

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЦИФРОВОЙ АБОНЕНТСКОЙ ЛИНИИ ADSL DMT

Власов Н. Ю., ТКСзм-09

Руководитель доц. Воропаева В.Я.

В настоящее время на абонентском участке активно внедряются технологии xDSL (Digital Subscriber Lines — цифровые абонентские линии), позволяющие максимально использовать его пропускную способность. Наиболее приемлемой для индивидуального пользователя и в связи с этим имеющей максимальные перспективы является технология ADSL (Asymmetric DSL асимметричная DSL). ADSL -модемная технология, превращающая аналоговые сигналы, передаваемые посредством стандартной телефонной линии, в цифровые сигналы (пакеты данных), позволяя во время работы совершать звонки.

Данная технология использует TC-CAP (Trellis Coded Carrierless Amplitude and Phase Modulation) модуляцию цифрового сигнала. Кодирование CAP – это адаптивная форма кода QAM. Этот метод позволяет корректировать значения символов, учитывая состояние линии (например, шумов) в начале соединения. При кодировании с помощью данного метода из полученной на выходе волны удаляется несущая частота. В методе CAP частотное уплотнение (FDM) обеспечивает поддержку трех подканалов – телефонного канала (POTS), канала передачи нисходящего потока данных (downstream) и канала передачи восходящего потока данных (upstream). Голосовые сигналы занимают стандартную полосу частот 0...4 кГц. Известно, что при применении данного вида модуляции достигается наибольшая длина регенерационного участка (ДРУ) абонентской линии. Однако основными сдерживающими факторами по применению этого метода модуляции являются отсутствие стандартизирующего документа, определяющего процедуры, в соответствии с

которыми выполняется преобразование сигнала. Взамен ТС-САР используется альтернативный метод — ADSL DMT (Discrete Multi Tone) на основе квадратурно-амплитудной (QAM Quadrature Amplitude Modulation) модуляции с ТС кодированием, что позволяет обеспечить высокую скорость и надежность передачи данных, возможность оперативной и точной адаптации приемопередающих устройств к характеристикам линии.

При использовании DMT каждая из групп несущих частот модулируется цифровым сигналом с применением QAM. При этом весь частотный диапазон линии, начиная с частоты $f_1 = 138$ кГц, разбивается на независимые каналы шириной $\Delta f = 4$ кГц с разносом между несущими $\Delta f_k = 4,3125$ кГц. (Рисунок 1).

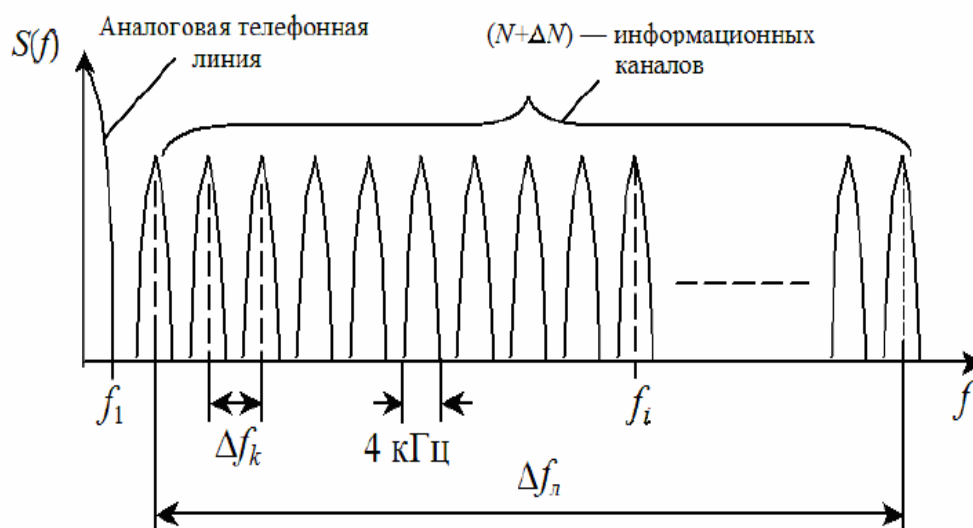


Рисунок 1 – Образование независимых каналов по методу DMT

Для передачи данных в направлении абонента ("вниз") организуется до 249 частотных каналов, а от абонента ("вверх") до 25, причем мощность передаваемого в линию сигнала не должна превышать $\sum_p = (13,5 \pm 0,5)$ дБм.

На этапе проверки качества линии в передающем устройстве исходя из уровня помех в частотном диапазоне каждого канала выбирается подходящая модуляционная схема QAM – M (M – число позиций). В каналах в зависимости

от уровня шумов могут быть использованы методы модуляции и кодирования с различными значениями символьной скорости и, соответственно, M . При передаче данных информация распределяется между каналами пропорционально их пропускной способности. На приемной стороне выполняются операции объединения и восстановления исходного информационного цифрового потока.

Структурная схема системы связи, работающей на абонентской линии, представлена на рисунке 2.

Оконечное оборудование (модем) состоит из приемника (Прм), передатчика (Прд) и устройства объединения – разделения (УОР). Кабельная пара 1 входит в кабельную систему с другими $N_{\text{л}}$ кабельными парами с аналогичными параметрами.

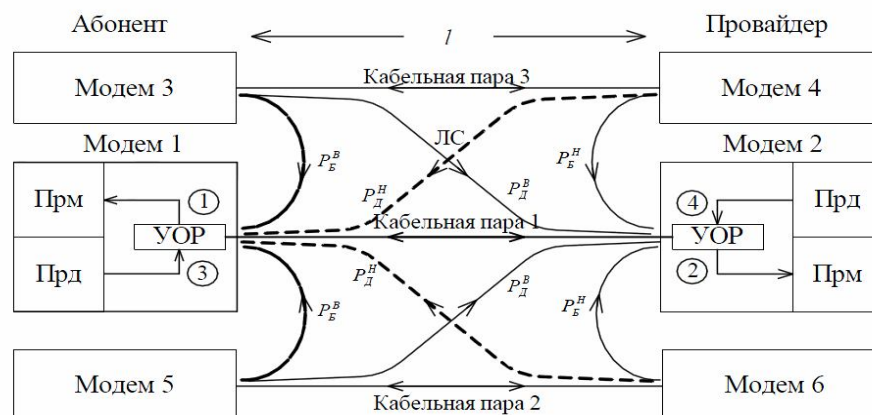


Рисунок 2 - Структурная схема организации связи по технологии ADSL DMT

Поскольку весь спектр разбит на $N_{\text{с}}$ частотных каналов вверх и $N_{\text{н}}$ вниз, расчет пропускной способности сводится к определению максимальной битовой скорости C_i в каждом i -м канале, при которой обеспечивается значение коэффициента ошибки (K_i) не выше максимально допустимого (K_{max}):

$$K_{\text{max}} \geq K_i \quad (1)$$

Вероятность ошибки для QAM — M при использовании TC кодирования:

$$P_b(\gamma) = 1 - \left(1 - 2Q \left(\sqrt{\gamma \frac{4}{(\sqrt{M} - 1)^2}} \right) \right)^2 / \log_2(M) \quad (2)$$

где γ — значение отношения сигнал/шум (ОСШ) в точке регенерации сигнала, раз.

Отношение сигнал/шум (ОСШ) в общем случае определяется как отношение мощностей сигнала в i -м канале к мощности шумов и помех, действующих в полосе частот i -го канала:

$$\gamma = P_{Ci} / P_{Oi} \quad (3)$$

Мощность сигнала на входе регенератора P_C однозначно определяется мощностью полезного сигнала на выходе передающего устройства (Прд) предыдущего регенератора P_C (точки 3 и 4 на рисунке 2) и параметрами кабельной линии. Мощность сигнала P_C связана с односторонней спектральной плотностью мощности модулированного сигнала $G_c(f)$ соотношением:

$$P_C = \int_0^{\infty} G_c(f) df \quad (4)$$

При модуляции DMT спектральную плотность мощности сигнала G_{Ci} в i -м канале определим как:

$$G_{Ci} = G_0(f - f_i G_i) \quad (5)$$

где $G_0(f)$ — огибающая спектральной плотности мощности при модуляции треугольными импульсами;

G_i - весовой коэффициент.

Затухание в линии зависит как от ее протяженности, так и от диапазона частот, в котором передается сигнал, и описывается частотно-зависимым километрическим затуханием $\alpha(f)$ [дБ/км], которое, в свою очередь, зависит от марки используемого кабеля. Затухание линии $a(f, l)$ [дБ] длиной l прямо пропорционально длине линии и равно:

$$a(l, f) = \alpha(f)l \quad (6)$$

С учетом (4)–(6) мощность полезного сигнала $P_N(l)$ в i -м канале на входе регенератора равна:

$$P_{Ni} = \int_{f_i}^{f_i+\Delta f} G_{Ci}(f,l)df = \int_{f_i}^{f_i+\Delta f} G_{Ci}(f)10^{-0.1\alpha(f)l} df \quad (7)$$

При расчете мощности шумов на входе регенератора необходимо учесть тепловые шумы линии и регенератора, переходные влияния (ПВ) на дальний конец (ДК) и ПВ на ближний конец (БК) от N_{II} параллельно работающих однотипных систем.

В общем случае мощности переходных помех на ближний и дальний конец определяются соответственно как:

$$P_A = \int_0^{\infty} G_A df, P_{\bar{A}}(l) = \int_0^{\infty} G_{\bar{A}} df \quad (8)$$

где $G_A, G_{\bar{A}}$ - переходные затухания на ближний и дальний конец данной кабельной системы.

Мощность тепловых шумов линии и собственных шумов регенератора в точке принятия решения равна:

$$p_{ш} = kT\Delta f 10^{0.1K} \quad (9)$$

где $K = 1,38 \cdot 10^{23}$ Дж/град — постоянная Больцмана;

T — температура линии в градусах Кельвина;

$K_{ш}$ — коэффициент шума усилителя приемника регенератора, равный 1,3 дБ.

Максимальная пропускная способность V_{\max} на участке определяется как:

$$V_{\max} = \sum_i C_i \frac{\Delta f}{2} \quad (10)$$

где $C_i = \log_2(M)$ – максимальная символьная скорость в канале;

M - число позиций модуляции.

Графики зависимости суммарной пропускной способности каналов V_{\max}^H и V_{\max}^B от длины линии при количестве параллельных линий $N_{II} = 1,2,3$ приведены ниже.

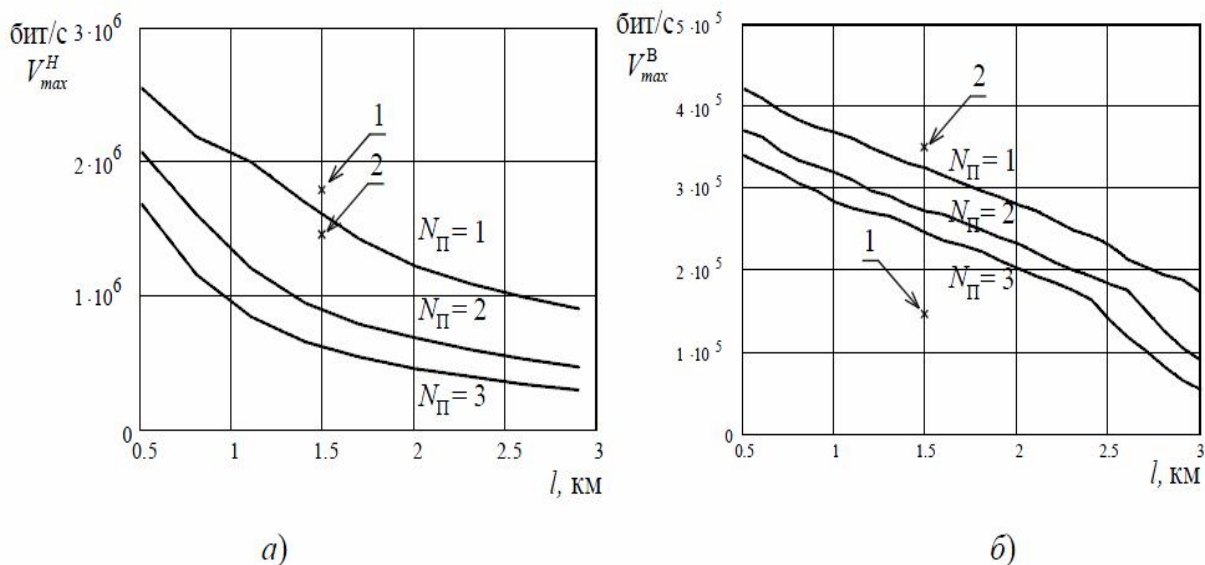


Рисунок 3 - Зависимость пропускной способности каналов V_{max}^H и V_{max}^B

В зависимости от того, в каком направлении требуется увеличивать пропускную способность канала, данные в направлении "вверх" либо "вниз" в "проблемных" каналах можно не передавать. В первом случае это вызовет увеличение пропускной способности "вниз" на 20% и снижение пропускной способности в направлении "вверх" на 50% (точки 1 на рис. 3,а,б), во втором случае — снижение на 20% в направлении "вниз" и увеличение на 10% пропускной способности в направлении "вверх" (точки 2 на рис. 3,а,б).

Увеличение на единицу параллельно работающих систем приводит к уменьшению пропускной способности в направлении "вниз" приблизительно на 30% и на 10% в направлении "вверх".

Перечень ссылок

1. ITU-T Recommendation G.992.1. Asymmetric digital subscriber line transceivers.
2. Тишков П.В. Исследование принципов построения корпоративных сетей связи. - Мн., 2004. – 104с.
3. ITU-T Recommendation G.991.1 High bit rate Digital Subscriber Line transceivers.
4. И.И. Гроднев, С.М. Верник, Л.Н. Кочановский. Линии связи: Учебник для вузов. - М., 1995. – 423с.