

Применение моделирования в задачах разработки норм проектирования и эксплуатации сети цифрового абонентского доступа

Балашов В.А., директор Одесского НИИС, д.т.н., профессор;
+38(0482)22-63-97, bva@oniis.odessa.ua

Копийка О.В., директор департамента информационных и перспективных технологий ОАО “Укртелеком”, к.т.н.;

+38(044)234-68-05, okopijka@ukrtelecom.net

Кочеров А.В., Главный метролог ООО «Аналитик-ТС»
+7(495)775-60-11, andrey@analytic.ru

Ляховецкий Л.М., начальник лаборатории цифровых систем передачи Одесского НИИС, к.т.н. +38(0482)25-22-52, lm@oniis.odessa.ua

Вариант статьи опубликован в журнале «Вестник связи» №12, 2005

В статье описан подход к построению математических моделей цифровых абонентских линий (ЦАЛ), обоснована необходимость и определено место математического моделирования ЦАЛ при разработке нормативных документов, определяющих порядок и стратегию построения и развития сети цифрового абонентского доступа на медном кабеле. В качестве иллюстрации возможностей разработанных моделей построены скоростные характеристики и характеристики предельных радиусов зон обслуживания для ADSL2+.

Введение

Сегодня наблюдается стремительный рост числа цифровых абонентских линий (ЦАЛ). Так согласно прогнозу [1] количество ЦАЛ, построенных на базе т.н. xDSL-технологий, в мире увеличится с 78 млн. в 2004 до 195 млн. в 2008 году. Рекомендации ITU-T серии G.99x [2-13], определяющие требования к системам передачи xDSL, были разработаны специально для передачи информации по существующим медным кабелям местной телефонной сети связи.

Местная телефонная сеть создавалась для передачи низкочастотных аналоговых сигналов и характеристики абонентских линий (АЛ) нормировались лишь в ограниченном диапазоне частот. Поэтому в диапазоне частот сигналов современных систем передачи (СП), применяемых для построения ЦАЛ, характеристики АЛ в целом имеют существенный разброс и практически до последнего времени находились вне зоны внимания эксплуатации. С учетом этих обстоятельств, а также того, что АЛ являются двухпроводными, дуплексная передача по ним широкополосных цифровых сигналов представляет определенные сложности, которые в литературе получили название проблемы “последней мили”. И хотя в настоящее время стремительно развиваются сети доступа на основе радиотехнологий, сетей кабельного телевидения и ВОЛС, использование существующей разветвленной абонентской телефонной сети в обозримом будущем может рассматриваться как доступная альтернатива.

Построение сети цифрового высокоскоростного абонентского доступа выдвигает ряд задач перед разработчиками оборудования связи, проектировщиками сетей и эксплуатацией ЦАЛ, решение которых является необходимым условием эффективного развития сети доступа. Рассмотрим подробнее содержание некоторых из этих задач и возможные пути их решения.

Необходимость моделирования ЦАЛ

Рекомендациями ITU-T определены характеристики СП для построения цифровых абонентских линий на различных скоростях передачи. Оконечное DSL-оборудование производится различными фирмами и отличается как технико-эксплуатационными, так и

экономическими характеристиками. С целью объективной оценки характеристик ЦАЛ ряд ведущих операторов связи при поддержке производителей оборудования объединились в организацию под названием FSAN (Fully Services Access Networks – сеть доступа с полным набором услуг), а ее документы стали практически «законодательными» для разработчиков СП DSL.

Подход FSAN к определению основных характеристик цифровых абонентских линий ориентирован на тестирование аппаратуры в реальных условиях. Главным показателем качества работы DSL-оборудования по методике FSAN является параметр NM – Noise Margin (запас по шуму). Для целей тестирования разработан ряд типовых моделей абонентских линий и сценариев испытаний, различающихся загрузкой кабеля (набором ЦАЛ, работающих параллельно в многопарном кабеле) и характеристиками действующих шумов [14].

Характеристики АЛ местных телефонных сетей государств СНГ существенно отличаются от характеристик зарубежных АЛ:

- конструкцией кабелей (диаметр жил, способы скрутки и монтажа),
- электрическими характеристиками (сопротивление, затухание и др.),
- системами построения сети (отсутствуют т.н. мостовые отводы), природой помех от стационарного оборудования (АВУ и системы охранной сигнализации на абонентских линиях, аналоговые СП КАМА и К-60 на межстанционных).

СП по технологиям xDSL оптимизированы под характеристики зарубежных сетей, что затрудняет непосредственный перенос зарубежного опыта и результатов испытаний на характеристики ЦАЛ, которые следует ожидать при внедрении xDSL-технологий на существующих отечественных абонентских линиях.

Именно поэтому необходима разработка аналогичных FSAN натуральных макетов типовых отечественных АЛ и источников шумов. Этот подход требует наличия соответствующих аппаратных средств и материальных затрат и находит применение благодаря убедительности результатов. Наряду с этим следует применять методы исследования, включающие имитационное и математическое моделирование характеристик ЦАЛ, которые базируются на моделях отечественных АЛ.

Такой подход, не заменяя полностью натурное моделирование, обладает тем преимуществом, что позволяет легко осуществить «чистый» эксперимент при учете лишь требуемых и контролируемых факторов, влияющих на характеристики объекта моделирования, а в ряде случаев моделирование является единственно возможным инструментом. Очевидно, что решить методом натурального моделирования проблему ЭМС различных типов систем передачи, работающих в одном кабеле даже малой емкости (например, в 10-парном кабеле), из-за множественности вариантов проблематично, не говоря уже о случае применения кабелей емкостью 100 и более пар.

Важное место моделирование занимает в программном обеспечении проектных работ. При проектировании сети доступа на первый план выдвигаются задачи оптимального построения сети с учетом существующих телефонных кабелей, их характеристик, характеристик используемых технологий передачи, перспектив развития сети и других факторов.

Еще одной областью применения моделей ЦАЛ является служба эксплуатации сети доступа. Современные технологии передачи сигналов по АЛ, возросшие требования к качеству услуг связи требуют новых подходов к организации эксплуатации сети доступа. Это вопрос включает в себя разработку нормативных документов:

- по характеристикам кабеля и ЦАЛ в требуемом диапазоне частот,
- по правилам эксплуатации ЦАЛ,
- по методикам измерений характеристик ЦАЛ и методикам доведения их до норм и поддержания в норме в процессе эксплуатации,
- по профилактике, ремонту ЦАЛ и развитию сети.

Таким образом, наличие развитых математических моделей, позволяющих оценивать и анализировать характеристики ЦАЛ в многопарных телефонных кабелях с

учетом частотных характеристик кабеля, ЭМС различных сценариев загрузки, различных шумов, является необходимым условием для оценки характеристик, проектирования и эксплуатации ЦАЛ.

Модель ЦАЛ

На Рис.1 приведена схема предлагаемой авторами обобщенной программной модели ЦАЛ в многопарном телефонном кабеле местной телефонной сети. Модель содержит: модель СП, модель АЛ, модель шумов, модель ЭМС и блок задания параметров и расчета характеристик ЦАЛ.

Блок “Модель СП” представляет функцию спектральной плотности мощности $PSD_k(f)$ полезного сигнала, передаваемого в k -й паре многопарного кабеля.

Блок “Модель АЛ” синтезирует передаточную функцию $H(f)$ однородной либо составной двухпроводной АЛ.

Блок “Модель ЭМС” предназначен для расчета переходных помех на ближнем и дальнем концах от СП, работающих по параллельным парам при различных сценариях загрузки и типах кабеля. Для расчета помех задаются их спектры на ближнем $PSD_{0,i}(f)$ и на дальнем $PSD_{1,i}(f)$ концах каждой i -й пары, а так же передаточные функции переходного затухания с i -й пары на k -ю пару на ближнем $H_{0,i,k}(f)$ и на дальнем $H_{1,i,k}(f)$ концах.

Блок “Модель шумов” воспроизводит постоянно действующие помехи $PSD_m(f)$, например, помехи, порождаемые импульсным набором номера, работой коммутационных приборов механических АТС или аналоговых СП, а также модели типовых шумов ETSI A, ETSI B, AWGN-140.

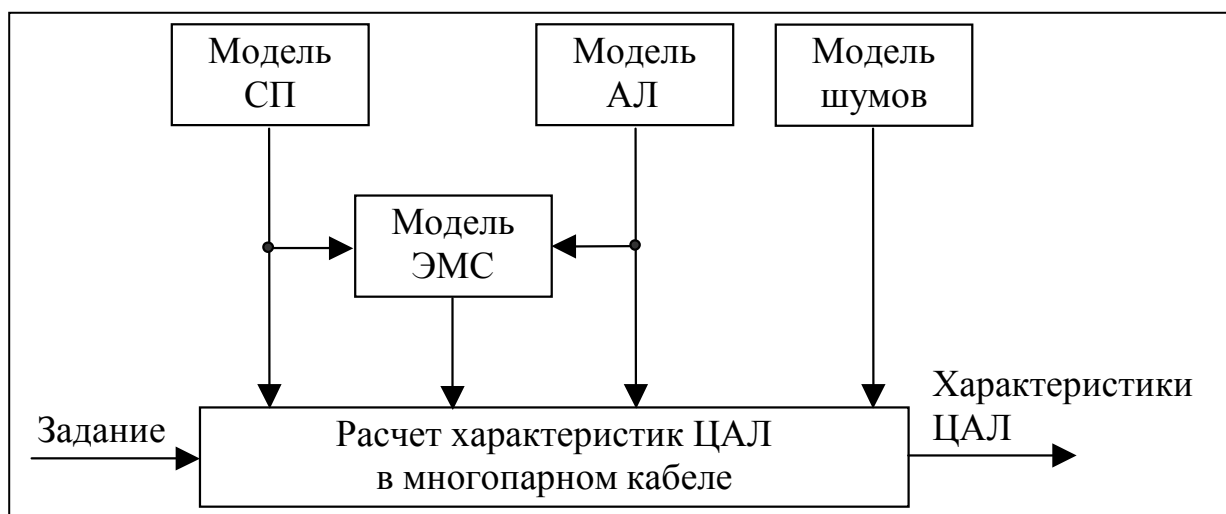


Рис.1. Обобщенная модель ЦАЛ в многопарном кабеле

Защищенность цифровой линии (отношение сигнал/шум), образованной в k -й паре многопарного кабеля, в используемой анализируемой цифровой СП полосе частот $f_0 \dots f_1$ (см. [15]) определяется выражением

$$SNR_k(f) = 10 \lg \frac{PSD_k(f) H^2(f)}{\sum_{i=1 \dots N, i \neq k} PSD_{0,i,k}(f) H_{0,i,k}^2(f) + \sum_{i=1 \dots N, i \neq k} PSD_{1,i,k}(f) H_{1,i,k}^2(f) + \sum_{m=1 \dots M} PSD_m(f)}$$

Программная модель допускает использование как простых спектральных, так и имитационных моделей и может обеспечить загрузку любых параметров и характеристик. Так, например, могут быть использованы сведения из следующих источников:

- спектры сигналов $PSD_k(f)$, $PSD_{0,i,k}(f)$, $PSD_{1,i,k}(f)$ - [2]-[9];

- передаточные функции $H(f)$, $H_{0,i,k}(f)$, $H_{1,i,k}(f)$ - [16], [17];
- модели типовых шумов ETSI A, ETSI B, AWGN-140 - [12].

Блок «Расчет характеристик DSL» оперирует определенной выше характеристикой $SNR_k(f)$ и позволяет:

- для одноканальных СП (HDSL, SHDSL) по заданным условиям (тип и длина кабеля, сценарий загрузки, необходимая скорость передачи) определить критическое соотношение сигнал/шум и запас помехозащищенности;
- для многочастотных СП (ADSL) в зависимости от заданных условий (тип и длина кабеля, сценарий загрузки) рассчитать достижимую скорость передачи; в этом случае в соответствии с [18] на основе характеристики $SNR_k(f)$ согласно [19] вычисляется максимальное количество передаваемых на каждой несущей бит, сумма которых в полосе $f_0 \dots f_1$ определит скорость передачи;
- при заданных характеристиках ЦАЛ (тип и длина кабеля, тип СП, скорость или запас помехозащищенности) определить оптимальный сценарий загрузки кабеля цифровыми линиями.

Некоторые результаты математического моделирования ЦАЛ

Возможности предлагаемых методик моделирования и моделей DSL проиллюстрируем построением скоростных характеристик и характеристик предельных радиусов зон обслуживания для линий ADSL2+, устанавливаемых на АЛ 30-парного кабеля.

На Рис.2 изображен срез 30-парного кабеля ТПП с повивной скруткой, а числами 1, 2, ..., 30 обозначена последовательность загрузки этого кабеля цифровыми АЛ. Под сценарием загрузки M_N , $N=1, 2, \dots, 30$, понимается сценарий, при котором загружены пары с номерами 1, 2, ..., N .

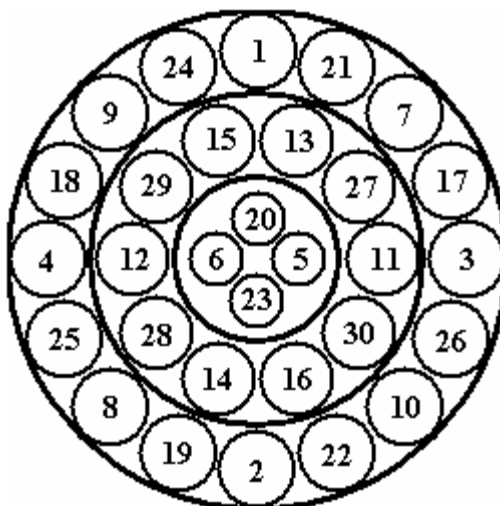


Рис.2. Последовательность загрузки пар кабеля ТПП 30x2 повивной скрутки

Результаты расчетов достижимых скоростей передачи в зависимости от длины АЛ представлены на Рис.3. Скорость нисходящего потока (Downstream) определена при следующих условиях:

- кабель ТПП 30x2 повивной скрутки с диаметром жил 0,5 мм,
- сценарии загрузки M_1 , M_{15} и M_{30} ,
- система передачи ADSL2+,
- сигналы встречных направлений передачи разделены по частоте (Non-Overlapped Spectrum Operation),

- оценивается скорость передачи в паре, находящейся в наихудшей помеховой ситуации из используемых пар,
- в АЛ кроме переходных помех действует шум ETSI B.

Приведенные результаты демонстрируют существенное ограничение скорости передачи переходными помехами на дальнем конце, имеющими место в рассматриваемом случае использования СП ADSL2+ с частотным методом разделения сигналов противоположных направлений передачи.

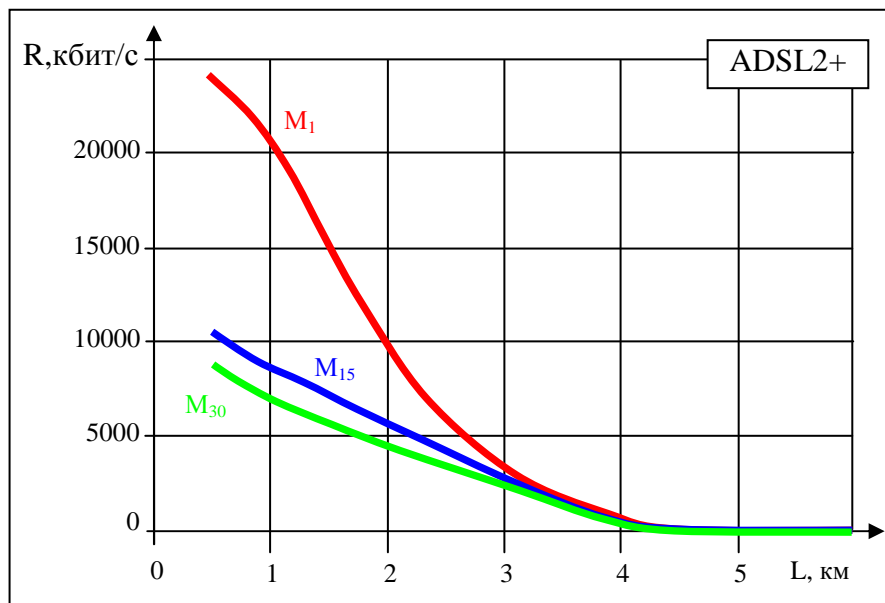


Рис.3. Скорость ADSL2+ в зависимости от длины АЛ при сценариях загрузки M_1 , M_{15} и M_{30} (кабель ТПП 30x2x0,5мм, шум ETSI B)

Расчеты дальности передачи в зависимости от сценариев загрузки при фиксированной скорости передачи (см. Рис.4) обнаруживают резкое уменьшение дальности L при введении в кабель N -й СП. Это особенно проявляется на средних скоростях передачи и объясняется тем, что включение N -й СП ($N=11\dots15$) приводит к резкому уменьшению минимального расстояния между используемыми парами (под расстоянием понимается величина переходного затухания между N -й СП и подверженной влиянию).

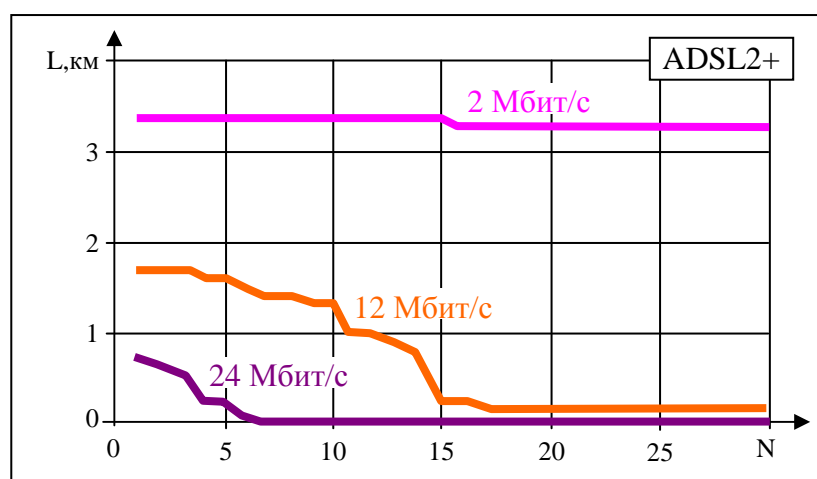


Рис.4. Зависимость дальности L , км передачи ADSL2+ от сценария загрузки M_N при различных скоростях передачи (ТПП 30x2x0,5мм, шум ETSI B)

Другими словами, подключение N -й СП, находящейся на ближайшем расстоянии к подверженной влиянию СП (соответствует минимальному из предшествующих вариантов сценариев переходному затуханию между парами), приводит к резкому повышению уровня переходных помех, из-за чего и скорость передачи падает так же резко.

Выводы

1. Разработка развитых методик и программ моделирования сети высокоскоростного цифрового абонентского доступа с учетом характеристик отечественных абонентских линий является важным условием эффективного решения задачи построения и эксплуатации сети доступа - проблемы "последней мили".
2. Необходимым условием эффективного решения задач построения и эксплуатации сети доступа является разработка норм на характеристики отечественных АЛ и ЦАЛ, включая нормы на допустимые шумы (подобно шаблону ETSI-B), и обеспечение поддержания характеристик в пределах норм в процессе эксплуатации. Нормирование электрических характеристик АЛ является также условием адекватности программных моделей реальным объектам сети доступа и их применимости для практических целей.
3. Методики и программы расчета характеристик DSL, построенных на отечественных телефонных кабелях, позволяют на этапе проектирования абонентской сети рассчитать различные варианты построения сети, сценарии загрузки кабеля и определить оптимальный. В процессе эксплуатации сети доступа такие методики необходимы для планирования и выбора оптимальных решений развития сети, контроля за характеристиками сети.
4. Математические модели ЦАЛ, положенные в основу программного обеспечения специализированных xDSL-анализаторов, позволяют определять скоростной потенциал и запас помехозащищенности ЦАЛ до ее установки, облегчают диагностику неисправностей при проведении измерительных работ на проблемных АЛ.

Литература

1. М.Р.Амарян. Проблематика, тенденции и пути развития широкополосного доступа в Интернет // Вестник связи, №12, 2004 – С. 30-33.
2. ITU-T G.991.1 High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers. 10/1998
3. ITU-T G.991.2 Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers. 12/2003
4. ITU-T G.992.1 Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers. 06/1999
5. ITU-T G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers. 06/1999
6. ITU-T G.992.3. Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2). 07/2002
7. ITU-T G.992.4. Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2). 07/2002
8. ITU-T G.992.5. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+). 05/2003
9. ITU-T G.993.1 Very high speed Digital Subscriber Line transceivers. 06/2004
10. ITU-T G.994.1 Handshake procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers. 02/2001
11. ITU-T G.995.1 Overview of Digital Subscriber Line (DSL) Recommendations. 02/2001
12. ITU-T G.996.1 Test procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers. 02/2001
13. ITU-T G.997.1 Physical layer management for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers. 06/1999
14. Д.Г.Мирошников. G.shdsl - новый всемирный стандарт на симметричные DSL // Вестник связи, №1, 2001 - С. 70-75.
15. А.В.Кочеров, Н.И.Тарасов. Что дает нормирование для обеспечения эксплуатационной надежности xDSL // «Телемультимедиа» №4, 2005 – С. 17-20.
16. Ю.А.Парфенов, Д.Г.Мирошников. Последняя миля на медных кабелях. ЭКО-ТРЕНДЗ, Москва, 2001.
17. И.И.Гроднев, С.М.Верник. Линии связи. Москва, Радио и связь, 1988 - С. 312.
18. В.А.Балашов, Л.М.Ляховецкий. Характеристики абонентского доступа ADSL при использовании отечественных кабелей ГТС // Зв'язок, №6, 2001 - С. 20-25.
19. John A.C. Bingman. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come // IEEE Communication Magazine. –May 1990 –7p.