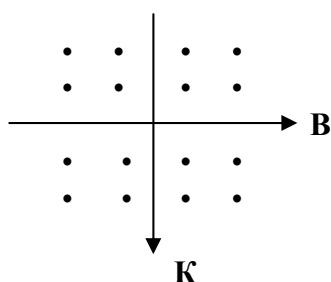


Рис. 5: Фазовые диаграммы сигналов 4ФМ и 8ФМ.

В случае *амплитудно-фазовой модуляции* (применительно к цифровой передаче правильнее говорить об амплитудно-фазовой манипуляции) происходит модуляция сигнала не только по фазе, но и по уровню. Квадратурную амплитудную модуляцию (КАМ) можно рассматривать, как процесс сложения независимых (квадратурных) амплитудно-модулированных каналов. Коэффициенты для  $\text{Cos } \varphi$  и  $\text{Sin } \varphi$  выбираются при этом отличными от табличных значений для чистой ФМ. В этом случае можно говорить об ином, более выгодном расположении точек, соответствующих позициям сигнала, на фазовой диаграмме. На рис. 6 показана фазовая диаграмма для 16-позиционной КАМ.

На диаграмме рис. 6 видно, что расположение точек на ней не связано обязательной окружностью. Физический смысл этого состоит в том, что большее, чем на круговой диаграмме, разнесение точек позиций сигнала позволяет облегчить процесс распознавания сигнала при его приёме, или, другими словами, обеспечивает несколько большую помехозащищённость цифрового канала.

Однако, если сравнивать варианты передачи многоуровневых и бинарного сигналов, то необходимо помнить, что увеличение числа уровней линейного сигнала должно привести к некоторому снижению его помехозащищённости, типичному для сигналов сложной формы.



*Рис. 6: Фазовая диаграмма 16-позиционной КАМ.*

Средняя энергия, приходящаяся на 1 тактовый интервал многоуровневого сигнала,

$$E_s = k \cdot E_b \quad (2)$$

где  $E_b$  – средняя энергия, приходящаяся на 1 бит исходного информационного бинарного сигнала.

В этом случае соотношения сигнал-шум исходного информационного бинарного сигнала и  $M$ -позиционного линейного сигнала будут связаны выражением

$$10 \log E_s/N_0 = 10 \log E_b/N_0 + 10 \log k \quad (3)$$

где  $N_0$  – спектральная плотность мощности помехи.

Результаты расчётов величины соотношения сигнал-шум, необходимого для обеспечения вероятности ошибки одного символа на выходе линии передачи цифрового сигнала для различного числа уровней  $M$ -позиционного линейного сигнала ( $10 \log E_s/N_0$ ), а также для одного бита соответствующего исходного информационного бинарного сигнала ( $10 \log E_b/N_0$ ) приведены в таблице 1. Величины указаны в децибелах (дБ).

Табл. 1.

<b>M</b>	2	4	8	16	32	64	128
<b><math>10 \log E_b/N_0</math></b>	10,5	13	20	22	30	32	40
<b><math>10 \log E_s/N_0</math></b>	10,5	16	24,8	28	37	39,8	48,4

Приведённые в табл. 1 данные объясняют хорошо известный и подтверждённый практикой факт, что совместная работа в одном многопарном кабеле систем, использующих многоуровневые и «классические» трёхуровневые сигналы, приводит к значительному ухудшению качества передачи как одних, так и других систем. На однокабельных линиях, построенных старыми кабелями с пониженными электрическими характеристиками, зачастую совершенно невозможна работа даже одной системы, использующей многоуровневые сигналы. Вместе с тем, когда переходные затухания в кабелях лежат в пределах установленных норм, использование многоуровневых сигналов даёт ощутимый выигрыш в длинах регенерационных участков, которые делаются соизмеримыми с длинами усилительных участков АСП. В этом случае значительно упрощается и удешевляется процесс замены АСП и устаревших ЦСП на новые системы передачи с использованием многоуровневых сигналов.

## Классификация технологий xDSL.

Мы уже говорили о том, что многоуровневые линейные сигналы различных типов (например, 2B1Q, а также 16-уровневые сигналы TSPAM-16 и сигналы CAP-64 и CAP-128) в первую очередь, используются в системах цифрового абонентского уплотнения металлических кабелей, построенных на базе технологии *«последней мили»*, известной также по условному обозначению *DSL*.

Известно, что расходы на построение и обслуживание сетей доступа по разным оценкам составляют от 30 до 50% общих расходов на инфраструктуру телекоммуникационных сетей. Поэтому экономически целесообразным представляется использование в этих сетях для передачи низко-, средне- и высокоскоростных цифровых сигналов существующих абонентских линий, построенных металлическими кабелями и проводами. Верхний предел скорости передачи в этом случае может достигать 2 Мбит/с, однако не исключены и варианты передачи более высокоскоростных сигналов (до 24 Мбит/с при использовании технологии ADSL 2x), особенно в корпоративных сетях.

Известно, что пропускная способность канала связи является функцией отношения сигнал-шум и ширины полосы пропускания. Казалось бы, пропускную способность можно увеличить за счёт увеличения уровня сигнала при неизменной величине полосы пропускания и уровня шума. Однако такое увеличение неизбежно приведёт к росту переходных влияний в кабеле.

Анализ инфраструктуры абонентских сетей показывает, что *длина типовой абонентской линии* в зависимости от места её размещения и типа используемых кабелей или проводов может лежать в пределах от сотен или даже десятков метров и до 5-ти или более километров. Считается, что около 80 процентов абонентов удалены от узла доступа (или ближайшей телефонной станции) на расстояние до 3 км в городах и до 6 км в сельской местности. Расстояние измеряется не по прямой, а по длине проводов и кабелей. Эффективная передача цифрового сигнала по металлическому кабелю в этом случае возможна только при условии сжатия спектра исходного бинарного сигнала, например, путём его преобразования в многоуровневый сигнал с меньшей скоростью его передачи. Такое преобразование представляет собой многопозиционную амплитудно-фазовую манипуляцию. Его техническая реализация получила общее название технологии xDSL. Ранее уже говорилось о том, что преобразование бинарного сигнала в 4-уровневый позволяет увеличить длину регенерационного участка 1,41 раз, соответственно, 16-кратное уменьшение скорости передачи соответственно позволит увеличить её в 4 раза. Так, например, если применить указанный метод к решению задачи преобразования линейного сигнала ЦСП ИКМ-30, длина типового регенерационного участка этой системы передачи с затуханием, равным 36 дБ, увеличится для линий, построенных кабелем ЗКП, ЗКА или МКС, до 20 км – 22 км и станет равной длине участка переприёма аналоговой системы передачи К-60.

Этот же принцип используется в популярной в настоящее время технологии ADSL, позволяющей увеличить скорость передачи цифровой информации по стандартной абонентской линии до 8 Мбит/с, а в отдельных случаях и до 24 Мбит/с.

Отсюда вытекает ещё один аспект применения технологии xDSL: её использование для модернизации уже находящихся в эксплуатации ЦСП или для замены аналоговых систем передачи, работающих по существующим кабельным магистралям, на цифровые без коренной реконструкции комплекса линейно-кабельных сооружений.

Однако на сегодняшний день организация сетей абонентского цифрового доступа является, наверное, той областью, где использование технологий xDSL оказалось наиболее востребованным.

В странах с развитой телефонной и кабельной инфраструктурой наиболее распространёнными технологиями проводного доступа конечных пользователей к Интернету и другим источникам цифровой информации, а также обеспечения интерактивных услуг являются кабельные модемы аналоговых линий, технические средства xDSL и аппаратура цифровых сетей широкополосного доступа ISDN.

В настоящее время различные варианты ISDN не получили широкого распространения вследствие их сложности и относительно высокой стоимости.

До последнего времени наиболее распространённым средством подключения домашних пользователей к цифровым сетям были обычные аналоговые модемы. Эти модемы, работающие в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т V.90, послужат еще не один год, обеспечивая вполне приемлемое качество связи. Но их недостатки очевидны: при работе они полностью занимают телефонную линию одним цифровым каналом со сравнительно небольшой скоростью передачи.

Существуют определённые перспективы применения кабельных модемов, которые используют ресурсы сетей кабельного телевидения, при этом подключение абонента производится коаксиальным кабелем. Такие модемы позволяют быстро организовать выход в Интернет по сравнительно невысокой цене. Системы доступа на базе кабельных модемов отличаются низким уровнем помех. Однако объём коаксиальных абонентских линий сравнительно невелик.

Очевидно, наиболее перспективным путём уплотнения абонентских линий является использование *технологий высокоскоростной передачи цифровой информации по обычным медным проводам*. Технологии xDSL дают новое качество медным абонентским парам и предоставляют ряд значительных преимуществ как провайдером, так и пользователям услуг связи.

Стандартный канал тональной частоты занимает полосу частот от 0 до 3400 Гц. Этот же диапазон используют и модемы, обеспечивающие сегодня при благоприятных условиях скорость передачи до 56 кбит/с. На самом деле, реальная полоса пропускания телефонной пары значительно больше, и на относительно небольших расстояниях можно добиться увеличения полосы пропускания до 1-2 МГц. Если при этом использовать еще и специальные методы модуляции, то скорость передачи можно довести до единиц и даже десятков мегабит в секунду, что и делается в системах xDSL.

Находящиеся в настоящее время в эксплуатации *абонентские линии ТфОП* (АЛ), за редким исключением, являются *двухпроводными*. Соответственно, системы передачи абонентского доступа, использующих технологии xDSL, по большей части должны быть *дуплексными*. Наиболее перспективным способом разделения сигналов, передающихся в направлениях к абоненту и от абонента, когда от двухпроводной схемы надо перейти к четырёхпроводной, является метод разделения сигналов при помощи дифференциальной системы. Функции последней в современных системах передачи выполняют специализированные микросхемы *эхокомпенсаторов*. Такие микросхемы осуществляют вычитание исходящего сигнала из суммарного сигнала, который присутствует на входе абонентской линии и представляет собой комбинацию входящего (с низким уровнем) и исходящего (с высоким уровнем) сигналов. При этом на выходе схемы будет присутствовать только входящий сигнал низкого уровня, поступающий далее на регенератор и на вход абонентского устройства. В отдельных случаях используется также метод частотного разделения входящих и исходящих сигналов. Если скорости передачи в обоих направлениях равны, технологии xDSL называются симметричными и обозначаются, как SDSL. При неравенстве скоростей технологии xDSL квалифицируются, как асимметричные – ADSL.

В то же время, технологии xDSL классифицируются также и по методам преобразования сигналов.

В настоящее время наибольшее распространение в мировой практике получили следующие разновидности технологии xDSL:

- **HDSL** – скоростная цифровая абонентская линия,
- **MDSL** – среднескоростная цифровая абонентская линия,
- **VDSL** – высокоскоростная цифровая абонентская линия,
- **RA-HDSL** – цифровая абонентская линия со ступенчатой регулировкой скорости,
- **SDSL** – симметричная абонентская линия, работающая по одной паре,
- **SHDSL** – симметричная высокоскоростная абонентская линия, работающая по одной паре,
- **IDSL** – цифровая абонентская линия для одной пары проводов, используемой для передачи сигналов ISDN.

Перечисленные технологии используются для организации как симметричных так и асимметричных связей. Основные технические характеристики даны в таблице 2. Данный перечень не исчерпывается приведённым выше списком, в который вошли только перспективные, по мнению авторов, технологии. Самые распространённые из них более подробно рассматриваются ниже. Опыт внедрения в России и за рубежом показал, что их применение позволяет уменьшить затраты на организацию абонентского доступа к высокоскоростным услугам сети примерно вдвое по сравнению с вариантом использования оптического кабеля. Выбор конкретной технологии зависит от характера абонентской сети, типа передаваемой информации и экономической целесообразности её применения.

Таблица 2.

Название	Скорость передачи	Режим передачи
<b>ISDN</b>	128 кбит/с	симметричный
<b>HDSL</b>	1,544...2,048 Мбит/с	симметричный.
<b>SDSL</b>	1,544...2,048 Мбит/с	симметричный.
<b>ADSL</b> <b>ADSL2\2+</b>	1,5...24 Мбит/с (нисх) 0,16...4 Мбит/с (восх)	асимметричный.
<b>VDSL</b>	13...52 Мбит/с (нисх) 1,5...2,3 Мбит/с (восх)	асимметричный
<b>MVL</b>	768 Кбит/с	Диапазон может быть в любой пропорции разделен между нисходящим и восходящим трафиком
<b>Ether Loop</b>	до 1,5 Мбит/с (в перспективе до 6 Мбит/с)	симметричный

. Опыт внедрения и эксплуатации ЦСП показал, что работа систем передачи различных типов, а также ЦСП и АСП на одной кабельной линии вполне возможна, хотя и связана с определёнными трудностями и требует соблюдения целого ряда ограничений. Так, например, системы ADSL прекрасно сосуществуют на одной линии с обычной аналоговой телефонией и даже такой цифровой системой передачи, как ISDN. Но при этом требуется строго соблюдать требования к уровню сигнала и занимаемой им полосе частот. Указанные требования реализуются путём введения предварительной коррекции сигнала (формирования импульсов определённой формы

и амплитуды) с целью подавления гармоник и ограничения уровня высокочастотных составляющих спектра цифрового сигнала. Несоблюдение требований ограничения высокочастотных составляющих может привести к недопустимому повышению уровня переходных помех в парах кабеля, занятых другими системами передачи.

### Технология HDSL

*HDSL - симметричная высокоскоростная абонентская линия* – первоначально появилась, как альтернатива существующим первичным ЦСП типа T1 и E1 при организации выделенных линий передачи данных, а в дальнейшем получила широкое распространение на соединительных линиях местных сетей благодаря возможности отказа от промежуточных регенераторов при одновременном обеспечении величины коэффициента ошибок, достигающем, при соблюдении ряда условий, величины  $10^{-10}$ , что соответствует качеству передачи по волоконно-оптическим линиям. (Поэтому технологию HDSL часто называют “медной оптикой”).

Технология HDSL заключается в преобразовании исходного бинарного сигнала в многоуровневый и его передачу по 4-х или абонентской или соединительной линии. Технологию HDSL можно использовать для передачи цифровой информации при соблюдении следующих условий:

- при разделении входящего и исходящего информационных сигналов, передаваемых по 2-проводной линии, уровень подавления сигнала противоположного направления (в технической литературе часто используется термин «эхосигнал») должен превышать 60 дБ даже в условиях составной линии. Аналогичные требования предъявляются к подавлению переходных влияний как на ближнем, так и на дальнем концах при работе по 4-х проводной линии;

- организуется адаптивная предкоррекция сигнала, которая выражается в ограничении частотного диапазона и нормализации формы импульсов и способствует обеспечению нормированного уровня качества передачи;

- используются специальные методы кодирования сигнала, позволяющие уменьшить ширину спектра линейного сигнала.

Подавление эхосигнала осуществляется вычитанием передаваемого сигнала из суммарного сигнала на входе приёмника после его фильтрации в режиме реального времени. Этот метод доказал свою эффективность.

Дефекты канала определяются путём ввода в передаваемый сигнал испытательной импульсной последовательности и последующего контроля её прохождения.

В технологии HDSL чаще всего используется алгоритм преобразования сигнала **2B1Q**. В ряде случаев цифровой поток 2 Мбит/с разделяется на два потока по 1 Мбит/с путём его демультиплексирования и передачи по двум парам в каждом направлении. Результирующая скорость передачи линейного сигнала в этом случае составит 512 кБод, а длину регенерационного участка можно увеличить более, чем в 3 раза. Кроме того, введение в структуру группового сигнала специальных коротких заголовков позволяют обеспечить поиск и обнаружение ошибок при формировании потоков 1 Мбит/с.

Другим, также широко распространённым линейным сигналом технологии HDSL, является **CAP**. CAP расшифровывается, как Carrierless Amplitude/Phase modulation, то есть амплитудно-фазовая модуляция с подавлением несущей. В основу CAP положен метод квадратурной амплитудно-фазовой модуляции (QAM), основанный на одновременной модуляции несущей частоты по амплитуде и фазе. При передаче сигнала в линию из него удаляется несущая частота (carrier), отсюда и название. Цифровой поток разделяется на два потока, каждый из которых модулируется отдельно, после чего сигналы складываются. Наибольшее

распространение получили модификации этого кода CAP-64, при которой в одном тактовом интервале сигнала CAP передаются 6 бит информации исходного бинарного сигнала, и CAP-128, в котором в одном тактовом интервале сигнала CAP передаются 7 бит исходной информации. В этом случае в группе, состоящей из 6-ти, или 7-ми бит, все биты, кроме одного, являются информационными, а один бит – служебным. CAP позволяет существенно уменьшить скорость передачи сигнала. Стандартный поток E1 при использовании CAP-128 занимает полосу, не превышающую 293 кГц. При такой ширине полосы значительно увеличивается допустимая длина абонентской линии за счёт уменьшения её рабочего затухания и увеличения переходного затухания. Кроме того, уменьшается чувствительность системы передачи, как к высокочастотным, так и к низкочастотным наводкам, которые оказываются лежащими вне полосы частот информационного сигнала.

Пропускная способность системы, обеспечиваемая технологией HDSL, по сравнению с ИКМ-30 возрастает настолько, что позволяет организовать передачу сигналов синхронной цифровой иерархии, в частности, виртуальных контейнеров VC-12 и компонентных (трибутарных) блоков TU-12, при сохранении структуры линейного тракта (в частности, длины регенерационных участков) существующей первичной системы передачи. (Известно, что скорость передачи TU-12 равна 2304 кбит/с). К недостаткам метода HDSL можно отнести то, что его использование ограничивается абонентами, которые располагают подходящими к ним двумя скрученными парами медного кабеля. Опыт внедрения технологии HDSL показал, что на линиях, построенных телефонными кабелями с неэкранированными парами, резко возрастают помехи, наводимые на пары кабеля, уплотнённые другими системами передачи особенно при увеличении длины линий или если последние имеют какие-либо дефекты, связанные с нарушением симметрии пар.

Следующим шагом в развитии технологии HDSL стала *технология HDSL2*, предназначенная для передачи группового цифрового потока по одной паре проводов. Существенное отличие HDSL2 от HDSL состоит в использовании различных спектральных плотностей мощности при передаче в прямом и в обратном направлении. В HDSL2 используется 16-уровневая амплитудно-импульсная модуляция и так называемое решётчатое кодирование. Такое кодирование позволяет уменьшить задержку сигнала при его обработке и улучшить соотношение сигнал/шум на 3 дБ, а в ряде случаев даже на 6 дБ.

Перспективным направлением развития технологии HDSL стал переход от четырехпроводных модемов к двухпроводным. Модификация HDSL, предусматривающая использование только двух проводов, получила название *SDSL* (Single Line DSL) рассчитанная на передачу сигналов 64-н кбит/с. Понятно, что для многих пользователей такое решение является единственно доступным, несмотря на некоторую сложность его технических решений.

Основные области применения устройств HDSL/SDSL - мосты между сегментами корпоративных сетей, соединение базовых станций мобильной связи. В качестве массового решения проблемы "последней мили" устройства HDSL/SDSL распространения не получили, так как более перспективной оказалась технология ADSL.

### **Технология ADSL.**

*ADSL - асимметричная высокоскоростная абонентская линия.* Эта технология использует несимметричный приём и передачу цифрового сигнала.

Как такового, полного стандарта ADSL пока не существует, это скорее название технологии, его техническая реализация в виде окончательных устройств варьируется производителями в больших пределах.

ADSL позволяет передавать сигналы со скоростью, достигающей величины 24 Мбит/с по стандартным телефонным линиям. При этом скорость исходящего абонентского сигнала оказывается значительно ниже скорости принимаемого сигнала.

Технология ADSL, в первую очередь, используется при построении так называемых гибридных сетей, включающих в себя как цифровые, так и аналоговые линии передачи информации. При этом можно передавать аналоговые сигналы обычной телефонной связи по той же паре телефонных проводов, которая используется для передачи потока данных. На обоих концах линии аналоговые сигналы отфильтровываются от цифрового высокоскоростного сигнала, позволяя использовать обычную телефонную связь одновременно с передачей данных. Кроме того, гибридные сети могут обеспечивать доставку к абоненту, как цифровой информации, так и аналоговых телевизионных или других видеосигналов.

ADSL может рассматриваться, как альтернатива идеологии существующей цифровой сети с интеграцией услуг ISDN, и обещает быть в ближайшее время самой массовой телекоммуникационной технологией. Технологию асимметричной абонентской телефонной линии (ADSL) можно использовать для организации видео по запросу, а также (и это несравненно более востребованное применение) в качестве оптимального решения высокоскоростного доступа в сеть Интернет отдельных пользователей и небольших офисов по уже существующим абонентским телефонным линиям. Асимметричность данной технологии позволяет снизить по сравнению с симметричной технологией переходные помехи, а выбранные разработчиками скорости передачи данных (высокоскоростной «нисходящий» поток данных и «восходящий» поток данных с меньшей скоростью) наилучшим образом подходят для работы пользователей сети Интернет. Скорость передачи сигнала, входящего к абоненту, достигает нескольких Мбит/с. Для исходящих от абонента сигналов достаточна скорость передачи, равная нескольким сотням кбит/с.

Все сигналы передаются в двух направлениях. Для обработки аналогового сигнала обычно используют специализированную гибридную микросхему. Сигнальная информация, поступающая к абоненту, входит в состав высокоскоростного цифрового сигнала. При поступлении сигнала от абонента к сетевому оборудованию (серверу), эта информация переносится в отведённую для его работы полосу частот. В обратном канале видеосигналы и цифровые сигналы от абонента модулируют соответствующие сигналы несущей частоты. Современные типы модемов ADSL автоматически выбирают нужные полосы частот в соответствии с типом линии и необходимой скоростью передачи.

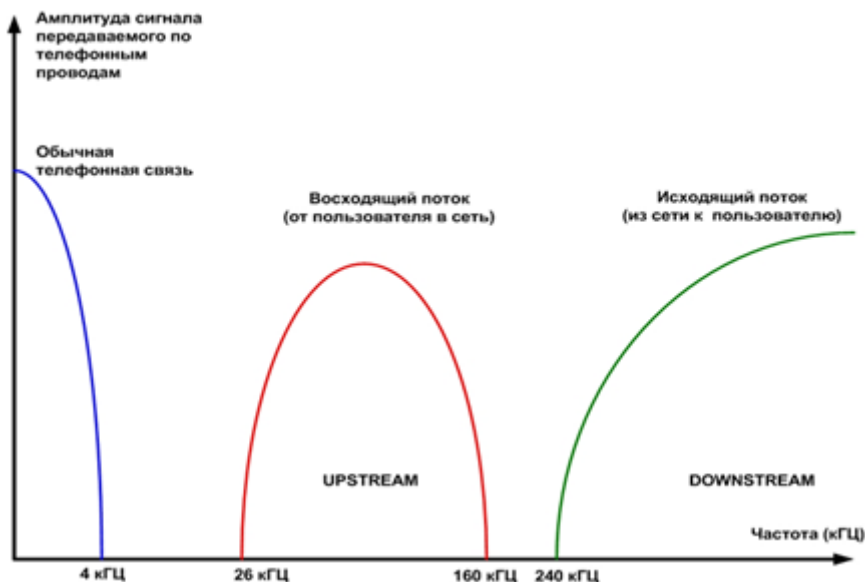
Технология ADSL обеспечивает передачу исходящего сигнала со скоростью от 16 кбит/с до 800 кбит/с, а входящего – от 1,5 до 8 Мбит/с. Технология ADSL2+ обеспечивает соответственно передачу исходящего и входящего сигналов со скоростями 2 Мбит/с и 24 Мбит/с. Однако необходимо отметить, что реальная скорость передачи на практике часто бывает в несколько раз ниже. Максимальная скорость передачи определяется конкретным оборудованием ADSL. Кроме того, скорость передачи зависит от длины витой пары, а также от ее омического (зависящего от диаметра провода) и волнового (зависящего от конструкции пары) сопротивления.

При ADSL аналоговый телефонный сигнал, сигнальный канал 16 кбит/с и цифровой сигнал размещаются в трёх различных диапазонах частот (см. рис. 7).

Полоса пропускания линии ADSL разбивается на два диапазона. Диапазон от 0 до 4,4 кГц используется для звукового канала (POTS), а от 4,4 кГц до 2,2 МГц - для передачи цифровой информации. Сделано это потому, что ADSL предполагается использовать в домашних условиях, в которых используется только одна телефонная линия, поэтому работа модема ADSL не должна препятствовать эксплуатации линии по прямому назначению, то есть для телефонных разговоров.

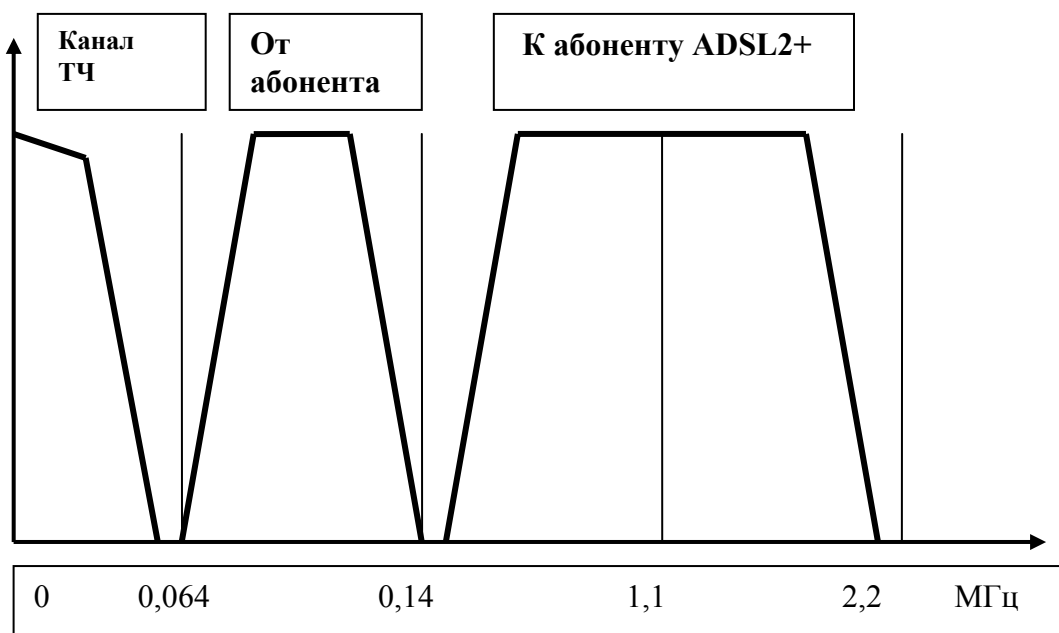
В принципе, существуют специальные устройства - частотные разделители (splitter), но перспективные домашние модемы ADSL, скорее всего, в них нуждаться не будут (т. н. splitterless технологии).

Диапазон данных в устройствах ADSL может разбиваться еще на два поддиапазона: один - для нисходящего, второй - для восходящего потока. Такое разделение получило название FDM (Frequency Division Multiplexing).



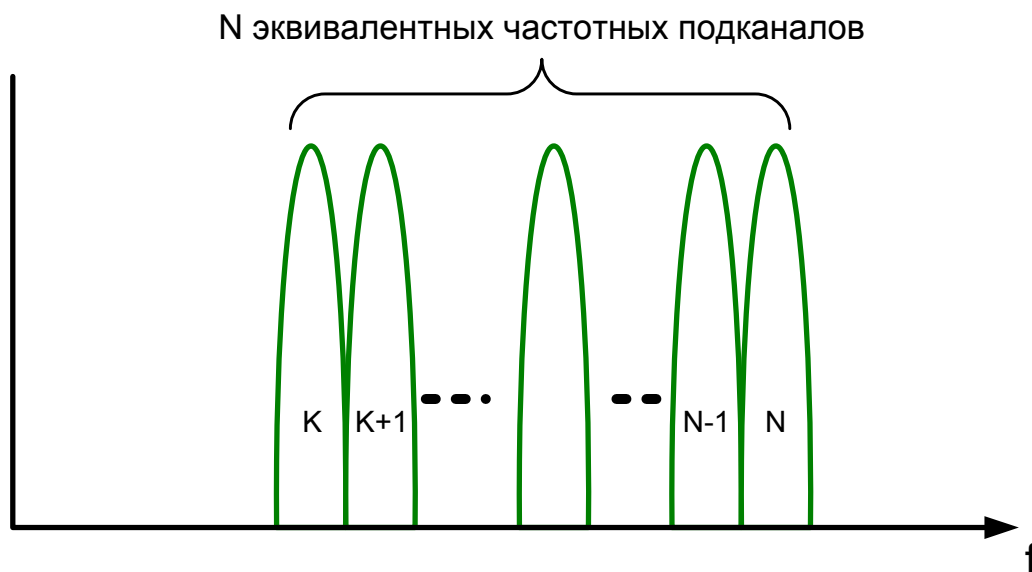
*Рис. 7: Распределение частот в спектре сигнала ADSL.*

В технологии ADSL2+, являющейся развитием ADSL, вся полоса пропускания медной пары с помощью сплитера (или микрофилтра) делится на три диапазона: низкочастотный для телефонной связи и два высокочастотных для передачи входящего и исходящего потоков данных (см. рис. 8).



*Рис. 8: Распределение частот в спектре сигнала ADSL2+.*

Высокоскоростной сигнал, занимающий полосу от 0 до 1.104 МГц, разбивается на 256 подканалов (используются из них около 247) по 4.325 кГц каждый (рис. 9).



*Рис. 9: Разбиение высокочастотного сигнала на подканалы.*

Это можно представить себе так, как будто между абонентом и зданием АТС проложено 256 независимых телефонных линий. Часть из них служит для приема потока, передаваемого от Интернета к абоненту, часть – для потока противоположного направления. Для этого на станции устанавливаются 256 преобразователей. Они и обеспечивают преобразование цифрового потока (последовательности нулей и единиц) в электромагнитный сигнал, проходящий по линии. На абонентской стороне этот сигнал обратно преобразуется в бинарный цифровой поток. Первая часть каналов в диапазоне частот от 26 до 160 кГц обеспечивает передачу от абонента на станцию потока, называемого «восходящим», а остальные каналы в диапазоне от 260 кГц и приблизительно до 1,104 МГц - передачу от станции к абоненту. Этот поток называется «нисходящим». Естественно, те преобразователи, которые установлены на каналах, по которым невозможно передавать сигнал, при этом не функционируют. Телефонный сигнал передается в диапазоне от 0,3 кГц до 3,4 кГц.

Система управления линией построена таким образом, что непрерывно идет мониторинг состояния каждого канала, и для передачи его результатов информация направляется в те каналы, которые обладают наилучшими характеристиками и свободны.

Само по себе решение разбиение канала на подканалы, является, по сути, способом линейного кодирования, называемом DMT (Discrete Multi Tone), мы его упоминали выше. Ключевая особенность этого метода как раз и состоит в разделении частотного диапазона канала на несколько эквивалентных независимых подканалов. Это значит, что подканалы модулируются независимо, так что воображаемая картинка с «256 разными проводами» в принципе довольно правдоподобна. Огромное преимущество этой системы заключается в том, что при правильном распределении информационных бит и выставлении различных уровней мощности по поднесущим (как в аналоговых системах), можно добиться того, что скорость передачи информации может приблизиться к величине, теоретически предельной для данного канала связи. Кроме того, при возникновении сосредоточенной помехи (вследствие, например, высокого уровня наводок в кабеле) на частоте отдельных каналов, информация по этим частотным каналам может вообще не передаваться, что не

отразится на работе других подканалов, и соответственно минимально отразится на работе канала в целом.

Примерные соотношения скорость – длина - диаметр провода абонентской линии приведены в таблице 3.

Таблица 3

Скорость нисходящего трафика	передачи	Диаметр провода	Длина линии
1,5 ... 2 Мбит/с		0,5 мм	5,5 км
1,5 ... 2 Мбит/с		0,4 мм	4,6 км
6,1 Мбит/с		0,5 мм	3,7 км
6,1 Мбит/с		0,4 мм	2,7 км

Некоторые устройства ADSL используют метод Echo Cancellation (подавление отраженного сигнала). В этом случае, так же как и в обычных модемах, восходящий и нисходящий трафик используют общий диапазон.

Для эффективного использования частотного диапазона в ADSL обычно используют один из двух методов модуляции сигнала: DMT или CAP.

Метод CAP широко используется в современных модемах ADSL. На основе CAP работали также первые модемы HDSL. Возвращаясь к этой, рассмотренной выше технологии, надо отметить, что HDSL рационально использовать на простых и недорогих линиях, причём не только абонентских, но и соединительных. Технология ADSL применяется на абонентских линиях, на которых предполагается организовывать обратный канал для интерактивного обмена. На этих линиях можно говорить о принципиально ином варианте использования метода CAP. Модулированный методом CAP сигнал занимает относительно небольшую полосу, что очень важно, когда сразу несколько телефонных пар в одном кабеле отводится под ADSL (переходные влияния между парами растут с увеличением частоты).

Схема абонентской линии, построенной на базе технологии ADSL, показана на рис.10.

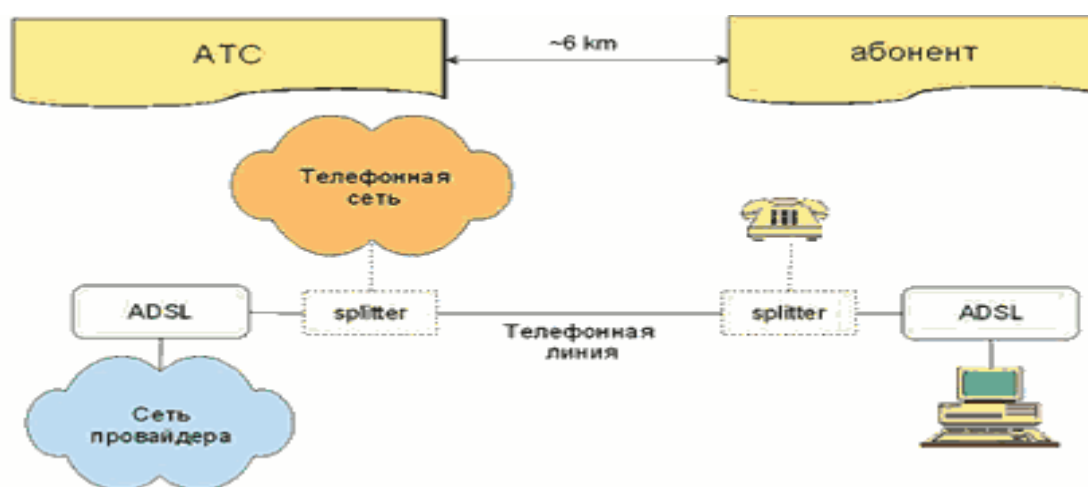


Рис. 10: Схема абонентской линии ADSL.

В модемах, использующих DMT (Discrete Multi-Tone), информационный поток разбивается на несколько каналов, каждый из которых передается на своей несущей

частоте с использованием QAM. Обычно DMT разбивает полосу от 4 кГц до 1,1 МГц на 256 каналов, каждый шириной по 4 кГц. Данный метод решает проблему разделения полосы между голосом и данными (голосовую часть он просто не использует), но более сложен в реализации, чем CAP.

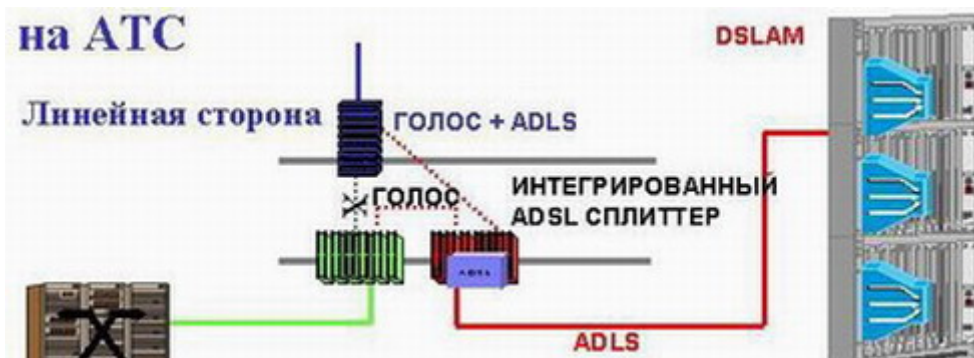
Оба вида модуляции имеют свои достоинства и недостатки, поэтому пока они находят равное применение в устройствах ADSL. В любом случае, в отличие от 2B1Q, несомненными достоинствами CAP и DMT является то, что можно строго регламентировать полосу частот, которую они занимают. Поэтому весьма актуальная для домашних пользователей проблема разделения каналов голоса и данных в единой телефонной линии решается относительно просто.

В то же время внедрение технологии ADSL затруднено целым рядом следующих факторов.

Использование ADSL для доступа к Интернету или к другим интерактивным услугам в силу своей специфики предполагает единство или близость телефонного оператора и провайдера услуг, так как серверное оборудование ADSL должно быть установлено непосредственно на АТС.

Внедрение технологии xDSL, в первую очередь ADSL, потребовало интеграции кроссового оборудования и оборудования частотного разделения сигналов для их распределения по абонентам и по направлениям. На базе типовых блоков соединительных устройств был разработан индивидуальный интегрированный частотный разделитель (так называемый сплиттер), который служит для подключения установленного оборудования оборудования ADSL и ADSL2+ на узлах и на сетевых окончаниях.

**Сплиттер** обеспечивает разделение соответствующих частотных составляющих, переключение сигналов, обслуживание и замену элементов линии без отключения соседних абонентов. При этом возможна поддержка не только технологии ADSL, но и переход на другие технологии, например, SHDSL. Типовая конструкция сплиттера предусматривает размещение 48 или 64 портов в блоке. Пример включения сплиттера ADSL в сеть абонентского доступа показан на рис. 11.



**Рис. 11:** Пример включения аппаратуры ADSL в сеть доступа

На рис. 12 показан абонентский конец линии.

Как уже говорилось выше, сплиттеры разделяют аналоговые телефонные сигналы, сигналы управления и взаимодействия (вызов, набор номера, зуммер и т.п.) и сигнал ADSL. Другой важной функцией сплиттера является защита входа аппаратуры ADSL от переходных процессов, возникающих во время подачи сигналов управления и взаимодействия (импульсов постоянного тока большой амплитуды) а также защита телефонного аппарата от попадания сигнала ADSL, имеющего относительно высокую мощность. В чистом виде, когда сплиттеры устанавливаются на обоих концах линии, технология ADSL обеспечивает передачу цифровых сигналов

со скоростью от 6 Мбит/с до 9 Мбит/с по проводам диаметром 0,5 мм на расстояние до 4,5 километров.



*Рис. 12: Схема фрагмента абонентского окончания сети доступа, построенной на базе технологии ADSL*

Дальнейшим развитием технологии ADSL является **технология ADSL-Lite** (или G-Lite), которая не требует установки у абонента сплиттеров для разделения голоса и данных. Данная технология была разработана для передачи цифровых сигналов по длинным абонентским линиям и абонентской проводке низкой категории. Скорость передачи сигнала ADSL-Lite ниже, чем у обычной ADSL, но данная технология позволяет не использовать на абонентской стороне линии сплиттер, разделяющий голос и передаваемые данные (рис. 13).

Подключение телефонов и компьютеров к одной физической линии, с одной стороны, является несомненным достоинством данной технологии, но в то же время его реализация связана с рядом трудностей. Было замечено, что в этом случае низкочастотные сигналы могут модулировать голосовой сигнал, а голосовой сигнал может, в свою очередь, модулировать сигнал передачи данных. Причём последний вариант встречается гораздо чаще, и в этом случае практически невозможно предугадать, какой из телефонных аппаратов станет причиной этой проблемы. В качестве меры предосторожности рекомендуется вмонтировать в каждую телефонную розетку микрофильтр низких частот. В этом плане использование технологии G-Lite, которая не требует установки на абонентском конце линии сплиттера, значительно облегчает задачу провайдера, предоставляющего пользователю услуги высокоскоростного доступа.



*Рис. 13: Схема фрагмента абонентского окончания сети доступа, построенной на базе технологии ADSL G Lite.*

При тестировании систем ADSL необходимо также учитывать взаимное влияние друг на друга линий ADSL, физически находящихся в одном кабеле.

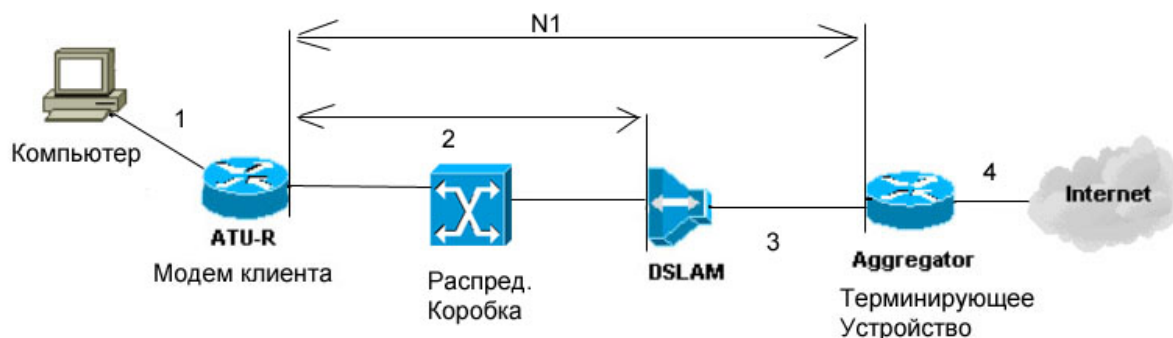
Использование оборудования ADSL для решения проблемы последней мили оказывается экономически выгодным только при его массовом использовании, когда к концентратору у телефонного оператора будут подключаться, как минимум, сотни абонентов. Одиночным же пользователям, чтобы получить скоростной доступ в Интернет, придется потратить значительные суммы. Правда, ADSL может использоваться и для подключения целой локальной сети. Некоторые клиентские модемы (например, Affinity Viper-DSL компании 3COM) имеют интерфейс Ethernet и предназначены для присоединения ЛВС. В этом случае экономически оправданным станет подключение к транспортным сетям сетей доступа малого и среднего бизнеса, а также групп домашних пользователей.

### Построение сети доступа на базе технологии ADSL.

На рис. 14 показан пример организации подключения абонента к сети Интернет с применением технологии ADSL.

Схема подключения включает в себя четыре основных функциональных узла:

- Компьютер абонента
- Модем ADSL
- Распределительная коробка
- Мультиплексор доступа (DSLAM)
- Терминал подключения к транспортной сети, он же сервер доступа - (NAS – Network Access Server)



*Рис. 14: Схема соединения «Абонент-Интернет»*

Цифрами на схеме обозначены следующие соединения:

- 1 - компьютер - модем;
- 2 - модем - мультиплексор доступа;
- 3 – мультиплексор доступа - терминал подключения к транспортной сети;
- 4 - терминал подключения к транспортной сети - Internet-провайдер.

Ниже следует краткая характеристика перечисленных участков.

**Участок 1.** Соединение компьютер – модем. Как правило, модемы ADSL имеют два типа интерфейсов для подключения к устройствам пользователя - Ethernet и USB. Однако, оба эти способа подключения можно рассмотреть как Ethernet, т.к. драйвер для USB модема включает в себя ELAN (Emulation LAN). Но стоит отметить, что USB модемы сильно зависят от ОС, т.к. эмуляция LAN происходит путем установки специфического драйвера на уровне операционной системы.

**Участок 2.** Передача цифровых сигналов по медному проводу. Медная абонентская пара является наиболее проблемным звеном сети цифрового доступа. Схема такой сети показана на рис. 15.



**Рис.15:** Схема организации цифрового абонентского доступа.

Медный провод, приходящий в квартиру, подключен к телефонной станции, которая обеспечивает прием и передачу сигнала тональной частоты 0,3- 3,4 кГц. Обычный модем для подключения цифрового абонента к аналоговой телефонной линии просто подстраивается под возможности телефонной сети, а потому обеспечивает скорость передачи, теоретически ограниченную величиной 56 Кбит/с, а реально редко работает даже на скорости 19,2 кбит/с. Однако, технические возможности самой медной пары гораздо выше, ее пропускная способность приближается к 1 МГц, и поэтому через нее можно передавать данные на мегабитных скоростях. Чтобы сделать линию для доступа в Интернет независимой от телефона, к окончаниям медной пары подключаются специальные устройства: частотные разделители (Splitter) - один на АТС, другой в квартире абонента. Один выход стационарного сплитера подключен с АТС, а другой к мультиплексору (DSLAM), связанному с Интернетом. Абонентский сплитер устанавливается у входа в квартиру, от него идут два провода – один к ADSL-модему, а другой ко всем телефонным розеткам. Есть и другой вариант подключения абонента – можно использовать частотный (полосовой) фильтр, выполненный в виде автономного устройства. В литературе часто используется его непереведённое на русский язык название Microfilter (микрофильтр). В таком случае модем подключается к линии напрямую, а все телефоны, факсы и пр. устройства подключаются к линии через микрофильтры.

**Участок 3.** Связь мультиплексора доступа с сервером сети передачи данных.

Участок номер 3 полностью находится на обслуживании УСПД. Между мультиплексором доступа и терминалом подключения к транспортной сети обычно прокладываются несколько оптоволоконных каналов, по которым передаются цифровые сигналы по технологии Gigabit Ethernet или ATM.

Рассмотрим более подробно *параметры, влияющие на качество передачи на разных участках схемы.*

1. Состояние устройств (модемов, частотных разделителей, фильтров).
2. Качество соединительных линий (медной пары кабеля, витой пары).
3. Корректная работа оконечных устройств (например, компьютера), которая определяется следованием инструкциям и стандартам при их установке (настройка модемов, компьютера, прокладка кабеля и внутренней проводки).

3. Соблюдение нормальных условий среды передачи данных (нормальная влажность, отсутствие сильных электромагнитных полей, соблюдение температурного режима не приводящего к повреждению оборудования, отсутствие внешних помех, глушащих сигнал, отсутствие воздействия химически активных сред и веществ и т.д.).

4. Загруженность сетевых ресурсов, а также эффективность примененных технических решений используемых для профилактики и решения проблем, как на стороне пользователя, так и на сети.

Необходимо также остановиться на **наиболее типичных проблемах пользователей ADSL-доступа.**

1. Отсутствие соединения с мультиплексором доступа (DSLAM). Эта проблема более известна нам как состояние «нет соединения», проблема, наиболее часто возникающая на участке схемы под номером 2.

2. Отсутствие обращений к серверу доступа (NAS). Ситуация, при которой клиент получает «ошибку 678, 769» и т.д., т.е. проблема возникает на участке номер 1. Следует уточнить, что эта ситуация рассматривается только при условии, что соединение установлено.

3. Возможные ситуации при авторизации на сервере (RADIUS). Эта проблема известна как «ошибка 691», которая имеет ряд причин. Ключевой момент заключается в том, что если клиенту выдается «ошибка 691» и видны попытки клиента авторизоваться, то это говорит о наличии соединений на участках 1 и 2 и активной связи с сервером доступа и RADIUS.

### Технология VDSL

Первым усовершенствованием ADSL стала **технология VDSL**. Аббревиатура расшифровывается как "Very high data rate DSL". Значительное увеличение скорости передачи в устройствах VDSL достигается за счет сокращения длины линии связи. Как стандарт VDSL пока не устоялся, типовые характеристики некоторых вариантов реализации приведены в таблице 5.

Таблица 5

Скорость передачи трафика	нисходящего	Дальность
12,96 Мбит/с		~1350 м
25,8 Мбит/с		~900 м
51,84 Мбит/с		~300 м

Считается, что для телекоммуникационных систем, работающих по медным кабелям, увеличение скорости передачи цифровых сигналов возможно только при уменьшении длины участка переприёма. Когда возможности реконструкции линейно-кабельных сооружений исчерпываются, дальнейшее увеличение скорости осуществляется при переходе к волоконно-оптическим абонентским линиям. При этом происходит частичная или полная замена медных кабелей на волоконно-оптические, по которым передаются высокоскоростные сигналы. В случае выбора варианта частичной замены или при необходимости организовать передачу высокоскоростного цифрового сигнала по сравнительно коротким абонентским линиям, **технология VDSL позволяет преодолеть последние сотни метров абонентской линии, выполненной металлическим кабелем.** Скорость передачи сигнала в прямом направлении, в зависимости от класса передачи и требуемой дальности, может лежать в пределах от 6,4 Мбит/с до 51,2 Мбит/с, а в обратном направлении – от 1,6 Мбит/с до 25,6 Мбит/с. Перекрываемое расстояние при этом составляет на стандартных

абонентских линиях около 300 м для скорости 51,2 Мбит/с и около 1,4 км для скорости 6,4 Мбит/с.

В отличие от HDSL, VDSL требует для организации связи только одну пару медного кабеля и может работать параллельно с аналоговым телефоном или ISDN. VDSL может работать как в симметричном, так и в асимметричном режиме. При этом организуется как передача данных, так и двусторонняя телефонная связь или канал ISDN.

Сигналы VDSL вводятся в виртуальные контейнеры SDH или в ячейки ATM. Принцип организации VDSL заключается в независимом выборе скорости передачи сигнала в каждом из направлений. Сигнал VDSL занимает полосу частот в пределах от 600 кГц до 51 МГц, что неизбежно ставит задачу обеспечения защиты от помех коротковолновых радиопередатчиков, особенно если не обеспечивается необходимая экранировка кабелей. Наряду с VDSL популярность удалось завоевать и системам, использующим *технологии MSDSL* — они появились в конце 1990-х годов и получили повсеместное распространение, в том числе в России. Эти системы с автоматически настраиваемой скоростью передачи (до 2,048 Мбит/с) позволяют добиться наилучшего сочетания скорости и дальности передачи.

### Технология SHDSL

*SHDSL – симметричная высокоскоростная технология*, которая является дальнейшим развитием технологии SDSL. Существует ряд разновидностей указанной технологии, из которых одной из наиболее перспективных можно считать G.SHDSL. *G.SHDSL* позволяет создать стандарт, который обеспечивает совместимость разнотипного оборудования различных поставщиков услуг. В настоящее время G.SHDSL – это единственная симметричная DSL-технология, стандартизованная Международным союзом электросвязи (ITU).

Как и любая симметричная DSL-технология, G.SHDSL ориентирована, главным образом, на корпоративный сектор, поскольку именно он нуждается в симметричном доступе — голосовые каналы, удаленный доступ к сети предприятия, подключение к Интернету (веб-серверы) и другие приложения в ряде случаев требуют передачи одинаковых по объему входящих и исходящих потоков.

В основу G.SHDSL положены основные идеи HDSL2, получившие дальнейшее развитие. В данной технологии также применяется тип линейного сигнала TSPAM 16. При кодировании за один тактовый интервал сигнала TSPAM 16 передается 4 бита, 3 из которых являются информационными битами исходного бинарного сигнала, при этом формируется сигнал с 16-ю кодовыми состояниями. Процесс формирования получил название импульсной амплитудно-фазовой модуляции с так называемым решётчатым кодированием (кодированием Треллис, Trellis coded modulation).

*Решётчатое кодирование* применяется в качестве внутреннего кода микропроцессора, формирующего сигнал TSPAM 16. Его преимуществами является повышенная помехозащищённость и снижение задержки сигнала при его обработке. Опыт внедрения указанной технологии показал, что по сравнению с системами передачи, использующими HDSL, соотношение сигнал/шум возрастает на 3 дБ – 6 дБ.

Данное преобразование позволяет в 16 раз уменьшить скорость передачи, что позволяет соответственно в 4 раза увеличить длину регенерационного участка при сохранении нормированных требований к его рабочему затуханию и уровню переходных влияний. Кроме того, при совместной работе по одному многопарному кабелю систем, использующих сигнал TSPAM 16, и других ЦСП, уменьшаются взаимные влияния. Следует учитывать, что при этом должны неукоснительно выполняться требования ограничения уровня сигнала и подавления его высших гармонических составляющих. Всё это позволяет сделать вывод о перспективности

использования ТС-РАМ 16 в технологии «последней мили». В этом случае два оконечных цифровых устройства обмениваются данными по обычной телефонной линии со скоростью до 2,3 Мбит/с.

Применение системы кодирования ТС-РАМ и смещения частот для нисходящего и восходящего трафика предоставляет возможность оптимально использовать отведённую полосу частот. Считается, что такой метод модуляции гарантирует почти предельную скорость передачи. В отличие от кодирования 2B1Q или CAP, которые применяются в HDSL, спектр сигнала локализован в более узкой полосе частот. Это помогает избежать перекрестных помех (при совместной работе на одном кабеле) с оборудованием, функционирующем как по другим DSL-технологиям, так и по самой G.SHDSL.

В G.SHDSL эффективно используется адаптация скорости передачи, которая в этом случае может изменяться в пределах от минимальной величины 192 кбит/с до максимального значения 2,32 Мбит/с с шагом 8 кбит/с. В этом случае становится возможной передача канала E1, для чего в процессе установления соединения модемы на обоих концах линии с помощью специального протокола тестируют условия передачи сигнала. Получив результаты тестирования, модемы производят обмен сообщениями и определяют максимальную скорость передачи, допустимую при данных условиях (это особенно важно для определения типа обслуживания передаваемого трафика и формата передаваемых кадров). Максимальная длина соединения (7,5 км при скорости 192 кбит/с и более 3 км при 2,32 Мбит/с) при этом оказывается больше, нежели у других симметричных DSL-технологий, работающих при тех же скоростях передачи. Применение эхоподавления обеспечивает полnodуплексную связь при всех значениях скорости передачи.

В G.SHDSL предусмотрена возможность использования для передачи информации одновременно двух пар, что позволяет увеличить предельную скорость передачи до 4624 кбит/с и обеспечивает необходимый уровень резервирования. Но главное, можно удвоить максимальную скорость, причём этого удастся достигнуть при передаче по типовому симметричному кабелю, к которому подключен абонент. Стандартом ограничена максимальная задержка цифровой информации в канале передачи — она составляет не более 500 мс. Дополнительно снизить задержки в канале можно за счет оптимального выбора протокола. Например, для IP трафика устанавливается протокол, который позволяет отказаться от передачи избыточной информации.

В отличие от ADSL и VDSL, G.SHDSL как нельзя лучше подходит для организации «последней мили». Так, при максимальной скорости передачи группового сигнала он может быть уплотнён 36-ю голосовыми каналами. Тогда как ADSL, где ограничивающим фактором является низкая скорость передачи от абонента к сети (640 кбит/с), позволяет организовать лишь 9 голосовых каналов, не оставляя места для передачи данных. Еще одна задача, которая успешно решена в G.SHDSL, — это снижение энергопотребления оборудования. Поскольку для дистанционного питания промежуточного и абонентского оборудования используется одна пара, уменьшение его энергопотребления позволяет существенно улучшить эксплуатационные параметры линии.

По сравнению с вариантами построения линии по двухпарной (или четырёхпроводной) схеме, однопарные варианты обеспечивают существенный выигрыш по аппаратным затратам и, соответственно, надежности изделия. Ресурс снижения стоимости составляет до 30% для модемов и до 40% для регенераторов — ведь каждая из пар требует включения в состав аппаратного комплекса приемопередатчика DSL, линейных цепей, элементов защиты и т. п. Казалось бы, новая технология решает большинство накопившихся проблем, и при её внедрении спрос на все прочие симметричные DSL-решения исчезнет. Однако большинство

специалистов отмечают, что G.SHDSL нельзя рассматривать, как полную замену существующих симметричных технологий. Скорее всего, она является их дополнением. По этой причине в ближайшее время можно считать оптимальным вариантом использование аппаратных платформ, которые могут реализовать возможность использования всех основных технологий в рамках единой системы. Именно они позволят поставщику услуг выбирать для подключения абонента решение, оптимально соответствующее существующим условиям и решаемым задачам. Не надо, наверное, доказывать, что для нормальной работы сети необходимо обеспечить совместимость оборудования различных производителей. Это, в свою очередь, позволяет оператору и пользователю легко менять поставщика или приобретать абонентское и станционное оборудование от разных производителей. Таким образом, G.SHDSL представляет собой достаточно эффективный и экономичный способ решения проблемы «последней мили», и с помощью этой технологии можно успешно решать различные конкретные задачи.

Скорее всего, в своем нынешнем состоянии технология G.SHDSL претерпит изменения — известно, что МСЭ (ITU) и Международный Институт Стандартов ETSI сейчас работают над спецификацией G.SHDSL.bis, которая позволит увеличить скорость передачи данных по одной паре с 2,312 Мбит/с до 3,840 Мбит/с (улучшенный код модуляции TSPAM16), а в дальнейшем — до 5,700 Мбит/с (TSPAM32). При этом в реальных условиях эксплуатации (с учётом действующих на линиях помех, совместной работы с другими системами передачи и т. п.) дальность работы на максимальной скорости устройств с модуляцией TSPAM16 должна составлять около 1,7 км (для потока 3,8 Мбит/с), а с модуляцией TSPAM32 — около 800 м (5,7 Мбит/с).

### **Другие перспективные технологии xDSL.**

Одной из модификаций технологии ADSL *является RADSL* - Rate Adaptive DSL. Модемы, реализующие эту технологию, способны изменять скорость передачи в зависимости от текущего состояния телефонной линии. Необходимость в адаптации скорости стала очевидна после первых попыток широкого внедрения ADSL. Как оказалось, качество медных линий страдает не только в нашем отечестве, но и в США. В классическом варианте линия ADSL либо работает на предусмотренной скорости, либо не работает вообще. Устройства RADSL способны подбирать максимально возможную скорость. Скорее всего, все будущие модели ADSL будут способны к подобной адаптации.

*Ещё одной разновидностью технологии DSL является IDSL*. Она позволяет разгрузить телефонные коммутаторы от неречевых звонков, коммутируя их непосредственно в информационные сети. Технология позволяет операторам плавно перейти с ISDN на DSL.

*Технология MVL* (Multiple Virtual Line) не является новой разновидностью DSL, однако обе технологии имеют много общего. MVL предусматривает одновременную передачу голоса и данных без использования дополнительного устройства (частотного разделителя). Так же, как xDSL, MVL используется для высокоскоростной передачи информации по телефонной паре. Для подключения устройства MVL к телефонной линии используется стандартный разъем. Проводка может быть сделана как витой парой, так и обычной «лапшой», так как MVL занимает относительно небольшой диапазон: от 4 до 100 кГц (диапазон до 3,4 кГц отводится под обычный телефонный канал). Другое преимущество, которое дает использование более узкого, чем в DSL, диапазона - низкая внешняя интерференция и рекордно малая потребляемая мощность. Поэтому в случае массового подключения абонентов к новому сервису использование MVL оказывается

выгодней, чем ADSL. В настоящее время эта технология предполагает подключение к одной физической линии только двух модемов. Разработчики аппаратуры обещают, что в дальнейшем станет возможным подключение к линии до 8 модемов MVL (а к каждому из модемов - до 4 хостов-распределителей, то есть 32 адресуемых устройств). В этом случае можно будет создавать даже небольшую домашнюю сеть с выходом в Интернет.

По используемому частотному диапазону MVL совместим со стандартами ISDN и ADSL. При передаче по проводу диаметром 0,5 мм максимальная дальность составляет около 7 км.

Скорость передачи в MVL составляет 768 кбит/с, при этом она разделяется между восходящим и нисходящим трафиком. Распределение емкости линии между трафиками может гибко изменяться. Например, при "скачивании" информации, все 768 кбит/с отводятся на нисходящий поток, а при проведении видеоконференции создаются два симметричных канала по 384 кбит/с. Отсюда и название Multiple Virtual Line: в физической линии создаются линии виртуальные, пропускная способность которых изменяется от 128 до 768 кбит/с с шагом 64 кбит/с. Такая гибкость обуславливает широкие возможности MVL-устройств. Они могут служить для подключения к локальным сетям удаленных пользователей, для доступа к интерактивным услугам и Интернету и для организации простейших локальных сетей. Возможно функционирование сразу нескольких сервисов, каждый из которых работает в своем виртуальном канале.

Ещё одна *перспективная технология уплотнения абонентских линий* получила название *EtherLoop*. Она является неким аналогом Ethernet на витой паре, сочетая в себе пакетный способ передачи информации с новыми методами модуляции. EtherLoop обеспечивает симметричную передачу и использует метод множественного доступа со случайным выбором. В отличие от Ethernet, EtherLoop может работать по парам многопарного абонентского кабеля.

Устройством, реализующим EtherLoop, является портативный модем, который устанавливается на обоих концах абонентской линии. Как и MVL, работа модема не отменяет использование телефонной линии по прямому назначению. До 8 устройств Elitel подключаются к концентратору, который, в свою очередь, подключается к обычной ЛВС Ethernet или непосредственно к маршрутизатору. Дальность связи по EtherLoop - до 6,5 км.

Насколько рациональны предлагаемые МСЭ-Т принципы организации широкополосного абонентского доступа?

Насколько оправдано использование многоуровневых цифровых сигналов на магистральных, внутризональных, местных и абонентских сетях?

Ваш опыт внедрения на сетях связи технологий DSL.

Ваш опыт использования технологии HDSL и SHDSL. Их преимущества и недостатки.

Какая технология лучше: ADSL или ADSL2+. VDSL и другие разновидности технологий DSL? Сравнительный анализ.

Каковы, по Вашему мнению, обязательные критерии применимости линий связи, построенных на базе медных кабелей, для построения сетей широкополосного доступа.

Каковы, по Вашему мнению, необходимые этапы подготовки линий связи, построенных на базе медных кабелей, для построения сетей широкополосного доступа?

Ваша оценка предлагаемой методики измерений основных параметров кабельных линий связи для построения сетей широкополосного доступа.