

СТАТТІ З ДОДАТКОВОЇ ТЕМАТИКИ

УДК 621.391:621.395

Ляховецький Л.М., Мамонтов І.А., Радю В.В.
Lyakhovetskyu L.M., Mamontov I.A., Radu V.V.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ СВЯЗИ ПО РЕКОМЕНДАЦИИ ITU G.992

THE CHARACTERISTICS OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT BASED ON THE ITU RECOMMENDATION G.992

Аннотация. В статье приведены принципы построения и основные характеристики оборудования связи по Рекомендации ITU G.992, предназначенного для построения цифровых абонентских линий.

Summary. The article is dedicated to the engineering principles and basic characteristics of telecommunication equipment based on the ITU Recommendation G.992 and intended for the digital subscriber lines development.

Сегодня в мире окончательно сформировалась точка зрения на развитие экономики двадцать первого века: экономика будущего, основы которой активно закладывают сегодня экономически развитые страны, будет экономикой информационной. Инфокоммуникационные технологии (ИКТ) и услуги, связанные с генерацией, обработкой и передачей информации, базирующиеся на развитой сети телекоммуникаций, становятся содержанием этой экономики. С построением информационного общества политики связывают свои надежды на создание более справедливого, процветающего и бесконфликтного мира.

Одной из ключевых проблем развития инфокоммуникаций на современном этапе является проблема доступности инфокоммуникационных технологий для жителей независимо от места жительства и материальных возможностей. Проблема доступности была предметом обсуждения на Всемирной встрече на Высшем уровне по вопросам информационного общества, проходившей 10–12 декабря 2003 г. в г. Женева. В принятой Декларации принципов построения информационного общества подчеркивается: «... предоставление всеобщего, повсеместного, справедливого и приемлемого в ценовом отношении доступа к инфраструктуре ИКТ и услугам на базе ИКТ составляет одну из задач информационного общества и должно стать целью всех заинтересованных сторон, участвующих в его построении ...» [1].

Решение стоящей перед обществом задачи доступности ИКТ осуществляется по многим направлениям, среди которых в настоящее время преимущественным является развитие широкополосных сетей доступа по существующей абонентской телефонной сети с использованием специально разработанных для этих целей xDSL-технологий передачи цифровых сигналов по медным телефонным кабелям. К основным требованиям, положенным в основу проектирования систем передачи (СП) xDSL, регламентированных рекомендациями ITU G.99x, можно отнести:

использование в качестве среды передачи существующих абонентских двухпроводных линий передачи на медном кабеле и обеспечение высокой достоверности передачи данных, сравнимой с качеством, достижимым на волоконно-оптических линиях связи;

– высокая степень адаптации к частотным характеристикам канала передачи, что позволяет не предъявлять высоких требований к его состоянию;

электромагнитная совместимость с существующим на абонентской сети оборудованием связи;

– электромагнитная совместимость с разными типами СП xDSL, работающими по параллельным парам;

– отсутствие на линии в наиболее типичном варианте использования регенераторов, что значительно повышает надежность системы;

– дистанционное питание абонентского оборудования осуществляется непосредственно по линии, используемой для передачи;

– совместимость практически с любым существующим телефонным и сетевым оборудованием по технологиям передачи, включая Frame Relay, ATM, протоколам и скорости передачи информации;

– удовлетворение существующим требованиям по контролю характеристик и управлению, которые предъявляются с позиций сети.

В настоящее время в мире эксплуатируется более 100 млн. xDSL-линий, из которых более 60 млн. линий построены по технологии ADSL – асимметричной цифровой абонентской линии (рекомендация ITU G.992) [2]. По прогнозам, ADSL-технология в ближайшем будущем останется лидирующей на сети доступа. Украинский оператор «Укртелеком» также выбрал эту технологию в качестве базовой для построения сети доступа. Указанные обстоятельства стимулируют интерес к этой технологии и необходимость рассмотрения комплексно характеристики существующих сегодня типов приемопередающего оборудования ADSL.

1. Основные принципы построения приемопередающего оборудования ADSL. В настоящее время существует пять разновидностей оборудования ADSL соответственно по рекомендациям G.992.1-5. Все эти виды оборудования объединяют общие принципы построения, которые рассмотрены ниже на примере первого в хронологическом порядке регламентации характеристик оборудования ADSL по Рекомендации G.992.1.

Аппаратура передачи ADSL по Рекомендации G.992 по отношению к СП абонентского доступа по Рекомендации G.991 наряду с асимметричной скоростью передачи по направлению к абоненту и от абонента отличается тем, что использует метод многочастотной передачи с ортогональным разделением сигналов. В качестве системы ортогональных сигналов применяются гармонические функции

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin k\omega_0 t \\ \cos k\omega_0 t \end{array} \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad 0 < t < T, \quad \omega_0 = 2\pi F_0, \quad (1)$$

ортогональные на интервале $\tau_0 = \frac{1}{F_0}$. В зарубежной литературе этот метод передачи получил название DMT (Discrete Multitone), который авторы других разработок называют методом передачи с OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex). В отечественной литературе нашло распространение название – метод передачи ортогональными гармоническими сигналами (ОГС), а соответствующие системы передачи называют СП ОГС.

Длительность тактового интервала T (длительность передаваемой элементарной посылки) выбирается несколько большей длительности интервала ортогональности τ_0 . Их разность составляет защитный временной интервал τ_3 между последовательно передаваемыми единичными элементами группового сигнала, который вводится с целью повышения помехозащищенности СП ОГС от интерференционных помех. Важным преимуществом системы ортогональных сигналов (1) перед другими является, во-первых, высокая концентрация энергии k -го сигнала в области частот $(k - 1) \omega_0 \leq \omega < (k + 1) \omega_0$ и быстрое убывание энергии вне этого диапазона, и, во-вторых, существование быстрых методов реализации алгоритмов их модуляции и демодуляции.

Каждая из пар сигналов (1) образует двухмерную систему координат, независимая модуляция каждой оси которой передаваемыми информационными сигналами реализует соответствующее КАМ-созвездие (КАМ – квадратурная амплитудная модуляция). На передающей стороне множество несущих с номерами от k_1 до k_2 одновременно и независимо модулируются передаваемыми на i -м тактовом интервале информационными сигналами. Модулированные сигналы суммируются, порождая групповой сигнал, который на i -м тактовом интервале описывается выражением

$$s_{гр}(t - iT) = \sum_{k=k_1}^{k_2} A_{ki} \cos k\omega_0(t - iT) + B_{ki} \sin k\omega_0(t - iT) \quad (2)$$

Значения амплитуд A_{ki} и B_{ki} определяются передаваемой информацией. Число несущих $k_2 - k_1 + 1$ задается адаптивно, в зависимости от скорости и направления передачи (вверх либо вниз) и характеристик канала. Демодуляция группового сигнала (2) осуществляется путем вычисления коэффициентов корреляции принимаемого сигнала $S_{гр}(t - iT)$ с опорными сигналами (1):

$$\begin{aligned} \tilde{A}_{ki} &= \frac{2}{\tau_0} \int_{t_{0,i}}^{t_{0,i} + \tau_0} S_{гр}(t - iT) \cos k\omega_0(t - iT) dt, \\ \tilde{B}_{ki} &= \frac{2}{\tau_0} \int_{t_{0,i}}^{t_{0,i} + \tau_0} S_{гр}(t - iT) \sin k\omega_0(t - iT) dt, \end{aligned}$$

где $t_{0,i}$ – момент начала интегрирования в приемнике на i -м тактовом интервале.

Практически операции модуляции (2) и демодуляции при цифровой реализации СП выполняются методами быстрого дискретного преобразователя Фурье (ДПФ), причем порядок ДПФ равен $2N$, где $N-1$ – максимальное количество несущих, которые могут быть использованы для передачи. Операция модуляции определяется как обратное ДПФ (ОДПФ) последовательности комплексных чисел

$$R_k = A_k + iB_k, k = 0, 1, \dots, 2N - 1,$$

$$s_{\text{гр}}(n) = \sum_{k=0}^{2N-1} R_k e^{i \frac{2\pi kn}{2N}}, n = 0, 1, \dots, 2N - 1, \quad (3)$$

а операция демодуляции – как прямое ДПФ

$$R_k = \sum_{n=0}^{2N-1} s_{\text{гр}}(n) e^{-i \frac{2\pi kn}{2N}}. \quad (4)$$

Комплексная последовательность R_k формируется следующим образом:

$$R_k = 0, k = 0, 1, \dots, k_1-1, k = k_2+1, \dots, N-1,$$

$$R_k = A_k + iB_k, k = k_1, k_1 + 1, \dots, k_2, \quad (5)$$

$$R_k = R_{2N-k}^*, k = N, N + 1, \dots, 2N - 1.$$

Знак (*) означает комплексно-сопряженную величину. R_N должно быть действительным числом согласно [2].

Следует отметить, что в результате модуляции, выполняемой методом ОДПФ, формируются лишь $2N$ цифровых отсчетов группового сигнала, соответствующих интервалу τ_0 . Формирование сигнала на интервале T осуществляется в силу периодичности группового сигнала повторением последних N_3 отсчетов (N_3 – число цифровых отсчетов сигнала на интервале τ_3) группового сигнала в начале посылки (эти отсчеты называют префиксом).

Блок-схема алгоритмов преобразования сигналов в передатчике станционного приемопередатчика (ПП) ADSL по Рекомендации G.992.1 (ATU-C) приведена на рис. 1. Функционально передатчик ATU-C и передатчик абонентского модема ATU-R реализуются по одним и тем же алгоритмам. Существующие между ними незначительные различия связаны с разными скоростями и диапазонами частот передачи “вниз“ и “вверх“, с различным числом используемых несущих сигналов, а также с режимом работы «ведущий» – «ведомый».

Укажем назначение блоков передатчика, а также рассмотрим содержание выполняемых алгоритмов. Так как принятый вид модуляции – DMT – вносит значительные задержки в передачу сигналов, определяемые длительностью тактового интервала, а эти задержки нормируются, то Рекомендацией G.992.1 предусмотрены специальные меры по ограничению задержки сигналов, вносимой ADSL-системой. С этой целью в передатчике передаваемые данные разбиваются на два потока – один, который требует малых задержек (обрабатывается в так называемом быстром буфере), а второй – в перестановочном буфере (в этом буфере данные подвергаются операции перемежения). Соответствующие биты (данные), обрабатываемые в быстром или перестановочном буфере, также называются быстрыми или перестановочными. Для выполнения требований по задержке быстрые и перестановочные данные обрабатываются по-разному: для быстрых данных длина блока кодирования меньше, отсутствует операция сверточной перестановки данных. Нормативная задержка быстрых данных составляет до 2 мс, а перестановочных – до 20 мс.

Блок мультиплексирования может объединять (мультиплексировать) до 4-х симплексных каналов (AS0 – AS3) с суммарной скоростью передачи до 6,144 Мбит/с и до 3-х дуплексных каналов (LS0 – LS2) с суммарной скоростью до 640 кбит/с, допустимые скорости которых приведены в табл. 1. Эти каналы, называемые также логическими, синхронизируются с тактовой частотой 4 кГц и объединяются с сигналами управления, администрирования и эксплуатации в два отдельных потока данных: быстрый и перестановочный. Каждый из потоков подвергается независимому CRC-кодированию (циклической избыточной проверке). Кодирование осуществляется путем деления двоичной последовательности передаваемых данных на образующий полином седьмой степени. Остаток от деления передается на противоположную сторону и служит для обнаружения ошибок при декодировании принятого сигнала. CRC-процедура является внутренней функцией ПП ADSL, которая введена для оценки качества образуемого канала передачи (оценки вероятности ошибки при передаче информации).

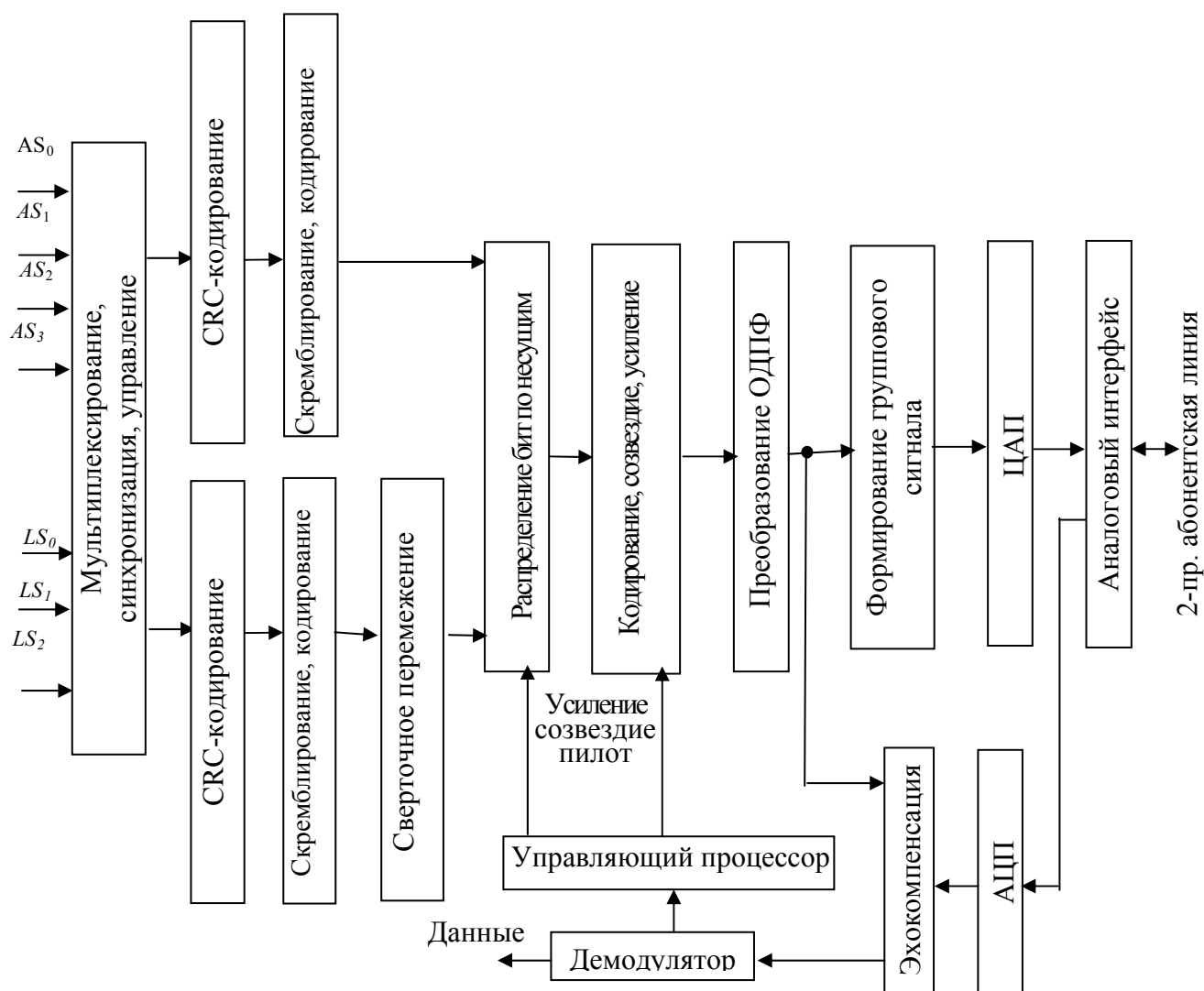


Рисунок 1 – Алгоритм преобразования сигналов в передатчике ADSL

Таблица 1 – Логические каналы ADSL

Канал	Тип	Допустимые скорости	Комментарии
AS0	Нисходящий симплексный	0 – 6,144 Мбит/с	Этот канал чаще всего используется как единственный нисходящий канал
AS1	Нисходящий симплексный	0 – 4,608 Мбит/с	
AS2	Нисходящий симплексный	0 – 3,072 Мбит/с	
AS3	Нисходящий симплексный	0 – 1,536 Мбит/с	
LS0	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении. Этот канал чаще всего используется как восходящий симплексный канал
LS1	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении
LS2	Дуплексный	0 – 640 кбит/с	Может иметь различные скорости в каждом направлении

Затем быстрые и перестановочные кодированные данные независимо скремблируются с целью придания передаваемым сигналам свойств статистической независимости. После скремблирования быстрые и перестановочные данные кодируются кодом Рида-Соломона, являющимся одним из наиболее эффективных линейных кодов, корректирующих ошибки. Кодированию подвергаются не биты, а байты. Поэтому арифметика выполняется в поле Галуа GF(256). Рекомендованные параметры кода позволяют исправлять до 64 одиночных ошибок в блоке максимального размера 119000 бит (минимальный блок составляет 530 бит).

После этого данные только перестановочного потока с целью декорреляции порождаемых при передаче ошибок подвергаются специальной операции сверточному перемежению. Этот алгоритм изменяет на передаче по определенному закону порядок следования данных, а на приеме восстанавливает изначальный порядок следования. В результате, если возникает пакет ошибок в принятой последовательности, то после операции, обратного сверточного перемежения, ошибки распределяются равномерно по принятой последовательности и будут рассматриваться как одиночные. Эта процедура повышает эффективность коррекции ошибок линейным кодом.

Результирующие последовательности данных быстрого и перестановочного буферов объединяются в кадр, передаваемый в течение длительности единичного элемента группового сигнала ADSL, равной 17/69 мс.

Сигнал кадров ADSL объединяются в сверхкадр. Сверхкадр имеет длительность 17 мс и состоит из 68 информационных кадров, нумеруемых от 0 до 67, и одного символа синхронизации. Символ (или кадр) синхронизации имеет ту же самую длительность, что и кадр данных, и он может рассматриваться как кадр, не переносящий пользовательских данных.

Каждый кадр ADSL, включая и кадр синхронизации, соответствует одному ADSL-символу.

Частота следования символов составляет $\frac{69 \text{ кадров}}{17 \text{ мс}} \approx 4,0588 \text{ кГц}$. Так как *информационных* кадров

за 17 мс передается всего 68 (символ синхронизации является служебным и здесь не учитывается), то

скорость передачи информационных символов составляет $\frac{68 \text{ кадров данных}}{17 \text{ мс}} = 4 \text{ кГц}$.

Структура кадра и сверхкадра передатчика ATU-C приведена на рис. 2. Все информационные кадры имеют аналогичную структуру. Каждый кадр разбивается на две части: полукадр, содержащий передаваемые данные быстрого буфера, – «буфера быстрых данных», и полукадр, содержащий данные перестановочного буфера, – «буфера перестановочных данных».

Полукадры, в свою очередь, разбиваются на байты. Каждый полукадр содержит точно определенное количество байт данных, относящихся к каждому из активных информационных логических каналов. В каждом полукадре данных содержатся также и байты служебной информации; однако эти служебные байты различны для разных номеров кадров. На рис. 3 изображена общая структура информационного кадра ADSL, соответствующая выходу блока CRC или входу скремблера.

Из-за того, что распределение информации по кадрам (а информационные кадры следуют друг за другом с частотой 4 кГц) происходит байтами, а не частями байт, скорость передачи данных по информационному каналу кратна величине 4 кГц x 8 бит = 32 кбит/с.

Общее число бит в кадре, распределение их между быстрым и перестановочным буфером изменяются в соответствии с условиями передачи. Двоичные данные передаваемого кадра распределяются по несущим (каналам) передатчика и определяют значения амплитуд A_{ki} и B_{ki} из формулы. При этом адаптивно задается не только вид созвездия КАМ (число бит по каждой координате), но и коэффициент усиления в каждом канале.

Значение коэффициента усиления и вид созвездия определяются в приемнике в процессе тестирования канала, которое осуществляется на этапе инициализации ПП. При инициализации передатчик стационарного ПП передает немодулированные несущие. Приемник противоположного ПП принимает эти сигналы, измеряет их уровень и защищенность от помех, с помощью специальных алгоритмов вычисляет коэффициент усиления и вид сигнального созвездия для каждой несущей и передает эту информацию на передающую сторону. В результате число бит передаваемой информации распределяется таким образом, что скорость передачи данных по каналу связи максимизируется для данных условий передачи. Если какая-либо несущая не может быть использована для передачи данных, она выключается, мощность передатчика перераспределяется между оставшимися несущими и таким образом использование доступной полосы частот оптимизируется. Энергия и количество передаваемых бит для различных несущих перераспределяются в зависимости от отношения сигнал/шум в используемой части полосы частот.

Иллюстрация, приведенная на рис. 4, показывает зависимость информационной скорости передачи по несущим СП ОГС от АЧХ линии передачи $|K(f)|$ и сосредоточенных по спектру помех (ССП).

Для повышения помехозащищенности ПП ADSL рекомендуется использовать решетчатый Wei-код с 16-ю состояниями, позволяющий получить выигрыш 2–3 дБ. Общий выигрыш за счет кодирования составляет около 5 дБ.

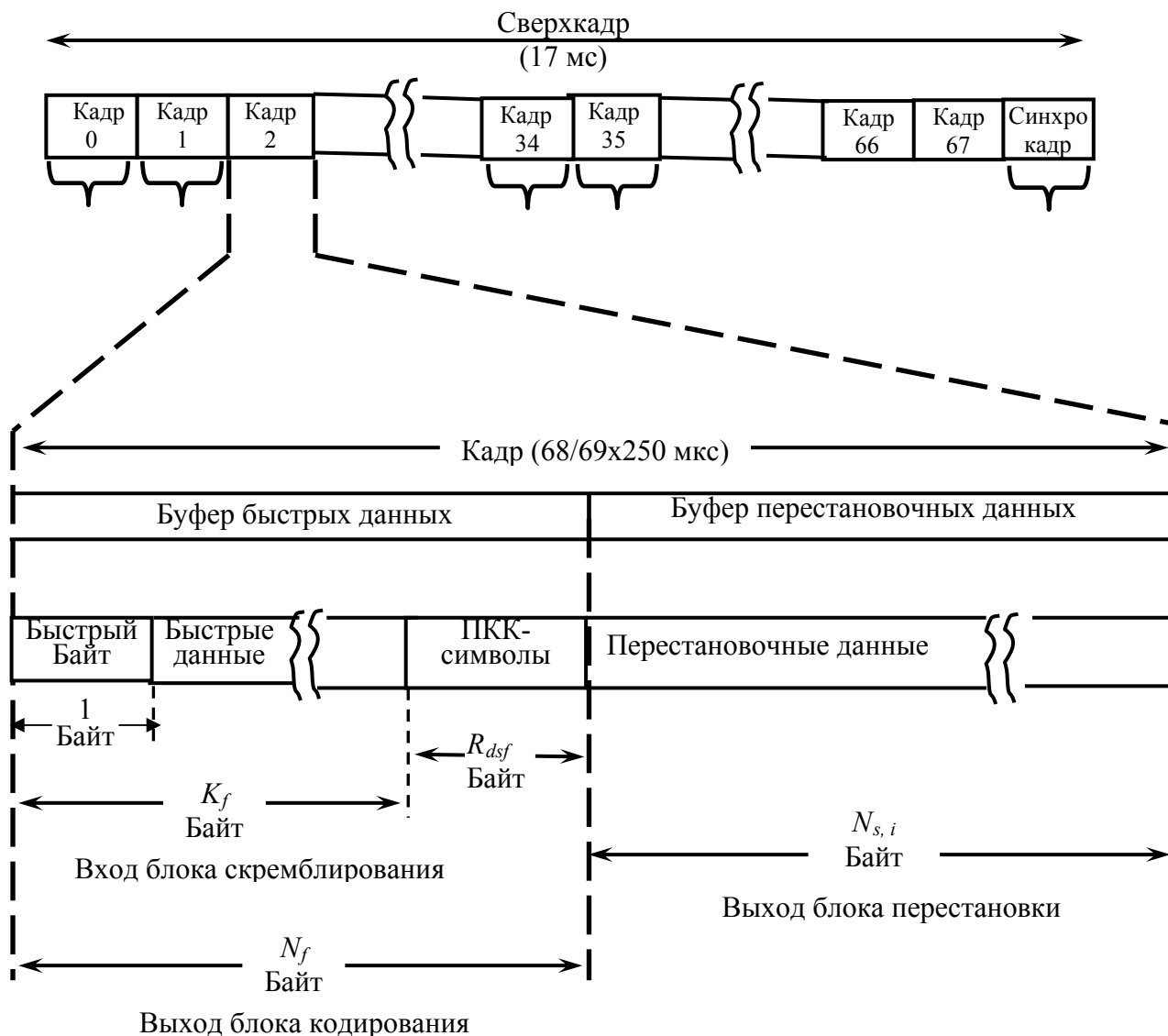


Рисунок 2 – Структура сверхкадра ADSL

Служебная информация быстрого тракта	Данные (полезные) быстрого тракта	Служебная информация быстрого тракта	Служебная информация перестановочного тракта	Данные перестановочного тракта	Служебная информация перестановочного тракта
--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	--	--------------------------------	--

Рисунок 3 – Структура кадра, включающая компоненты быстрого и перестановочного трактов (выход блока CRC)

Максимальное число несущих, которое может быть использовано для передачи «вниз», равно 255, «вверх» – 31. Несущие с номерами 64 и 16 (276 и 69 кГц) рекомендованы в качестве пилот-сигналов для передачи соответственно «вниз» и «вверх».

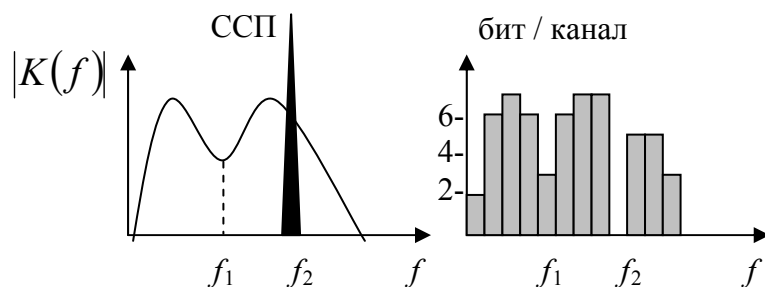


Рисунок 4 – Зависимость скорости передачи от затухания канала связи и помех

На выходе кодера созвездий формируется дискретный комплексный вектор размерностью 256, который преобразуется процессором обратного ДПФ (ОДПФ) в отрезок дискретного группового сигнала, содержащий 512 отсчетов. В блоке формирования группового сигнала полученная последовательность отсчетов сигнала дополняется первыми 32-мя отсчетами, соответствующими периодическому продолжению группового сигнала на защитный интервал. Дополненный групповой сигнал последовательно считывается из буфера с тактовой частотой $2,208 \times 10^6$ Гц и преобразуется в аналоговую форму посредством ЦАП. Аналоговый интерфейс обеспечивает фильтрацию сигнала и согласование с линией связи.

Разделение сигналов встречных направлений передачи в соответствии с рекомендацией может осуществляться либо с помощью фильтров, либо с помощью эхокомпенсатора.

На рис. 5 изображены полосы частот, занимаемые сигналами нисходящего и восходящего направлений для варианта разделения сигналов встречных направлений передачи с помощью эхокомпенсатора.

Область частот в нижней части спектра – это полоса телефонной сети общего пользования, используемая для традиционной передачи голоса. Эта полоса остается закрытой для восходящего и нисходящего сигналов ADSL путем неиспользования первых семи несущих в обоих направлениях передачи (при разделении сигналов встречных направлений с помощью эхокомпенсатора). Исключение первых семи несущих в обоих направлениях достигается назначением несущим в этой области частот значений амплитуд $R_k = 0$ и использованием аналоговой фильтрации в выходном каскаде передатчика, чтобы отфильтровать эти частоты. Установка в нули комплексных выходов кодеров созвездий $R_k = 0$ «выключает» соответствующую несущую или канал. Область частот спектра сигнала от 30 до 138 кГц (рис. 5) используется восходящим сигналом. Нисходящий сигнал может не использовать эту область частот, если в нем «отключены» несущие с 8-й по 32-ю. Верхняя область частот спектра сигнала (рис. 5) используется исключительно нисходящим каналом.

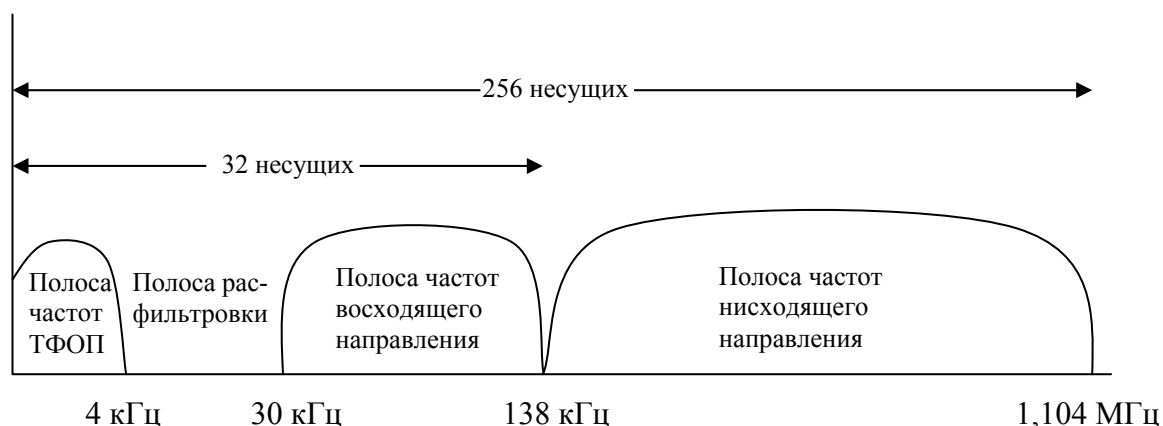


Рисунок 5 – Расположение полос частот сигналов восходящего и нисходящего направлений передачи ADSL с FDM

Этот вид ПП ADSL получил название ADSL с DMT и частотным разделением каналов (frequency division multiplex – FDM) или DMT с частотным дуплексным разделением (frequency division duplex – FDD). Эти названия обязаны своим происхождением использованию отдельных полос частот для нисходящего и восходящего направлений передач. В этом случае при параллельной работе множества ADSL-линий в одном кабеле имеют место переходы на дальнем конце. Но более опасных переходов на ближнем конце в этом случае нет.

Существует другой режим работы ADSL с DMT. Он называется DMT с эхокомпенсацией (echo-canceled – EC). Для режима EC в нисходящем направлении также передаются все несущие выше 30 кГц, в результате чего спектр сигналов нисходящего направления передачи перекрывается со спектром передаваемого сигнала ATU-R в полосе частот от 30 до 138 кГц. Работа в режиме EC позволяет повысить скорость передачи в нисходящем направлении по сравнению с работой в режиме FDM.

Работа в режиме EC имеет два недостатка. Во-первых, и в ATU-C, и в ATU-R присутствуют переходы на ближнем конце, так как оба передатчика используют полосу частот от 30 до 138 кГц. Надо заметить, что в ATU-R переходы на ближнем конце присутствуют только в полосе 30 – 138 кГц; более высокочастотная часть полосы нисходящего сигнала не подвержена этому явлению. Во-вторых, и аналоговая, и цифровая части ПП становятся более сложными. Аналоговая часть должна иметь больший динамический диапазон, а в цифровой части должен быть реализован высокоточный эхокомпенсатор. Хотя в некоторых реализациях ADSL используется EC-режим, обычно предпочитают режим FDM из-за отсутствия в нем переходов на ближнем конце.

В целях электромагнитной совместимости Рекомендацией G.992.1 предусмотрены ограничения на максимальную спектральную плотность мощности на каждой частоте передаваемого в линию связи сигнала, называемые маской мощности. Маска мощности ограничивает мощность передаваемого сигнала не только в полосе передачи сигнала ADSL, но и вне этой полосы. Маски мощности для нисходящего и восходящего направлений передачи (эхокомпенсационный метод разделения сигналов встречных направлений) изображены на рис. 6 и 7 соответственно.

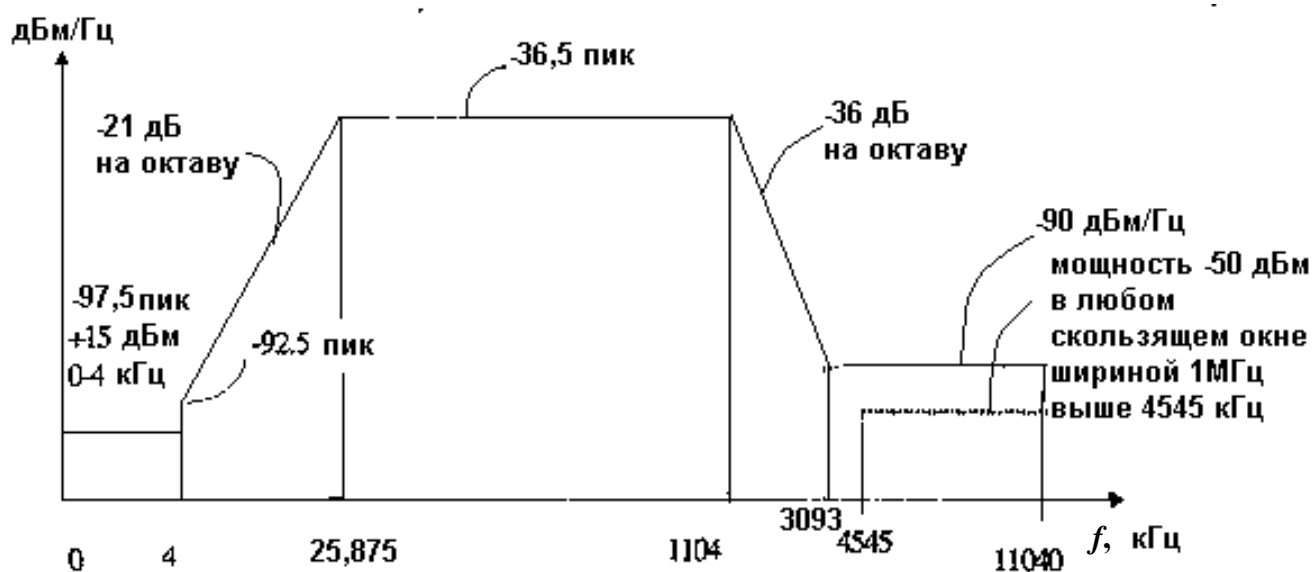


Рисунок 6 – Маска мощности для нисходящего направления передачи

На рис. 8 изображена схема фрагмента сети абонентского доступа на базе ADSL-оборудования. На абонентской и станционной сторонах для разделения сигналов ТФОП и сети передачи цифровых сигналов применяются разделители (сплиттеры), представляющие собой вилку НЧ и ВЧ фильтров.

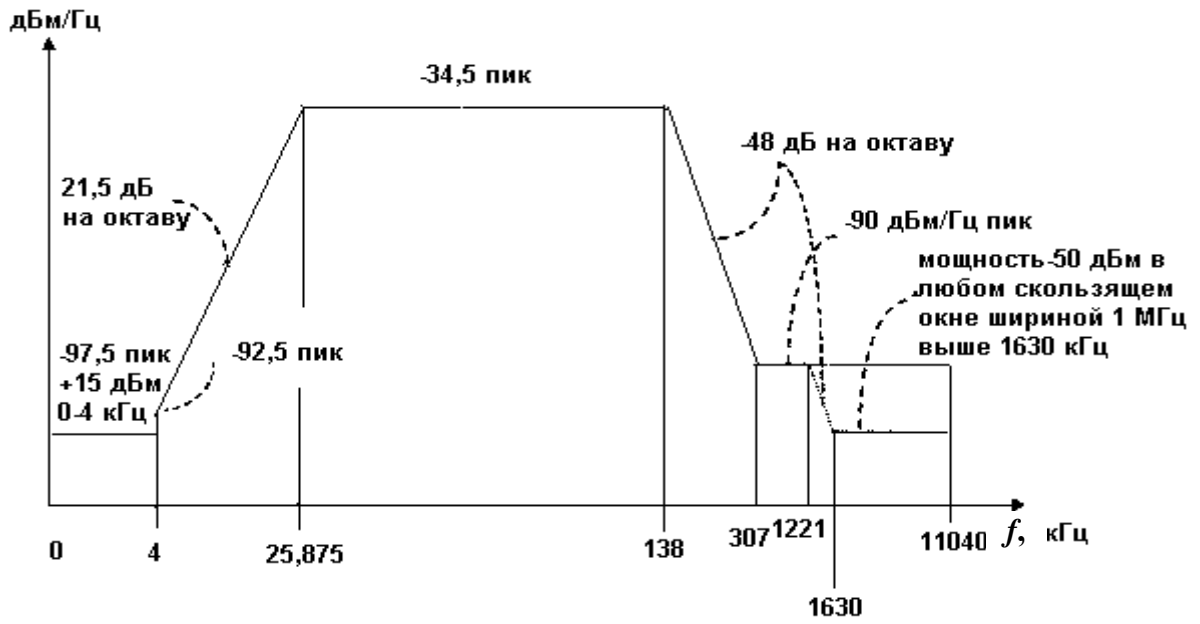


Рисунок 7 – Маска мощности для восходящего направления передачи

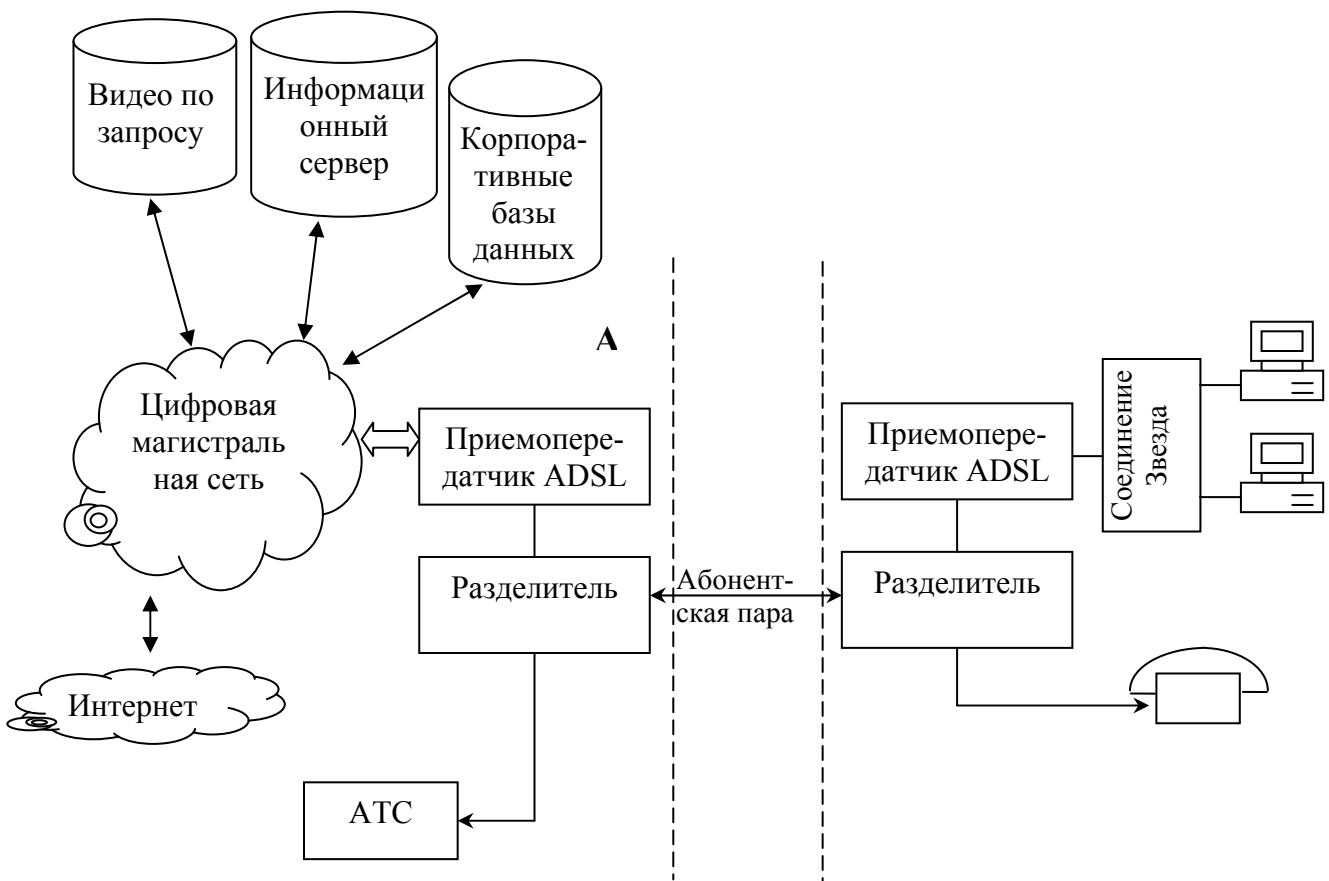


Рисунок 8 – Сопряжение ADSL с телефонным терминалом

2. Цифровая абонентская линия по технологии G-Lite ADSL. В настоящее время рекомендацией G.992.2 [3] регламентированы характеристики так называемой «облегченной» (G-Lite) ADSL, предназначенной для индивидуальных пользователей. Основным отличием от полной ADSL, определяющим ее характеристики, является снижение максимальной скорости передачи к абоненту до 1,536 Мбит/с, а от абонента – до 512 кбит/с. Это позволило упростить ПП и удешевить его, что важно для массового пользователя. Основные алгоритмы обработки сигналов в G-Lite ADSL остались в основном такими же, как и в полной версии.

Главным отличием передатчика G-Lite ADSL от ADSL является наличие только одного перестановочного тракта. Кроме того, на вход блока мультиплексирования поступает только один симплексный канал AS0 и один дуплексный канал LS0. Остальные отличия передатчика G-Lite ADSL от ADSL связаны с различным количеством несущих: 128 в нисходящем направлении и 32 в восходящем в G-Lite ADSL и 256 в нисходящем направлении и 32 в восходящем направлении в ADSL.

Маски мощности для нисходящего и восходящего направлений передачи (эхокомпенсационный метод разделения сигналов встречных направлений) изображены на рис. 9 и 10 соответственно.

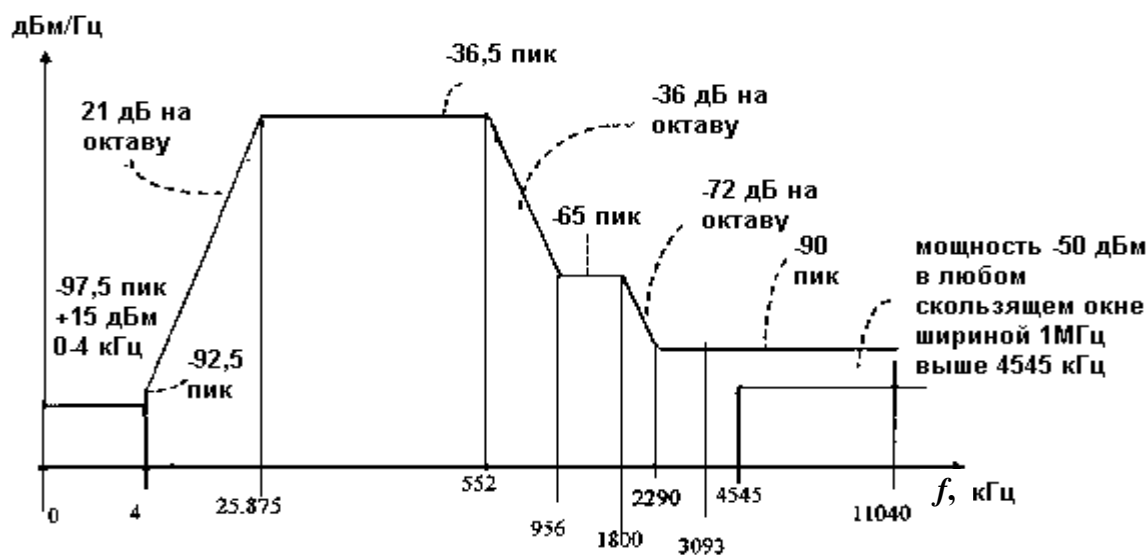


Рисунок 9 – Маска мощности для нисходящего направления передачи G-Lite ADSL

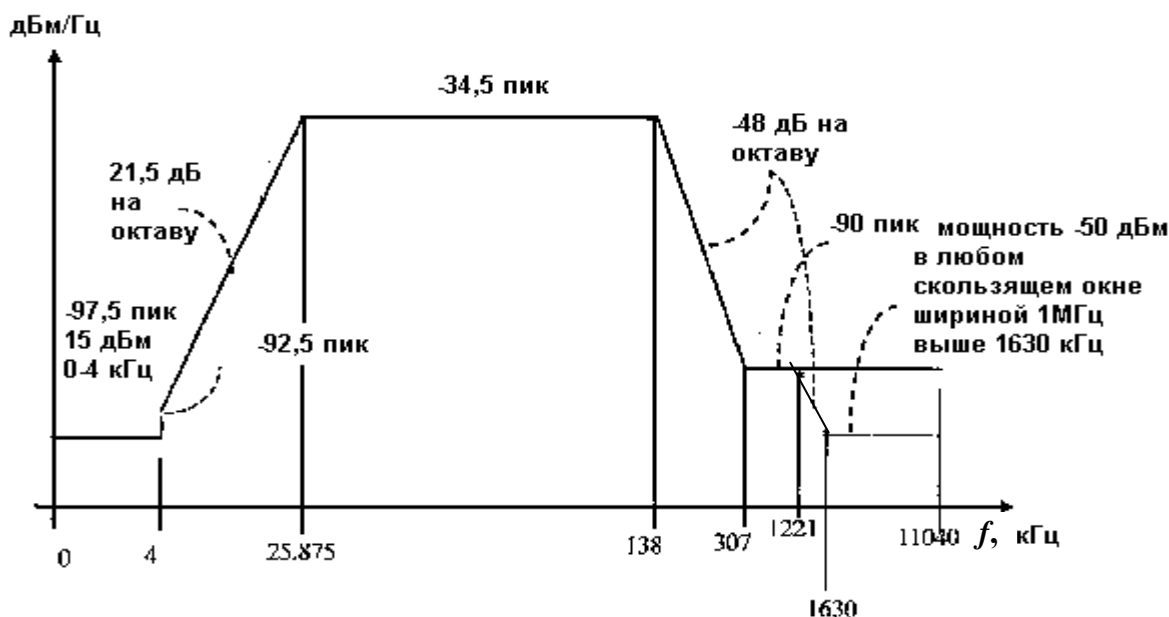


Рисунок 10 – Маска мощности для восходящего направления передачи G-Lite ADSL

3. Цифровая абонентская линия по технологии ADSL2. Согласно Рекомендации ITU G.992.3 [4], технология ADSL2 позволяет передавать более 8 Мбит/с в направлении к абоненту, а от абонента – 800 кбит/с. Функциональная схема передатчика, а также характеристики линейного сигнала (в частности, маски спектральной плотности мощности) практически не отличаются от тех, которые были приведены для ADSL. Основные отличия от ADSL состоят в следующем:

- более гибкое построение кадров;
- структура кадров позволяет более эффективно использовать выигрыш кодирования Рида-Соломона;
- обновлены процедуры диагностики линии;
- повышена устойчивость к присутствию мостовых отводов;
- добавлена поддержка однобитных кодовых созвездий;
- улучшены процедуры и технологии управления передачей.

4. Система передачи ADSL 2 без сплиттера. Получила развитие и технология ADSL G.Lite – Рекомендацией ITU G.992.4 [5] регламентированы характеристики технологии ADSL2 без сплиттера. Алгоритмы преобразования сигналов в передатчике и характеристики передаваемого линейного сигнала практически не претерпели изменений. Усовершенствования по сравнению с ADSL G.Lite состоят в следующем:

- улучшена поддержка цифровых служб и передачи голоса;
- обновлены процедуры диагностики линии;
- улучшена возможность изменения характеристик «на ходу» – в процессе передачи;
- добавлена поддержка однобитных кодовых созвездий;
- улучшены процедуры управления спектром передачи.

5. Цифровая абонентская линия по технологии ADSL2+. Главным отличием ADSL2+ от ADSL2 является двукратное увеличение полосы частот, используемой при передаче к абоненту. Согласно Рекомендации ITU G.992.5 [6] такое увеличение позволяет достичь скорости 16 Мбит/с в нисходящем направлении (downstream) и до 800 кбит/с – в восходящем (upstream). Оборудование ADSL 2 некоторых производителей перешагнуло и этот рубеж скорости, которая может достигать 24 Мбит/с в нисходящем направлении.

Основные принципы формирования сигнала в передатчике остались теми же: используется модуляция DMT с разносом между несущими частотами, как и прежде, 4,3125 кГц. В связи с двукратным увеличением ширины полосы по сравнению с ADSL и ADSL2 число несущих возросло до 512.

Маска спектральной плотности мощности сигнала передаваемого ПП ADSL2 сигнала в нисходящем направлении приведена на рис. 11. Суммарная передаваемая мощность в нисходящем направлении не должна превышать 20,4 дБм. Маска мощности сигнала для восходящего направления передачи схожа с соответствующей маской ADSL2 и ADSL.

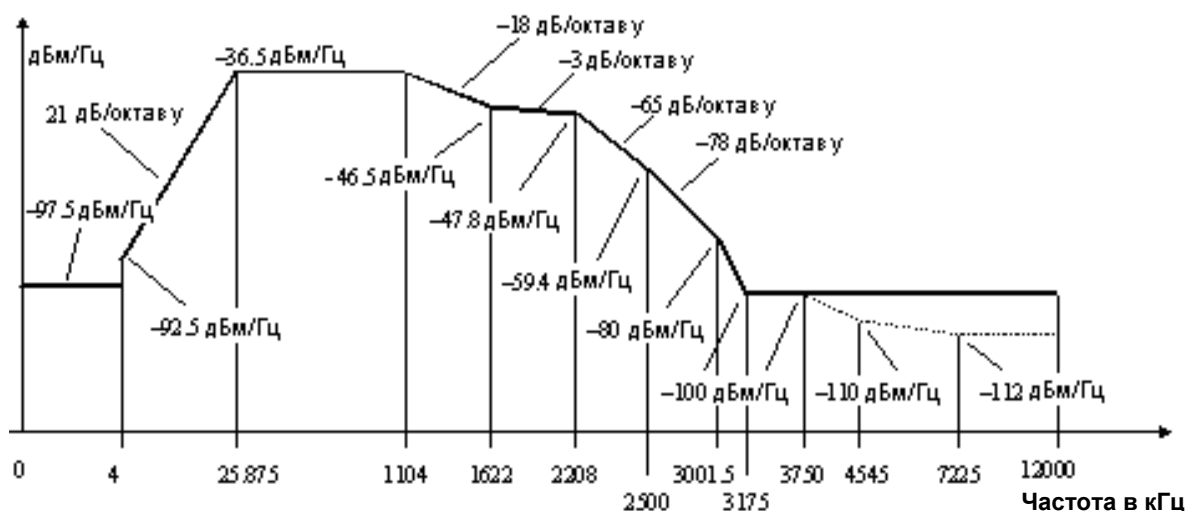


Рисунок 11 – Маска мощности для нисходящего направления передачи ADSL2+

По сравнению с ADSL2 добавлены следующие возможности:

- поддержка более высокоскоростных служб;
- поддержка до 3-х кодовых слов кода Рида-Соломона на один DMT-символ;
- полоса частот нисходящего направления расширена до 2,208 МГц;
- усовершенствованы процедуры управления спектром передачи.

В настоящее время Рекомендациями ITU G.992.1-5 регламентированы характеристики пяти систем передающего оборудования, предназначенного для построения цифровых абонентских линий с асимметричной скоростью передачи. Очевидно, что этими системами список не будет исчерпан и не за горами то время, когда появятся новые разновидности систем передачи этого класса. В этой связи важно усвоение общих принципов построения и функционирования оборудования связи этого класса. Этой цели и служит представленная статья. В следующей статье «Моделирование характеристик цифровых абонентских линий, построенных по ADSL-технологии», приведены результаты моделирования характеристик цифровых абонентских линий с учетом характеристик отечественных телефонных кабелей и характеристик ADSL-оборудования связи по Рекомендациям ITU G.992.1-5.

Литература

1. Всемирная встреча на высшем уровне по вопросам информационного общества. 10-12 декабря, Женева. План действий.
2. Рекомендация ITU-T G.992.1 Asymmetrical digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL)).
3. Рекомендация ITU-T G.992.2 Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии без сплиттера).
4. Рекомендация ITU-T G.992.3 Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии 2).
5. Рекомендация ITU-T G.992.4 Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии без сплиттера 2).
6. Рекомендация ITU-T G.992.5 Asymmetrical Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers - Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2+) (Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии – Расширенная полоса частот ADSL2).