

ДИАГНОСТИКА ЦИФРОВЫХ СЕТЕЙ ДОСТУПА на медных кабелях

В.Лапшин, инженер ОАО "Ростелеком"
Б.Попов, профессор ПГУТИ, к.т.н.
В.Попов, профессор ПГУТИ, к.т.н.

В статье рассматриваются методы диагностики цифровых сетей доступа на медных кабелях связи для использования по симметричным и асимметричным технологиям xDSL. Авторы приводят практические рекомендации по оценке состояния цифровых линий с помощью различных измерительных приборов.

Постановка задачи

Несмотря на внедрение технологий широкополосного абонентского доступа FTTH (Fiber to the Home), при прокладке оптического кабеля от узла связи до квартиры многоэтажного дома или отдельного коттеджа еще достаточно широко используются технологии xDSL на медных кабелях связи. Технологии xDSL (Digital Subscriber Line) применяются не только у так называемых альтернативных операторов, которые предоставляют услуги ШПД чаще всего в пригородных населенных и сельских пунктах, но и у основного оператора – ОАО "Ростелеком" – даже в больших городах.

Установлено, что загрузка абонентских кабелей цифровыми сигналами в некоторых городах превышает 50, 70 и даже 90%. До последнего времени считалось, что из десятипарного пучка отдать под цифровые технологии можно только две или три пары. Возникает вопрос: как же совместить это с требованиями расширения продажи услуг? Опыт показывает, что число пар для цифровых технологий увеличивать можно и нужно, оценивая каждую ситуацию на основе измерений.

Известно, что абонентские линии нормируются отраслевыми стандартами Министерства

связи РФ: ОСТ 45.82-96, ОСТ 45.83-96, ОСТ 45.81-97 и ОСТ 45.36-97. Эти нормы трактуют параметры линий связи с учетом конструкции кабелей и качества услуг связи в диапазоне низких частот. Казалось бы, ОСТ 45.82-96 и ОСТ 45.36-97 содержат нормы и для цифровых линий в полосе частот до 2,048 МГц (ИКМ-30). Оказывается, они существуют только для ИКМ (импульсно-кодовой модуляции). На сегодняшний день такой метод передачи данных (ПД) вытесняется более современными. Эти методы предусматривают сужение на порядок спектров сигналов для тех же скоростей ПД.

Совокупность различных методов кодирования образует семейство цифровых технологий xDSL. Наибольшее применение сегодня получили технологии HDSL (2B1Q, CAP) (High Data Rate Digital Subscriber Line), G.SHDSL (Symmetric High-speed DSL), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), ADSL2+, реже VDSL (Very-high data rate Digital Subscriber Line).

ПД по этим технологиям осуществляется на основе рекомендаций МСЭ-Т (ITU-T, Международный союз электросвязи), ETSI (Европейский институт по стандартизации в области

телекоммуникаций), ANSI (Американский национальный институт стандартов). Стандарты определяют параметры сигналов, требования к среде передачи, а также процессы установления связи.

Для диагностики работы цифровой линии необходимо знать ее рабочее затухание, спектр передаваемого сигнала xDSL и диапазон частот наибольшей спектральной плотности мощности этого сигнала. Надо знать, как оценивать шум в спектре частот сигнала и его влияние на сигнал, и представлять, как взаимодействуют сигналы различных и одинаковых технологий в десятипарном пучке одного кабеля. Только после этого можно говорить об оценочных измерениях.

Полная диагностика цифровых линий возможна только с помощью специальных анализаторов кабельных линий. Наилучшими из них, по нашему мнению, можно считать ALT-2000 (итальянской фирмы ATEN) и ELQ2+ (венгерской фирмы Elektronika) – это полнофункциональные анализаторы. Отечественный прибор Дельта-ПРО DSL, к сожалению, таковым считаться не может, т.к. маски параметров МСЭ-Т или ETSI в них не заложены. Поиск дефектов линий возможен, но в меньшем объеме и с худшим качеством. Тем не менее, для диагностики цифровых линий можно использовать следующие кабельные приборы: ПКП-5 (переносной кабельный прибор для измерения параметров кабелей постоянным током), ИРК-ПРО 5-й и 7-й версий, рефлектометр P5-10, псофометр 12XN047, измеритель шумов П-323 ИШ, низкочастотный генератор сигналов ГИС, измеритель переходного затухания ИПЗ-АЛ.

Предварительная оценка линий для любого вида технологий семейства xDSL

Сначала должны быть оценены первичные параметры линии. Для этой оценки необходимы сведения техучета:

- о типе кабеля на каждом участке линии, диаметре жил и протяженности кабеля;
- о наличии ремонтных вставок другого типа кабеля, длине и диаметре жил этих вставок;
- о наличии параллельных отводов на каждом участке. На магистральном участке они недопустимы, но могут быть на ведомственных кабелях, а на распределительных встречаются довольно часто;
- о месте расположения оконечных устройств;
- о времени нахождения кабеля в эксплуатации.

Изучив эту информацию, специалист должен приступить к измерениям первичных параметров.

Указанные параметры нормируются отмеченными выше стандартами. После этого производятся измерения:

- сопротивления изоляции жил ($R_{из}$) по отношению к оболочке (экрану), а также между жилами пары на каждом участке;
- сопротивления шлейфа на каждом участке;
- омической асимметрии. Она не должна превышать 0,5% от сопротивления шлейфа;
- емкостей жил относительно оболочки (экрана) и между жилами пары. Последний параметр – нормированная величина. Отличие емкостей относительно оболочки (экрана) должно быть не более 1%.

К оценке параметров в соответствии с ОСТ 45.82-96 и др. нужно подходить очень разумно. Нельзя необоснованно требовать текущего, а то и капитального ремонта кабеля. Например, если параметр $R_{из}$ одного из участков составляет менее 1000 МОм и при этом на изолированной паре нет напряжений утечек, то специалист вправе признать этот участок пригодным по данному параметру. Напряжения утечек могут достигать 1-15 В. Утечки с напряжением 15-20 В совершенно недопустимы, поскольку вызовут импульсные помехи при включении линии в качестве цифровой. Сопротивление шлейфа оценивается в расчете на километрическое сопротивление пары, с учетом температурных коэффициентов. Омическая асимметрия считается допустимой в пределах 0,5-1% от сопротивления шлейфа линии (участка). Емкость линии (пары) или участка оценивается в соответствии с требованиями ОСТ в пересчете на километрическую длину для рабочей емкости C_p .

После оценки первичных параметров нужно получить информацию об однородности каждого участка линии. Найти параллельные отводы можно с помощью рефлектометра. Этот же прибор по анализу неоднородностей позволяет специалисту увидеть кабельные вставки другой конструкции кабеля, а также определить разбитость пар в монтажных муфтах.

Иногда такая рефлектометрическая диагностика вызывает затруднения. Однако можно предложить относительно простой, но требующий определенного навыка метод. В испытываемую линию подается низкочастотный тестовый сигнал генератора ГИС (например, частотой 1071 Гц) с уровнем 30-35 дБ, и с помощью высокоомных наушников (1600 Ом) этот тестовый сигнал ищется на других линиях. Прослушивание кабельных цепей делается без отключения задействованных пар в кабеле. Для этого в одну из жил гарнитуры

последовательно включается конденсатор емкостью 1 мкФ с допустимым напряжением 160–200 В. Абонентские комплекты на линиях при этом не срабатывают, и контроль 100-парного кабеля можно выполнить в считанные минуты. После того как подверженные влиянию линии найдены, можно, используя рефлектометр, применить метод перехода энергии. Метод хорошо описан в инструкции по эксплуатации прибора P5-10, но требует от специалиста внимания, собранности и достаточного навыка. Таким образом, разбитости пар могут быть локализованы по расстоянию.

После анализа первичных параметров линии и выявления переходных влияний, нужно еще установить их значение для тональных частот (800 или 1020 Гц в зависимости от приборов ИПЗ-АЛ, ALT-2000 или др.). Согласно ОСТ 45.82-96, переходное затухание для абонентской линии должно быть не менее 69,5 дБ. Если оно составит, например, 60 дБ, то на высоких частотах, свойственных технологии G.SHDSL (10–550 кГц), оно может достигать 20–40 дБ, что совершенно неприемлемо. Переходные влияния в тональной полосе частот сделают линию непригодной для цифровых сигналов. Работа в такой линии факсов и аналоговых модемов (US-Robotics, ZyXEL OMNI и пр.) будет затруднена или невозможна.

Выше были изложены принципы диагностики линий при наличии обычного парка кабельных приборов. При условии технологически правильного подключения абонентов любая линия, соответствующая ОСТ 45.82-96, в той или иной мере пригодна для цифровых сигналов. Окончательный ответ можно получить по результатам тестирования при подключении абонента. Здесь следует отметить, что проведенная оценка не дает полной информации о затухании сигнала для той или иной xDSL-технологии, уровне шума, наличии импульсных помех, влиянии на линию радиосредств и внешних электромагнитных полей.

Оценка линий для симметричной технологии G.SHDSL

Оценка линий для симметричной технологии особенно важна при установке оборудования xDSL у абонента, так как от нее зависят затраты, которые понесет оператор связи и сам абонент. Поэтому в ходе оценки надо установить, будет ли обеспечена на линии требуемая скорость и приемлемая достоверность ПД.

Для этой цели в первую очередь нужно рассчитать *наиболее вероятное рабочее затухание линии для частоты 150 кГц*. Разработчики анализаторов кабельных линий предусмотрели в программном обеспечении именно эту частоту для оценки вносимого затухания для технологий G.SHDSL. Значение этого параметра должно быть не более 36 дБ. Расчет делается исходя из километрического затухания кабеля по справочнику, например, [1]. Для однородной линии на частоте 150 кГц километрическое затухание α составит 11,1 дБ/км для кабеля ТПП-0,4 и 7,82 дБ/км для кабеля ТПП-0,5. Для однородной линии длиной L рабочее затухание вычисляется по формуле $a_{150\text{кГц}} = \alpha L$.

В отсутствие анализатора ALT-2000 рабочее затухание может быть измерено с помощью прибора Дельта-ПРО DSL или с помощью генератора ET-70 и измерителя уровня ET-90. Измеренное значение затухания при температуре, отличной от 20°C, необходимо пересчитать к этой температуре [2].

Второй и очень важный параметр – *уровень шума*. Для симметричных технологий принципиально важно его значение с каждой стороны линии. Даже имея дорогой анализатор, можно совершить ошибку, ориентируясь, скажем, на интегральную оценку уровня шума. Эта оценка определяется одним значением для всего спектра используемых частот. Например, ALT-2000 в полосе частот 10–550 кГц показал значение –62 дБм, в то время как стандарт ETSI (European Telecommunications Standards Institute) допускает –44 дБм. Следует сказать, что здесь более удобна спектральная оценка по уровню шума, которая наглядно показывает переходное влияние других кабельных пар, используемых для работы ADSL и других систем.

Большое значение имеет отношение мощностей сигнала и шума на входе приемника – SNR. Желательно иметь SNR не менее 36 дБ. Измерить шум можно в диапазоне частот, например, от 5 до 430 кГц, указателем уровня ET-70 или ET-90 (приборы ET-70 и ET-90 включают в себя генератор и указатель уровня). Если же и этих приборов нет, уровень шума можно измерить псофометром П-323 ИШ или 12XN047. Если в течение 10–15 мин не наблюдается выбросов более 0,125 мВ, можно считать шум приемлемым.

Для получения рефлектограммы лучше всего использовать прибор P5-10, поскольку гармоники посылаемой им последовательности импульсов имеют частоту выше 1 МГц. Если наблюдаются

"размывы" или наложение развертки, или развертка колеблется, то это означает наличие высокого уровня шума в спектре частот до 1 МГц. В этом случае требуется установление источника шума. Вполне вероятно, что пропущена разбитая пара и операцию прослушивания тона 1071 Гц в кабеле следует повторить. Если все сделано правильно, то проверьте, как подключена линия на стороне абонента. Возможно, на пути к модему окажется какой-то переходной кабель, содержащий плохой контакт или плохо обжатый разъем. Часто такая ситуация встречается в промышленной зоне, где проводят электросварочные работы.

Третий параметр – *возвратные потери* (затухание из-за неоднородности). Без приборов ALT-2000 или Дельта-ПРО DSL этот параметр измерить не удастся. Фактически это потери на отражение сигнала от неоднородностей линии: стыка проводников разных диаметров, нарушения повива, параллельного отвода, подключения абонента нетехнологичным кабелем или проводом (П-274, 275, ПРППМ, ТРП и пр.). Подключение абонента по технологиям xDSL не терпит плоских (нескрученных) проводок (ТРП и ПРППМ) и полевых кабелей (П-274, П-275). На абонентской проводке должны использоваться малопарные кабели только со скрученными парами. При интегральной оценке значение возвратных потерь не должно превышать -14 дБ. Возвратные потери можно минимизировать, отключив параллельные отводы и подключив абонента в соответствии с изложенными выше требованиями. Неправильным подключением можно загубить самую хорошую линию.

Четвертый параметр – *балансировка* (затухание из-за асимметрии) – означает сбалансированность активных и реактивных параметров жил в кабельной паре. Он предполагает равенство омических сопротивлений и емкостей жил относительно оболочки (экрана) кабеля. Следует помнить, что активное сопротивление медной жилы зависит от частоты из-за скин-эффекта. Скрутка жил в паре порождает распределенную индуктивность, импеданс которой зависит от частоты. В отсутствие анализаторов можно использовать результаты измерений емкостной и омической асимметрии.

Последний, пятый параметр – *переходное затухание на ближнем (дальнем) конце кабеля*. Напомним, что кабели местных сетей низкочастотные, и это обуславливает влияние кабельных цепей друг на друга, особенно в десятипарном элементарном

пучке (ЭП) кабеля. Чем выше частота сигнала, тем больше будет наведенный в других парах ЭП кабеля переходный сигнал, являющийся помехой. Принято считать, что в ЭП можно выбрать только одну комбинацию из двух пар, которые будут меньше всего влиять друг на друга. Надо сказать, что это близко к истине. Эти пары и следует использовать для симметричных технологий G.SHDSL. А что, если потребуются включить третью пару? Какую пару пучка выбрать? С анализаторами такая задача выполнима. Если же анализаторов нет, то следует определить однородность всех трех пар рефлектометром и методом прослушивания убедиться в отсутствии их взаимного влияния.

Очень осторожно следует подходить к загрузке ЭП сигналами, сформированными по асимметричным технологиям (ADSL, VDSL). Так, ADSL своим сигналом перекрывает весь спектр G.SHDSL TC-PAM16 (32). И для самой ADSL скоростной потенциал из-за влияния сигнала TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation) будет уменьшен. Обычно переходное затухание на ближнем и дальнем концах кабеля измеряется для поиска причин появления высокого уровня шума. Он может проявляться спонтанно, например, при импульсных наборах в абонентской линии, наличии на линии разбитых пар и т.д. Поэтому в ответственных случаях (VIP-клиент, силовые структуры и пр.) параметр измеряется на дефектном участке для каждой пары пучка. Для измерения следует использовать приборы ALT-2000, Дельта-ПРО DSL или ИПЗ-АЛ. Маски параметров приведены в [3].

Рассмотренные выше параметры могут измеряться и для других симметричных технологий.

Оценка линий для асимметричных технологий ADSL, ADSL2, ADSL2+

В отличие от симметричных технологий, у асимметричных скорости передачи в нисходящем и восходящем направлениях различны: скорость передачи в нисходящем направлении в несколько раз выше. Важно, что эти технологии можно совмещать с традиционной аналоговой телефонией на одной абонентской линии. Разделение сигналов и сохранение телефонной связи на станционной и абонентской сторонах осуществляют фильтры (сплиттеры).

Для передачи информации в асимметричных технологиях используется дискретное многочастотное кодирование (DMT). Так, для ADSL и ADSL2 используется 256 несущих частот

(рекомендации МСЭ-Т G.992.1, G.992.3, G.992.5), а для ADSL2+ – 512 частот. Между несущими частотами установлен защитный интервал 4312,5 Гц. Меньшая часть несущих используется для передачи данных от абонента, большая – к абоненту.

Передача данных на несущей производится с применением амплитудно-фазовой модуляции QAM. Количество бит информации на отдельной несущей зависит от SNR на этой частоте. При установлении связи модем и DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) определяют это отношение для каждой несущей. Чем выше SNR для несущей, тем большее количество бит устанавливается для нее. В результате в абонентской линии распределение скорости передачи по частоте повторяет зависимость SNR от частоты.

Подходы к оценке линий для симметричных и асимметричных технологий существенно отличаются. Для асимметричных технологий на стационарной стороне переходные влияния на ближнем конце кабеля во второй части спектра (140–1104 или 140–2208 кГц) не так важны, как для G.SHDSL. Стационарный модем принимает первую часть спектра 25–138 кГц. Зато большое значение имеют переходные влияния на абонентском конце линии в спектре нисходящего потока.

Специальные испытания абонентских линий на кабеле типа ТПП-0,4 длиной 3 км показали, что всех десятиртых абонентов в десятипарном пучке можно включить в ADSL-доступ без заметного ухудшения скорости ПД. Для эксперимента был выбран кабель, находящийся в эксплуатации более 10 лет, ни одна из 100 пар не имела нарушения повива. Рефлектограмма показала однородность по всей длине, уровень шума был ниже 80 дБм. На 3-км длине затухание сигнала на частоте 300 кГц составило около 39 дБ. Переходное затухание на абонентском конце кабеля в спектре частот 140–1104 кГц оказывается больше на эту же величину. В этом и кроется причина успешного результата испытаний. Вместе с тем, включение в тот же десятипарный пучок пары модемов G.SHDSL кардинально изменило шумовую обстановку на стороне абонента. Скорость передачи у ADSL-пользователей снизилась более чем на 1 Мбит/с, а с включением второй пары таких же устройств – еще на 1 Мбит/с. Это произошло из-за изменения SNR на стороне абонента, оно резко ухудшилось именно в полосе частот 10–550 кГц. Следовательно, совмещения

симметричных и асимметричных технологий в одном кабеле следует избегать.

Оценка линии абонента ADSL со стационарной стороны если и необходима, то только на предварительном этапе. Строго говоря, при необходимости измерения переменным током нужно сделать и на магистральном кабеле. В нашей практике такие случаи были. Например, на магистральном кабеле до распределительного шкафа обнаруживается разбитая пара. Казалось бы, можно этим пренебречь, ведь распределение не имеет такого дефекта и шумовая обстановка у абонента может оказаться нормальной. В то же время связь устанавливается в обоих направлениях, и если на стационарной стороне шум превысит определенную границу, то соединение модемов не будет установлено.

Если вы работаете с анализаторами, очень важно сделать измерения на стороне абонента. Измеряются параметры шума, возвратных потерь, балансировки, вносимых потерь, скоростного потенциала. Маски параметров упомянутых стандартов приведены в [3].

Рабочее затухание линии на частоте 300 кГц (a_{300}) определяет ее скоростной потенциал. Для технологии ADSL установлены следующие градации по a_{300} в зависимости от длины абонентской линии:

- $a_{300} \leq 19$ дБ – может быть обеспечена скорость ПД до 8 Мбит/с в зависимости от уровня шума. Длина линии на ТПП-0,4 не более 1,48 км, на ТПП-0,5 – не более 1,9 км;
- $a_{300} \leq 39$ дБ – может быть обеспечена скорость ПД 4–6 Мбит/с в зависимости от уровня шума. Длина линии на ТПП-0,4 не более 3,023 км, на ТПП-0,5 – не более 3,94 км;
- $a_{300} \leq 60$ дБ – может быть обеспечена скорость ПД 1,5–2,5 Мбит/с. Длина линии на ТПП-0,4 не более 4,65 км, на ТПП-0,5 – не более 6 км. В этом случае шум должен быть не выше $-(90-100)$ дБ, в противном случае скорости нисходящего и восходящего потоков уравниваются или скорость нисходящего потока падает до 500–600 Кбит/с.

При длине линии около 2,5 км (ТПП-0,4) и затухании $a_{300} \approx 33$ дБ возможности технологий ADSL, ADSL2, ADSL2+ по скоростному потенциалу фактически уравниваются.

Измерения со стороны абонента ставят целью уменьшить шум, минимизировать возвратные потери, по возможности уменьшить вносимые потери, а также исключить неправильное подключение абонента. Методика аналогична

описанной в предыдущем разделе. Маски параметров указаны в [3]. Для SNR, по завершении измерений которого приборы ALТ-2000 и Дельта-ПРО DSL вычисляют скоростной потенциал, маски не предусмотрены. Это так называемый DMT-тест, который целиком определяется совокупностью многих факторов (DMT – дискретное многочастотное кодирование; DMT-тест – последовательная оценка SNR по всему спектру частот технологии ADSL).

Чем лучше АЧХ, меньше рабочее затухание на частоте 300 кГц и шум на стороне абонента, тем выше скорость ПД. Загубить самую хорошую линию можно подключив параллельно линейному входу сплиттера второй телефонный аппарат.

Выводы

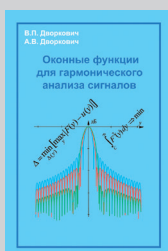
Подведем итог. Длина линий для xDSL технологий на медных кабелях ограничена. Нет никакого смысла включать абонентов в ADSL-доступ при длине кабеля ТПП-0,4, равной 6,5 км. Для G.SHDSL длина линии ограничена величиной затухания 50 дБ на частоте 150 кГц. Отсутствие анализаторов – не повод, чтобы отказываться от предоставления абонентского доступа.

Необходимо рассчитать возможности линии, технологически правильно подключить ее, устранить коммутационные дефекты, убрать годами висящие полевые кабели. Если уж нечем заменить однопарный кабель ПРППМ, то следует пропаять сростки и изолировать их термоусадкой. На всех участках линии надо исключить разбитые пары. Нельзя допускать значительных понижений сопротивления изоляции жил кабеля. Напряжения утечек до 15-20 В свидетельствуют о наличии импульсных помех. Параллельные отводы должны быть ликвидированы. Если этого не сделать, возвратные потери искажают сигнал и снижают скорость ПД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бриекер А.С., Рута А.Д., Шарле Д.Л. Городские телефонные кабели. Справочник. – Радио и связь, 1991.
2. Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник. – Экотрендз, 2009.
3. Андреев Р.В., Попов В.Б., Воронков А.А., Лапшин В.В. Измерения на медных кабельных линиях связи. – СРТТЦ ПГУТИ, 2013.

НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена: 370 руб.

Дворкович В.П., Дворкович А.В.

ОКОННЫЕ ФУНКЦИИ ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

Книга содержит сведения о классических оконных функциях и их параметрах, а также о предложенных авторами новых методах синтеза оконных функций с применением следующих алгоритмов:

- минимизации спектральных составляющих оконных функций вне пределов заданного интервала;
- минимизации различий формы и спектра оконных функций;
- максимизации скорости спада уровней боковых лепестков спектра оконных функций;
- перемножения относительных спектров оконных функций.

В приложении приводятся описания методов синтеза оптимальных сигналов, ограниченных по спектру и практически ограниченных по длительности, и сигналов, форма которых совпадает с огибающей их спектра, разработанных на базе алгоритмов вычисления новых оконных функций.

МОСКВА: ТЕХНОСФЕРА,
2014. – 112 с.,
ISBN 978-5-94836-373-8

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346, 234-0110; knigi@technosphaera.ru, sales@technosphaera.ru