

Способы тестирования медных линий для предоставления ADSL/2/2+ сервисов

Игорь Власов. Технический директор ООО “Вилком Холдинг”.
Журнал “Техника Связи”.

Стремительное развитие технологий высокоскоростных DSL сервисов таких, как ADSL/2/2+, позволяют телекоммуникационным операторам предоставлять абоненту по одной паре медных проводов как, уже ставший привычным, сервис передачи данных, так и услуги VoIP или IP VIDEO. Активно пропагандируемая сейчас комплексная услуга, предполагающая возможность одновременного предоставления по одному цифровому абонентскому соединению данных, голоса и видео, носит название «Triple Play». Это уже устоявшийся термин в телекоммуникационной индустрии. Для успешного развития «Triple Play» операторы должны иметь параметры кабельной сети превышающие те, которые требуют сети стандартной телефонии. Неисправности медных пар, практически не влияющие на предоставление сервиса POTS, могут приводить к серьезной деградации DSL сигнала и, как следствие, к потерям или значительным задержкам передачи пакетов. Такие дефекты уменьшают скорость передачи данных, приводят к значительному ухудшению качества видео и голосового сервисов. Таким образом, правильная квалификация и эксплуатация медных кабельных линий становится критически важной для повышения рентабельности медных распределительных сетей, уменьшения времени устранения аварийных ситуаций, привлечения новых потребителей комплексной услуги «Triple Play».

Что же такое ADSL линия?

К стандартной телефонной абонентской линии добавляется высокоскоростной цифровой поток, который работает независимо от телефонного сервиса. Передача данных организуется между линейным окончанием абонентского мультиплексора доступа DSLAM (digital subscriber line access multiplexer), так называемой платой ATU-C (ADSL transceiver unit - central office), и абонентским окончанием ATU-R (ADSL transceiver unit – remote). Абонентский модем соединяется с домашним компьютером или через стандартные интерфейсы USB или Ethernet. Еще одним вариантом подключения является использование, так называемого, устройства “Set Top Box”, преобразующего сетевой цифровой поток в стандартный видеосигнал, для просмотра видеопрограмм на телевизоре и управления видеосервисами. Частотное разнесение каналов POTS и ADSL производится с помощью сплиттеров, разделяющих высокочастотный цифровой сигнал и низкочастотную телефонию. Сплиттеры должны устанавливаться как на станционной, так и на абонентской стороне линии (рис. 1). Таким образом, по одной медной кабельной паре предоставляется сразу два сервиса: стандартная телефония (POTS) и цифровое соединение (ADSL), состоящее из среднескоростного восходящего (Upstream) и высокоскоростного нисходящего (Downstream) потоков данных. Одновременная работа возможна благодаря выделению трех частотных полос, каждая из которых предназначена для выполнения своей задачи.

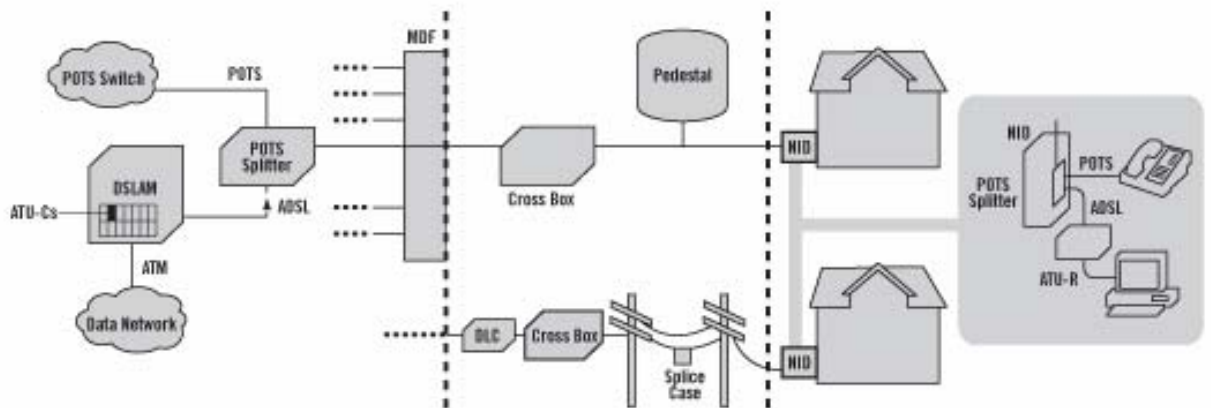


Рис. 1 Конфигурация ADSL системы

Частотная полоса сигналов стандартной телефонии (POTS), как известно, лежит в области между 300 Гц и 3,4 кГц. Для передачи восходящего трафика данных ADSL систем выбрана полоса частот от 25 кГц до 138 кГц, для нисходящего высокоскоростного – от 139 кГц до 1,1 МГц для систем ADSL и от 139 кГц до 2,2 МГц для систем ADSL2 и ADSL2+. (рис 2).

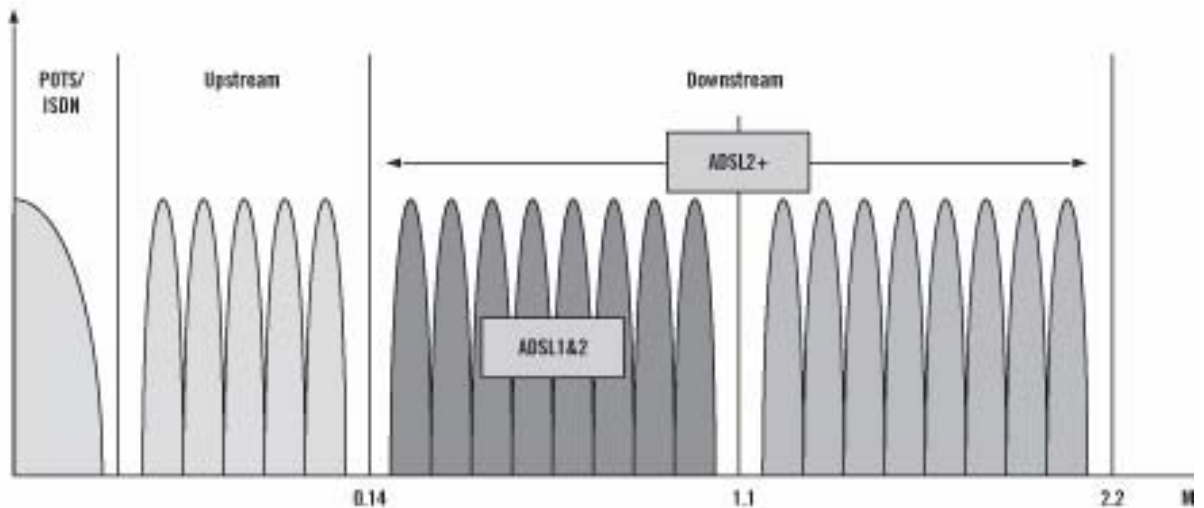


Рис. 2 Спектр передачи ADSL

Основной способ передачи сигналов в линии это DMT (Discrete multi-tone), который предполагает кодировку цифрового сигнала с помощью определенного количества дискретных частотных сигналов. Для систем ADSL канал Downstream содержит 256 тоновых частот, а для ADSL2 и ADSL2+ их количество равно 512-ти. В каждом частотном сигнале передается свой поток информации с помощью квадратурно-амплитудной модуляции сигнала (QAM). Скорость передачи цифрового потока таким сигналом может варьироваться в зависимости от затухания и зашумленности линии. Перед началом установления соединения система тестирует линию на всех доступных частотах передачи и определяет параметры линии связи, устанавливая определенные метрики тонового и шумового распределения и определяя оптимальное построение сигнала, так называемое распределение бит/тон. Эта функция адаптации к качественным характеристикам медной линии, позволяющая подбирать оптимальную скорость передачи, перераспределяя цифровой поток по используемым частотным интервалам спектра сигнала, называется «Bit Swapping». Это один из самых важных факторов, определивших широкое распространение ADSL систем в телекоммуникационных сетях.

Максимально достижимая скорость передачи данных в системах ADSL равна 9мБт/с, а эффективная длина линий при средней скорости потока данных – от 1,5 до 3 км. Системы ADSL2 были специально разработаны для улучшения эффективности передачи, увеличения скорости потока на сравнимых с ADSL длинах линий или увеличения дальности передачи при сохранении прежней скорости. Для этого был расширен частотный диапазон передачи с соответствующим увеличением количества тоновых интервалов, изменен тип линейной модуляции сигнала, уменьшена длина заголовков для более эффективного использования полосы частот и для оптимизации размещения полезной нагрузки. Технологию ADSL2+ отличает еще более эффективное использование полосы частот за счет применения более современных алгоритмов обработки сигналов, что позволило значительно увеличить скорости передачи данных при тех же длинах линий. В результате, максимальная скорость потока данных может составлять 24 мБт/с. Именно такие линии позволяют оператору предлагать для абонентов услугу «Triple Play», т.е. одновременного использования сервиса передачи данных, голоса и телевидения высокой четкости. Но для удовлетворения качественных запросов заказчика оператор должен быть уверен в исправности линии связи, что делает процедуры ее тестирования очень важными.

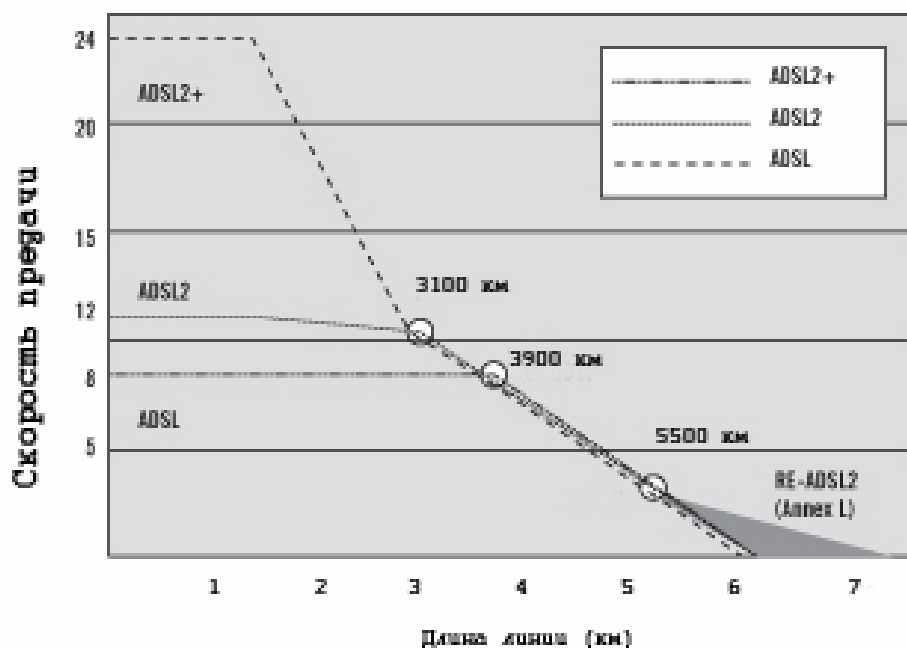


Рис 3 Зависимость скорости передачи от длины линии

Какие же параметры медной линии являются наиболее критичными для широкополосного цифрового сервиса? Ответ на этот вопрос не столь очевиден, как мог бы показаться в первый момент. Прежде всего, не стоит забывать, что на выделяемой линии продолжает работать стандартный телефонный сервис (POTS), качество которого определяется такими параметрами, как хорошее соединение, отсутствие серьезных резистивных неоднородностей, достаточный постоянный ток, низкие потери по шлейфу, низкий уровень шума. Следовательно, измерение этих параметров остается такой же необходимой процедурой, как и прежде. Кроме того, можно утверждать, что несоответствие линии качественным характеристикам POTS в большинстве случаев приведет и к невозможности использования ее для разворачивания цифрового потока. ИТАК:

К одним из первых операций в определении работоспособности пары следует отнести измерение сопротивления изоляции между проводом “а” и “б” линии и между проводниками пары и “землей”. Сопротивление менее 3,5МОм в любой из комбинаций проводов следует считать дефектом линии. Сниженная изоляция линии может привести к значительным потерям сигнала и увеличению коэффициента ошибок цифрового сигнала. При тестировании также следует обратить внимание на симметричность сопротивления между проводами “а”, “б” и “землей”. Значительная разница сопротивления и, как следствие, несимметричность пары снижает ее защищенность к внешним наводкам, увеличивает шумовой фон, что также приводит к деградации цифрового потока. Для точного определения места понижения изоляции или короткого замыкания следует применять импульсные рефлектометры для медных линий (TDR) или локаторы резистивных неоднородностей (RFL), использующие мостовые методы определения. Важным представляется и измерения действующего постоянного тока в цепи POTS. Дело в том, что нагруженная линия кроме обеспечения правильным питанием абонентских устройств имеет свойство поддерживать себя в работоспособном состоянии, ограничивая избыточный заряд и увеличивая коррозионную стойкость механических сростков кабеля (скруток проводов, механических соединителей и тп). Наименьший ток подключенной

медной пары должен быть 23 мА. Меньший ток указывает либо на слишком длинное соединение, либо на резистивную неисправность пары.

На следующем этапе следует определить вносимые потери на линии с помощью генератора и измерителя уровня сигналов. Для исправной работы сервисов потери на частоте 1004 Гц должны быть менее 8 дБ. Во многих случаях такого измерения бывает достаточно. Но более точную картину можно получить при измерениях на 3 частотах (404 Гц, 1004 Гц, 2804 Гц), а также с помощью 10-тоновых, 17-тоновых и 23-тоновых тестов. Многочастотные измерения, кроме того, позволяют с большим приближением определить частотные свойства линии в НЧ диапазоне.

Последним этапом тестирования пары для POTS сервиса следует считать определение шумовых характеристик. Металлический шум линии определяется как нежелательный сигнал между проводами пары. Если его мощность более 20 дБм, он может быть слышен в телефонной трубке в виде тресков или белого шума. Если мощность превышает 40 дБм, линия считается непригодной для предоставления сервиса. Повышенный шум – признак плохой балансировки пары и, как следствие, низкой защищенности ее от внешних наводок.

Однако, достаточно ли приведенных выше методов контроля медной абонентской линии для предоставления широкополосного DSL-сервиса? Однозначно, НЕТ! Более широкая (до 1,1 МГц или до 2,2 МГц при использовании технологии ADSL2+) полоса требует проведения более широкополосных измерений вносимых потерь и шумовых характеристик линии. Кроме того, существует целый ряд специфичных процедур тестирования медной пары, направленных на определение ее работоспособности в качестве среды передачи ADSL. Остановимся на них подробнее.

Постороннее напряжение.

Тестирование медной линии на наличие постороннего напряжения должно производиться прежде других измерений. Во-первых, это обусловлено тем, что наличие постороннего напряжения сразу индицирует неисправность пары, и остальные тесты потребуются для ее конкретизации. Во-вторых, если наличие небольшого постороннего напряжения несильно сказывается на работе оборудования POTS, то при инсталляции цифрового оборудования оно может оказать существенное влияние. Постороннее постоянное напряжение на нагруженной линии может появиться как результат взаимодействия пар, по которым предоставляются иные аналоговые или цифровые сервисы (POTS, xDSL, E1 и тп) в том же кабеле. Появление такой помехи говорит или о наличии перекрещенных пар, или об участках кабеля с поврежденной изоляцией или о наличии замкших участков кабеля. Постороннее напряжение будет восприниматься как шум и приводить к деградации ADSL сигнала в широкой полосе и существенному снижению скорости передачи. Работающие цифровые сервисы на соседних парах одного и того же кабеля, а также энергетические кабели, проложенные рядом с телефонным, могут стать источником посторонних переменных напряжений на ненагруженную линию. Такое напряжение воспринимается как существенный посторонний узкополосный шум линии, который приводит к деградации качества ADSL передачи. Измерение постороннего напряжения должно производиться высокоомным цифровым вольтметром (входное сопротивление более 1 МОм) без нагрузки пары на дальнем конце. В идеале никакой разности потенциалов или посторонних переменных напряжений не должно быть обнаружено, однако следует заметить, что ADSL-системы нечувствительны к небольшому постороннему напряжению менее чем 3 В (DC/AC) между проводами “а” и “б” или менее чем 10В (AC) и 3В (DC) между проводами пары и “землей”. Если постоянное напряжение измеряется на телефонной паре, подключенной к коммутатору, то напряжение между проводами “а” и “б” составит стандартные 60 или 48 вольт. В этом случае необходимо учитывать напряжение между проводами пары и «землей», которое не должно превышать 3В.

Современные приборы для тестирования DSL-линий предоставляют возможность тестирования постороннего переменного напряжения в дБ. В этом случае величина постороннего напряжения, не превышающего 80 дБ считается допустимой, от 80 до 90 дБ – предельно возможной, выше 90 дБ – недопустимой.

Длина линии.

С ростом длины абонентской линии возрастает ее емкость и, как следствие, затухание сигналов. На слишком длинной линии модемы не смогут синхронизироваться или скорость передачи потока ADSL будет недопустимо низкой. Стандартные системы ADSL2/2+ рассчитаны на длины линий менее 6 км, а для получения максимальной скорости систем ADSL2+ длина линии должна составлять не более 2,5 км. При превышении этого предела система начинает снижать скорость передачи до показателя систем ADSL и менее. Для изменения длины линии используются приборы, тестирующие емкость ненагруженной пары. Так как стандартная емкость между проводами “а” и “б” равна 0,034 мF на километр, прибор может легко пересчитать измеренную емкость пары на расстояние до обрыва (длину линии). При подобных же измерениях между проводами пары и “землей” необходимо учитывать тип изоляции и заполнителя кабеля, так как эти параметры существенно влияют на точность измерений. Большинство современных приборов, выполняющих такие тесты, имеют встроенную библиотеку параметров кабелей, позволяющую оптимизировать процесс тестирования и обработки результатов. При проведении измерений длины линии необходимо учитывать, что наличие ответвлений пары существенно увеличивает ее емкость, что не может не сказаться на точности результатов измерения. Для поиска ответвлений могут применяться импульсные рефлектометры. Для определения длины линии может также применяться резистивный метод определения расстояния до короткого замыкания пары. Естественно, что при применении этого метода дальний конец пары должен быть закорочен. При проведении таких тестов обязательно надо учитывать температуру кабеля и его коэффициент укорочения, определяемый конструкцией медного кабеля.

Балансировка медной линии.

Определение баланса пары является важным этапом определения исправности линии. В идеале оба провода медной пары должны иметь идентичные электрические характеристики. В этом случае линия будет хорошо защищена от постороннего влияния, шумов и наводок. Если присутствует асимметрия проводов относительно земли, на проводах “а” и “б” индуцируется напряжение неодинаковой величины, что приводит к появлению постороннего напряжения на линии, определяемое как шум, снижающий качество передачи ADSL. Наиболее эффективный метод измерения балансировки пары – это генерация сигнала и измерение частотного отражения по отдельным проводам. Разница определяется в дБ. Здесь 60 дБ обычно считается допустимой величиной, от 50 до 60 дБ – граничным значением, менее 50 дБ – неисправным состоянием медной линии. Другим методом измерения балансировки линии является резистивный. Для этого производят измерения сопротивления между обоими проводами пары и “землей” на дальнем конце линии. Разница сопротивления должна составлять не более 5 Ом или 1%. Из-за необходимости доступа к обоим концам кабеля часто частотный метод оказывается предпочтительней. Еще один метод измерения балансировки пары – это применение измерителя расстояния до обрыва. В этом случае тестируется емкость проводов пары относительно “земли”. Разница в показаниях проводов “а” и “б”, превышающая 1%, однозначно будет говорить о неисправности пары.

Определение резистивных неоднородностей линии.

Неподключенная абонентская линия не должна иметь электрических соединений между проводами “а” и “б”. Незначительные повреждения линии могут приводить к дисбалансу

пары и появлению шумов. Крупные аварии кабеля, такие как повреждение изоляции, намокание участков ведут к появлению коротких замыканий и невозможности передачи сигналов. Большое влияние на качество передачи ADSL могут оказывать ответвления линии или ее спараллеливание. При предоставлении услуг POTS ответвление линии, разнесение абонентских устройств и параллельная их работа не оказывает существенного влияния на качество сервиса. Другое дело услуги широкополосного доступа. Вовремя необнаруженное ответвление линии может служить антенной для дополнительных шумов и наводок. От места соединения пар и от ненагруженного конца ответвления происходит отражение высокочастотного сигнала, что также приводит к деградации качества сервиса. ADSL-системы, благодаря наличию механизма Bit Swapping, толерантны к небольшому уровню шумов и могут с достаточным качеством работать при наличии небольших ответвлений. Однако следует иметь в виду, что длина их не должна превышать 750 м для однократного ответвления или 600 м для двукратного.

Для определения резистивных неоднородностей линии необходимо использовать специализированные цифровые омметры, предназначенные для измерений медных телекоммуникационных кабелей. В общем случае, для нормального функционирования систем ADSL необходимо, чтобы сопротивление изоляции было больше 3,5 МОм. Для поиска точного места резистивной неоднородности пары существуют специализированные приборы RFL (Resistive fault locator). Для работы RFL требуется наличие исправного опорного провода. Это может быть как проводник той же пары или сигнальный провод отдельной пары. Исправный провод соединяется с тестируемым на дальнем конце линии. Точность определения расстояний зависит от правильности установки параметров укорочения кабеля, а также от учета его температуры.

Другим методом определения неоднородностей линии является использование импульсного рефлектометра (TDR). Этот метод, хотя и не может считаться абсолютно универсальным и заменяющим все прежде известные методы тестирования медной линии, все же имеет несколько преимуществ перед перечисленными выше. Во-первых, для проведения рефлектометрии требуется доступ только к одному концу кабеля в то время, как при тестировании его методами измерения емкости или RFL требуется осуществлять действия с парой и на дальнем конце кабеля (для измерения расстояния до обрыва необходимо отключать линию, а для RFL требуется соединять провода пары между собой или с другими исправными). Во-вторых, TDR дает довольно наглядное графическое представление состояния линии, что, при определенном навыке, позволяет быстро оценивать и вид неоднородности и расстояние до нее. Некоторые современные DSL-тестеры (например JDSU "HST-3000") имеют кроме функций специализированного DVOM-метра, предназначенных для определения параметров линии, встроенные опции RFL и TDR, что делает подобного рода приборы наиболее универсальными.

Методом рефлектометрии очень удобно определять место таких неисправностей, как короткие замыкания и обрывы линии, участки понижения изоляции пары, связанные с намоканием или утечками, ответвления и спараллеленные участки линий, нагрузочные катушки и тп. Так, например, нагрузочные катушки, нормирующие частотный диапазон в области низких частот, что сильно препятствует передаче цифрового потока, определяются TDR как обрыв линии, т е на экране прибора наблюдается вертикальный пик (рис 4), расстояние до начала всплеска показывает расстояние до первой катушки. Для определения наличия последующих катушек на исследуемой линии измерения необходимо повторять каждый раз после удаления найденной катушки.

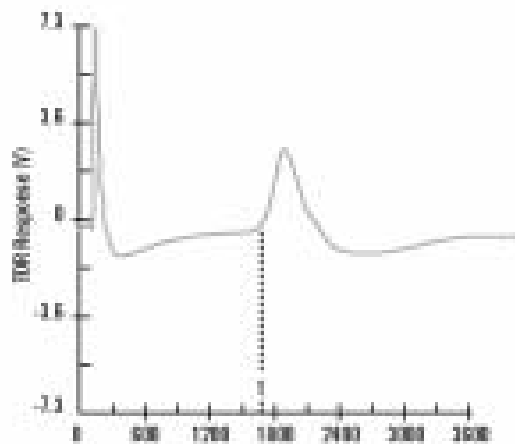


Рис. 4 TDR экран, показывающий наружную катушку

При наличии ответвления линии на экране TDR появляется несколько иная картинка (рис 5). Здесь можно наблюдать сначала резкий спад, а затем всплеск графика. Дистанция между минимальным значением кривой и ее пиком дает длину ответвления линии.

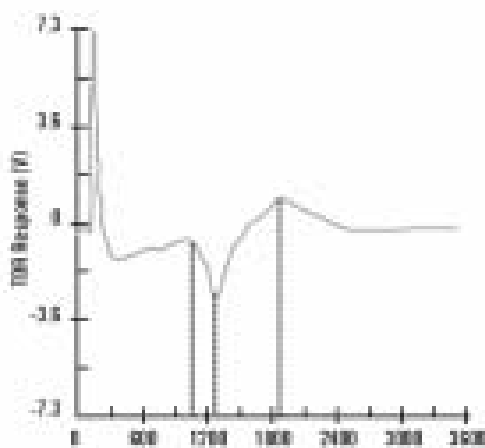


Рис. 5 TDR трасса, показывающая ответвление линии

Широкополосный шум.

В отличие от POTS, где основные помехи, снижающие качество услуги, лежат в диапазоне ниже 4 кГц, для цифровых абонентских сервисов важно отсутствие шума в более широкой полосе. В результате его воздействия возможно существенное повышение коэффициента ошибок системы или полное пропадание синхронизации между ATU-R и ATU-S. Причинами появления шумов в широкой полосе могут быть следующее: работа мощных электромагнитных и электромеханических устройств вблизи от линии связи, близко расположенные энергетические кабели, удары молний, переходные влияния от других пар кабеля, предоставляющих цифровые сервисы (HDSL, ADSL и тп), несбалансированность линии связи. Для измерения подобных шумов применяются методы аналогичные методам тестирования узкополосных шумов с тем отличием, что эти измерения проводятся в более

широкой полосе (1,1 МГц для ADSL или 2,2МГц для ADSL2+) и с применением специализированных ADSL фильтров, так называемых «G-filter». Также следует учесть, что дальний конец линии должен быть нагружен сопротивлением 100 Ом или специализированным устройством (генератором или тетминатором), называемым устройством удаленного конца FED (Far end device). Измерения шумов в широкой полосе производятся в дБм и значения его должны лежать в отрицательной области. Внешние наводки или электромеханические устройства могут вызывать спонтанные всплески шумов, возникающие и исчезающие случайным образом. Такой род шума называют импульсными помехами. Для анализа импульсных помех используют тестовые устройства, подсчитывающие их количество за определенный интервал времени. Помехой будет считаться всплеск шума, уровень которого превысил определенный пользователем порог. В определении наличия проблемы с широкополосным шумом и поиском источника такого шума может помочь спектроанализатор, который показывает график распределения сигналов в частотной области (рис 6). Например, если в кабеле присутствует другой цифровой сервис (например, E1), оказывающий влияние на линию ADSL, спектроанализатор отобразит помеху, имеющую маску, близкую к сигналу E1.

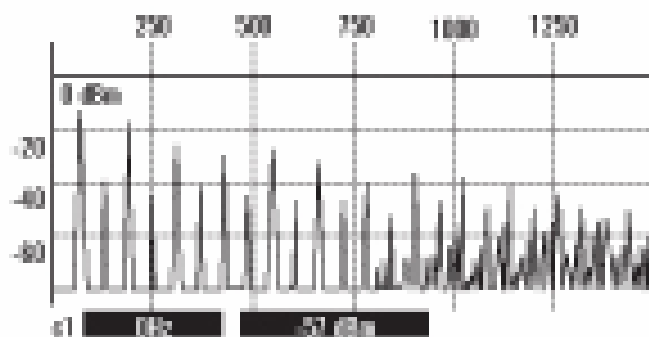


Рис. 6 Экран спектроанализатора, показывающий шум в линии

Самый эффективный путь анализа шумовых проблем – это эмуляция потока ADSL, установление синхронизации с ATU-C DSLAM. Если линия достаточно исправна для установления ADSL соединения, прибор-эмулятор цифрового потока сможет отобразить детальную статистическую картину состояния соединения. График «Бит на тон» при этом покажет достаточно точную картину распределения посторонних сигналов в спектре работы ADSL-системы (рис 7). Явные провалы или снижения количества передачи на определенных тонах укажут на наличие зашумления в соответствующей области спектра передачи.

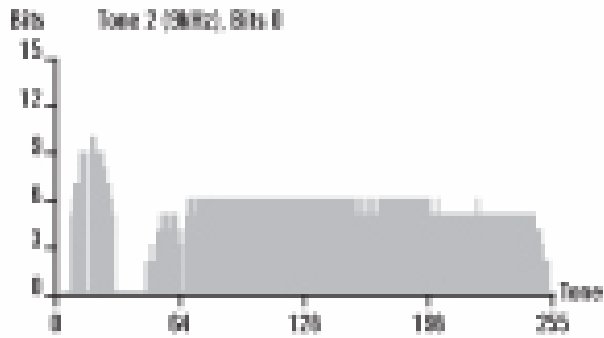


Рис. 7 Диаграмма "бит на тон"

Для определения типа помехи или возможного ее источника достаточно определить номер пораженного подканала передачи (тоновую частоту) ADSL. Возможные источники помех приведены в Таблице 1.

Таблица 7 Источники шума и подканалы

Источник шума	Частота шума (кГц)	Номер подканала	Частота подканала (кГц)
BRI ISDN	40	9	38.8125
Центральная частота полосы пропускания HDSL	196	45	194.0625
Максимальная частота полосы пропускания HDSL	392	91	392.4375
HDSL2	274	64	276
Центральная частота полосы пропускания E1	1024	237	1022