

## ПАРАМЕТРЫ ДОМОВЫХ И МАГИСТРАЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ДЛЯ СЕТЕЙ КАБЕЛЬНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ (СКТ)

С.Н. Песков, директор МВКПК, к.т.н.,

А.Н. Подолянова, директор по маркетингу ГК «Полюс-С»

*В настоящей статье рассматриваются параметры усилителей для СКТ, на которые следует обращать внимание при их выборе с оценкой их качества.*

На отдельных курсах МВКПК (Московские Высшие Курсы Повышения Квалификации) детально рассматриваются все виды усилителей, используемых при построении СКТ, а также особенности их использования для реализации требуемых параметров сети в целом. Часто на практике, оператор (проектировщик) СКТ оказывается в растерянности при выборе магистральных и домовых усилителей. При кажущемся равенстве (или близки по величине) заявляемых параметров, цена может отличаться в два и более раз. В данной публикации рассматривается совокупность электрических и конструктивно-технологических характеристик, на которые следует обращать основное внимание при выборе домашнего или магистрального усилителя с учетом рекомендаций и требований, изложенных в Европейском Стандарте CENELEC EN 50083-3.

**Максимальный уровень выходного сигнала  $U_{max}$**  (max. output level) является основным и самым дорогостоящим параметром усилителя. Его измерение осуществляется методом двух несущих (рис.1). Плавно увеличивают уровень сигнала на входе усилителя, сформированного из двух немодулированных гармонических

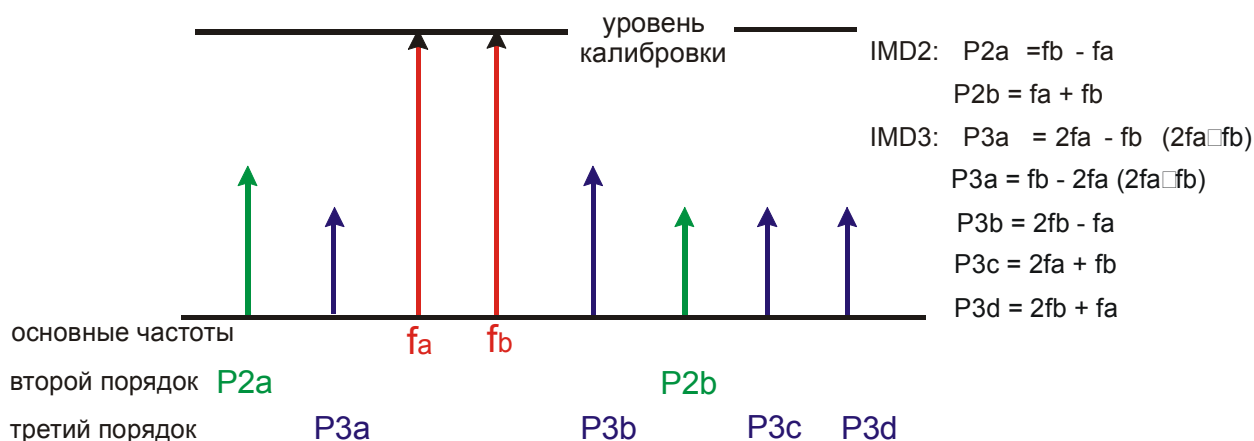


Рис.1

составляющих равной амплитуды до появления интермодуляционных искажений (IMD – Inter Modulation Distortion), лежащих ниже основного сигнала на 60 dB. Комбинационные составляющие появляются на частотах  $f_i = |nf_a \pm mf_b|$ . На практике проводят оценку продуктов искажения только двух первых порядков (остальные гармонические составляющие резко убывают по амплитуде) - IMD2 и IMD3. Сумма коэффициентов n и m (принимают значения 0, 1, 2) определяет порядок искажений. Например,  $P3a = f_b - f_a$ ,  $P2b = f_a + f_b$ ,  $P3a = f_b - 2f_a$  (для  $2f_a < f_b$ ),  $P3a = 2f_a - f_b$  (для  $2f_a > f_b$ ),  $P3b = 2f_b - f_a$  и т.д. Важно отметить, что  $U_{max2}$  (для IMD2 = -60 dB), всегда меньше  $U_{max3}$  (для IMD3 = -60 dB).

Для определения максимального уровня выходного сигнала при трансляции большого числа каналов согласно стандарта EN 50083-3 принято вести оценку интермодуляционных составляющих по композитным биениям второго - CSO (Composite Second Order) и третьего - CTB (Composite Triple Beat) порядков. При этом установлено, что для усилителей с верхней частотой в 862 МГц испытания проводят при 42-х TV каналах по утвержденной сетке частот, исключающей появления “чистых” каналов. Оценка CSO и CTB проводят по худшему каналу, в котором или CSO или CTB принимают максимальное значение<sup>1</sup>. Измерения CSO и CTB относятся к весьма дорогостоящим и трудоемким измерениям.

При трансляции N сигналов, выходной уровень усилителя  $U_{вых}$  должен быть снижен относительно  $U_{max3}$  на величину  $\Delta U_1$ , легко получаемую из условия сохранения суммарной мощности сигнала:

<sup>1</sup> Строго говоря, CTB и CSO имеют отрицательный знак, т.к. по своему определению являются отношением одной из интермодуляционных составляющих (второго или третьего порядка) к уровню несущей. Однако, на практике, знак «-» часто опускают и говорят, как о положительном значении. Например, CTB=66 дБ лучше, чем CTB=62 дБ. Аналогично CTB=-66 дБ лучше, чем CTB=-62 дБ. В данном же случае речь идет чисто про амплитуду искажений, в силу чего они часто на практике именуются как IMA вместо IMD. По мнению авторов, терминология IMD является более строгой и правильной.

$$\Delta U_{1(3)} = U_{\max 3} - 10 \lg (N/2) \quad (1)$$

В силу этого следует обратить внимание на заявляемые значения  $U_{\max 3}$  ( $\text{IMD3} = -60 \text{ dB}$ ) и  $U_{\max}$  для СТВ  $\leq -60 \text{ dB}$ . Разница между ними должна составлять 13...14 dB (от  $10 \lg (N/2)$  для 42-х каналов). Если эта разница превышает указанное значение (или занижено относительно него), то это может свидетельствовать о недобросовестности фирмы-производителя. Аналогичная зависимость для продуктов второго порядка может быть получена из эмпирического выражения<sup>2</sup>:

$$\Delta U_{1(2)} = U_{\max 2} - (3,5...4,3) \lg (N/2). \quad (2)$$

**Максимальный уровень выходного сигнала реверсного канала** аналогичен прямому каналу. Стандарт EN50083-3 не регламентирует критерии измерения этого уровня (в стадии обсуждения). Большинство фирм-производителей пользуются традиционной методикой, использующей метод двух несущих. Желательно, чтобы  $U_{\max 3} \geq 116...118 \text{ dB}\mu\text{V}$ . Это позволит реализовывать малые СТВ и CSO, которые за счет низкой дуплексерной развязки могут проникать на вход прямого канала.

**Схема выходного канала** играет важную роль в формировании свойств усилителя в целом. До недавнего времени в выходных каскадах усилителя в подавляющем большинстве использовались интегральные микросхемы. Широкополосное согласование в таких усилителях достигалось за счет схемотехнических ухищрений. Увеличение выходного уровня достигалось за счет использования все более мощных СВЧ транзисторов, работающих при повышенных токах эмиттера. Такая схемотехника построения усилителей сохранилась до настоящего времени в некоторых типах домашних усилителей.

Совершенство полупроводниковой технологии и появление миниатюрных сверхширокополосных ферритовых трансфлекторов (на их базе строятся направленные 3 dB ответвители – НО) с малыми потерями позволили строить широкополосные балансные усилители, выполненные в единой микросхеме по гибридной технологии. В английской аббревиатуре такие усилители именуются Push-Pull. Структурная система балансного каскада показана на рис.2 (выравнивание фазовых плеч учтено в конструкции НО и на схеме не отражено).

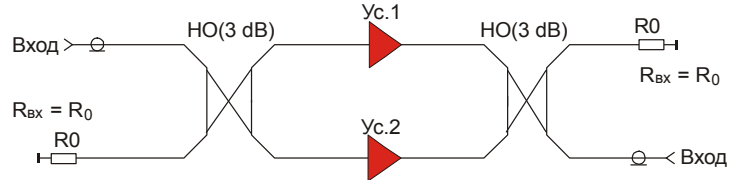


Рис. 2

К основным достоинствам таких усилителей следует отнести: повышенный уровень выходной мощности в сравнении с одиночными каскадами (на 3 dB при идеальных НО); высокую линейность фазочастотной характеристики; высокий коэффициент подавления всех четных гармоник (до 20 dB и более); малый коэффициент возвратных потерь (return loss), гарантированный свойствами НО; независимость настроек входной цепи с точки зрения минимизации коэффициента шума и максимизации коэффициента усиления (иными словами - реализация минимального коэффициента шума при идеальном согласовании); незначительный перекося АЧХ при климатических воздействиях; повышенная надежность (так, при выходе из строя одного из усилителей, сохраняется работоспособность усилителя с понижением коэффициента передачи на 6 dB; малая неравномерность АЧХ.

Столь высокие преимущества балансных усилителей и снижение цены на выходную микросхему (в основном, от фирм Philips и NEC) за счет увеличения объема их выпуска, привело к массовому переходу на производство балансных усилителей. Типовой максимальный уровень выходного сигнала таких усилителей составляет 119-121 dB $\mu$ V ( $\text{IMD3} \leq -60 \text{ dB}$ ).

Дальнейшее стремление повысить линейный выходной уровень привело к созданию двухбалансных усилителей (Power Doubler), построенных по такому же принципу и обладающих теми же достоинствами. Теоретически максимальный уровень выходного сигнала усилителей класса Power-Doubler превышает аналогичный уровень усилителей класса Push-Pull на 3 dB, практически - на 2 dB (за счет потерь в ферритовых НО) и обычно составляет 121...126 dB $\mu$ V ( $\text{IMD3} \leq -60 \text{ dB}$ ).

В последнее время с целью дальнейшего повышения линейности усилителей стали использовать GaAs транзисторы, обладающие расширенным динамическим диапазоном (в сравнении с кремниевыми транзисторами). При этом используют каскадную схему с динамической нагрузкой (схема Дарлингтона).

**Частотный диапазон прямого канала** зависит от числа транслируемых каналов. В подавляющем большинстве используются усилители с полосой до 862 МГц, что позволяет транслировать в СКТ до 50-70 физических каналов, что с учетом цифрового уплотнения эквивалентно трансляции порядка 1000 TV программ. Такие СКТ обладают минимальной стоимостью в пересчете на канал и максимальной в пересчете на абонента.

<sup>2</sup> Строго говоря, в формуле (2) понижающий коэффициент должен записываться как  $5 \lg (N/2)$ . Однако, схемотехнические ухищрения позволяют понизить этот коэффициент, что невозможно принципиально для СТВ.

**Частотный диапазон реверсного канала.** При трансляции сигналов в прямом направлении (downstream - нисходящий поток), нижняя частотная точка диапазона соответствует 47 МГц. Частотный диапазон 0 - 47 МГц оказывается не востребованным. Низкочастотный участок диапазона 0...5 МГц подвержен сильному воздействию помех (шумы ингрессии), а также значительным частотно-временным искажениям сигнала, в силу чего он мало пригоден для передачи аналоговых сигналов при требовании их высокой помехозащищенности. В силу этого на этапе эволюции кабельных сетей возникло простое и естественное решение - использовать частотный диапазон 5 - 30 МГц для передачи сигналов в обратном направлении (upstream - восходящий поток), от абонента к ГС.

Такой канал получил наименование реверсного (reverse channel) или обратного (return channel) канала. Частотное разделение прямого и реверсного канала осуществляется путем включения частотных диплексов на входе и выходе усилителей (рис.3), представляющих собой звездообразное включение фильтра верхних частот (ФВЧ или НР - High Pass) и фильтра нижних частот (ФНЧ или LP - Low Pass).

Иногда вместо усилителя реверсного канала включают переключку. Такой канал именуют пассивным (passive). Его коэффициент передачи обычно не хуже -1,0...-1,5 dB (удвоенные потери частотного диплекса на нижних частотах).

Частотный диапазон реверсного канала определяется числом и видами предоставляемых услуг интерактивного сервиса. При развитых интерактивных услугах (чаще всего, это Internet и телефония) логичнее выбирать диапазон частот реверсного канала 5-65 МГц. В таком диапазоне легко размещаются 13 каналов с полосой 3,2 МГц (стандарт DOCSIS). В диапазоне же 5-30 МГц размещается не свыше 3-4-ех каналов, т.к. практически можно использовать только диапазон 12-25 МГц из-за наличия значительных шумов ингрессии в низкочастотной области (5-15 МГц) и значительной ГВЗ в диапазоне 25-30 МГц.

Желательно выбирать усилители со встраиваемыми частотными диплексами или усилителями реверсного канала. А собственно СКТ сразу проектировать на диапазон 5-65 МГц (при это частотный диапазон прямого канала сокращается до 87-862 МГц).

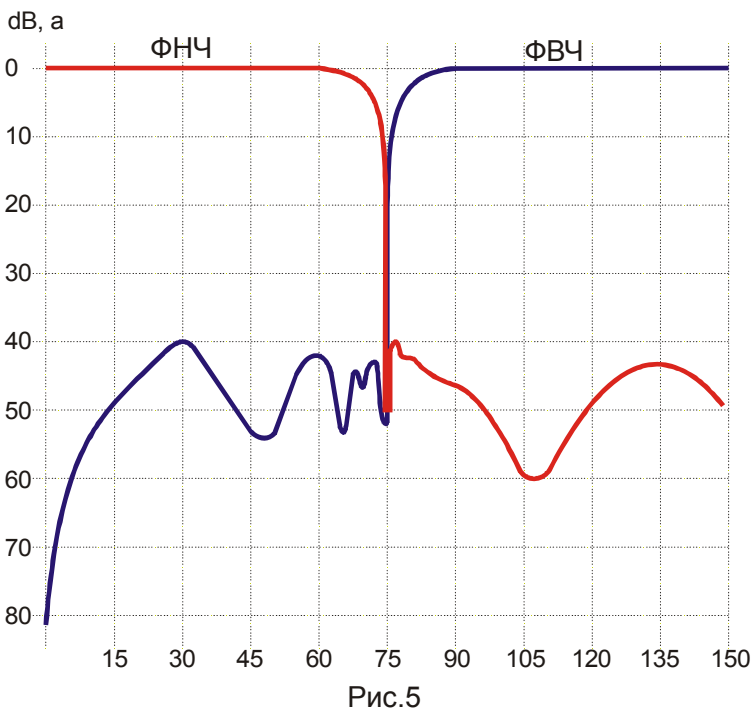


Рис.5

Иногда вместо усилителя реверсного канала включают переключку. Такой канал именуют пассивным (passive). Его коэффициент передачи обычно не хуже -1,0...-1,5 dB (удвоенные потери частотного диплекса на нижних частотах).

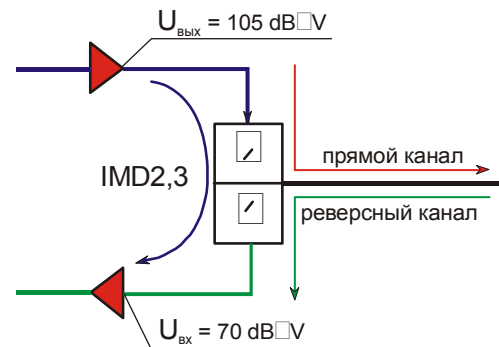


Рис.4

**Диплексерная развязка (Decoupling between Forward/Return channel)** редко приводится в паспортных параметрах на усилители. Тем не менее, этот параметр (см. рис.4) является важным при внедрении услуг интерактивного сервиса. Не вдаваясь в технические особенности констатируем, что величина диплексерной развязки должна составлять не менее 35-45 dB при внедрении услуг интерактивного сервиса. Для иллюстрации на рис.5. представлены АЧХ частотных диплексов, входящих в состав усилителей серии HV компании Polytron.

**Коэффициент шума (noise factor, noise figure)** используется для оценки собственных шумов усилителя.

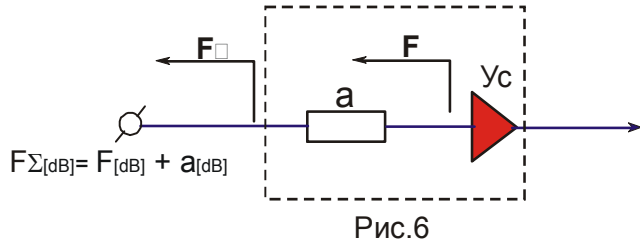
$$F = (C_1/N_1) / (C_2/N_2) \quad (3)$$

Другими словами, коэффициентом шума является отношение мощности шума на выходе реального усилителя  $P_{ш.р}$  к мощности шума в той же точке  $P_{ш.и}$ , если бы использовался идеальный (не добавляющий собственной шумовой мощности) усилитель:

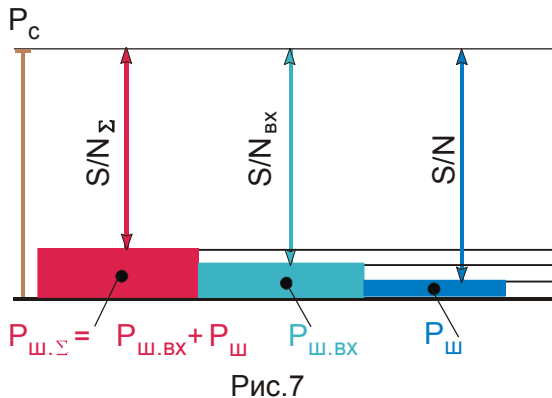
$$F = P_{ш.р}/P_{ш.и} \quad (4)$$

Коэффициент шума является безразмерной величиной и часто выражается в децибелах:  $F_{[dB]} = 10\lg(F)$ . Из самого определения (3) следует, что коэффициент шума идеального (не шумящего) усилителя  $F = 1$  (0 dB). Чем меньше численное значение коэффициента шума усилителя, тем меньший вклад он вносит в снижение отношения сигнал/шум по трассе.

Полезно напомнить, что, если на входе усилителя установлено пассивное устройство с потерями  $a$  (например, аттенуатор, эквалайзер, кабель и т.п.), то эквивалентный коэффициент шума  $F_{\Sigma}$ , выраженный в децибелах, будет равен сумме коэффициента шума усилителя  $F$  и потерь  $a$ , выраженных в децибелах, т.е.  $F_{\Sigma} = F + a$  (см. рис.6).



**Приведенный динамический диапазон.** Выходное отношение сигнал/шум (S/N) усилителя зависит от трех факторов (см. рис.7): уровня входного сигнала  $P_c$ , входной шумовой мощности  $P_{ш.вх}$  (совместно с сигналом



характеризует входное отношение сигнал/шум  $S/N_{вх}$  и собственной шумовой мощности усилителя  $P_{ш}$  (зависящей от коэффициента шума усилителя). Если на вход усилителя с коэффициентом шума  $F$  и коэффициентом усиления  $K_{ном}$  от ВЧ генератора с сопротивлением  $R_0 = 75$  Ом подать идеальный (нешумящий и без искажений) TV сигнал с уровнем  $U_{вх}$ , то на его выходных зажимах сформируется выходное отношение сигнал/шум величиной:

$$S/N_{[dB]} = U_{вых[dB\mu V]} - K_{ном[dB]} - F_{[dB]} - 2,41. \quad (5)$$

Так, при  $U_{вых} = 96$  dB $\mu$ V,  $K_{ном} = 38$  dB и  $F = 8$  dB, на выходе формируется  $S/N = 47,59$  dB. Формула (5) наглядно показывает, что для реализации возможно большего S/N необходимо выбирать усилители с возможно большим уровнем вы-

ходного сигнала при минимальном коэффициенте шума. Величину S/N, определяемую по (5), часто именуют приведенным динамическим диапазоном, который удобно использовать при выборе усилительного оборудования и расчете СКТ.

**Накопление шумов** по магистрали в основном обязано активным устройствам (усилителям). При использовании нескольких усилительных каскадов (ГС, магистраль, стояк), выходное отношение  $S/N_{вых}$  легко находится через известные значения приведенных динамических диапазонов каждого из активных устройств:

$$S/N_{вых[dB]} = -10\lg(10^{-(S/N)^1} + 10^{-(S/N)^2} + \dots + 10^{-(S/N)^n}). \quad (6)$$

При каскадировании  $n$  активных устройств (усилителей) с равными S/N, выходное отношение  $S/N_{вых}$  уменьшится на величину  $\Delta = 10\lg(n)$ .

**Коэффициент усиления**  $K_{ном}$  – это параметр, на который чаще всего обращает внимание начинающий оператор кабельных сетей, хотя значимость его не очень велика, особенно при использовании технологии FTTH (оптика до дома). Как уже отмечалось, меньшему коэффициенту усиления соответствует большая величина приведенного динамического диапазона (5), меньшее накопление шумов по магистрали (6), большее потенциальное число каскадно включаемых усилителей  $n$  и, следовательно, большая величина компенсации суммарных потерь  $L = n \cdot K_{ном}$ . Однако, нерациональное увеличение числа магистральных усилителей приводит к неоправданно завышенным финансовым затратам. Какова же оптимальная величина коэффициента передачи усилителя?

Математический анализ показывает, что максимальное значение  $S/N_{вых}$  наблюдается при  $K_{ном} = 1$  неп = 8,69 dB. Хотя использование таких "золотых" усилителей и позволяет реализовать максимальную протяженность магистралей (или реализовать максимально возможную величину  $S/N_{вых}$  при заданных потерях  $L$ ), но явно экономически нецелесообразно.

Опыт расчета и построения большого числа средних и крупных СКТ показывает, что для сохранения по магистрали  $S/N_{вых} = 44-50$  dB при СТВ = 60-66 dB и  $F = 6-8$  dB, усилитель должен обладать оптимальным коэффициентом передачи (с экономической точки зрения) порядка 28-38 dB. Если же к магистрали предъявля-

ются жесткие требования по поддержанию  $S/N$ , то коэффициент передачи усилителя не должен превышать 24-27 dB.

**Регулировка коэффициента передачи** (level control) усилителя осуществляется с целью поддержания его расчетного выходного уровня, от которого зависят нежелательные интермодуляционные искажения. С точки зрения минимизации нелинейных искажений аттенуатор (именно он является регулятором коэффициента передачи усилителя) устанавливается на входе усилителя. С точки зрения практической эксплуатации отметим, что даже незначительное введение ослабления аттенуатора (2...4 dB) приводит к улучшению коэффициента возвратных потерь, однако вызывает увеличение эквивалентного коэффициента шума усилителя, снижение приведенного динамического диапазона и, как следствие - снижение конечного отношения сигнал/шум по магистрали  $S/N_{\Sigma}$ .

В силу этого вполне достаточно иметь входной переменный аттенуатор с глубиной регулирования 0...10 dB. Для увеличения диапазона изменения коэффициента передачи усилителя желательно, чтобы в его межкаскадные цепи вставлялся фиксированный коммутируемый (сменный) аттенуатор, с величиной ослабления не более 6-9 dB. Как правило, величина изменения коэффициента шума усилителя при введении межкаскадного аттенуатора в его паспортных параметрах не приводится. Можно принять, что коэффициент шума усилителя увеличивается на 10% относительно вводимого ослабления (зависит от коэффициента передачи входной части усилителя до аттенуатора).

**Коэффициент усиления реверсного канала** в силу меньших потерь в магистральном кабеле и разветвителях TV сигналов на низких частотах, обычно имеет меньшую величину в сравнении с коэффициентом усиления прямого канала. Опыт проектирования довольно крупных HFC СКТ (более 10 тыс. абонентов) показывает, что достаточным является коэффициент усиления порядка 20... 23 dB.

**Неравномерность АЧХ** (frequency response, flatness) усилителя также относится к его основным характеристикам. Усилители одной модели обладают высокой воспроизводимостью формы АЧХ, вследствие чего при каскадировании усилителей их неравномерности суммируются. Суммарная неравномерность по магистрали увеличивается также за счет накладываемой неравномерности используемых разветвителей TV сигналов. Опыт построения СКТ показывает, что для ответственных магистралей неравномерность АЧХ усилителя не должна превышать  $\pm 0,5$  dB, для традиционных магистралей и субмагистралей  $\pm 1,0$  dB и для домашних (стояковых) усилителей – не более  $\pm 1,5$  dB. При построении FTTH/FTTB сетей неравномерность АЧХ играет очень малое значение.

Отметим также, что если на усилитель заявлено соответствие CENELEC EN50083-3, то это автоматически указывает, что его канальная неравномерность не превышает  $\pm 0,2$  dB/0,5 МГц и  $\pm 0,5$  dB/7 МГц (от пика к пику).

**Эквалайзер** (Equalizer) также как и аттенуатор, устанавливается на входе усилителя и является взаимным пассивным линейным устройством, предназначенным для компенсации амплитудно-частотных или частотно-фазовых искажений, получаемых за счет коаксиальных кабелей. Эквалайзер должен обладать зеркальной формой АЧХ по отношению к частотно зависимому затуханию кабеля (рис.8) при нулевых потерях в верхней точке рабочего диапазона частот. Как и аттенуаторы, эквалайзеры подразделяются на фиксированные (сменный подбор) и переменные (удобство эксплуатации).

Важным параметром любого эквалайзера является точность его сопряжения с частотно зависимым затуханием кабеля. Заявляемая малая неравномерность АЧХ усилителя будет бессмысленна при плохом сопряжении. К сожалению, большинство фирм-производителей не заявляют численных значений на этот важный параметр. Стандартом EN 50083-3 рекомендовано (но не обязывает к исполнению) указывать тип кабеля, под который рекомендован эквалайзер.

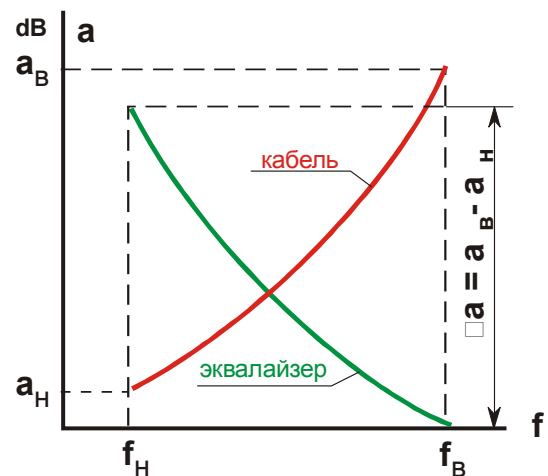


Рис.8

Практически во всех последних моделях магистральных усилителей (а и иногда и в домашних) стали использовать фиксированное межкаскадное предварительное эквалайзирование (preequalize, pre-emphasis), предназначенное для следующей за усилителем магистрали. Такое удобное техническое решение позволяет повысить энергетический потенциал усилителя за счет снижения уровней низкочастотных транслируемых сигналов, подаваемых на вход оконечного каскада. Энергетический выигрыш, реализуемый за счет такого предварительного эквалайзирования (42 канала, частотное заполнение по CENELEC, полный диапазон 47-862 МГц) для различных значений ослабления приставлен в табл.1.

Таблица 1

Глубина эквалайзирования, dB	3	6	9	12	15	18
Энергетический выигрыш, $\Delta U_{\text{вых}}$ , dB	1,1	2,0	2,9	3,6	4,3	4,9

При этом можно принять, что коэффициент шума усилителя на низкочастотных каналах увеличивается на 10% относительно вводимого эквалайзирования.

**Коэффициент возвратных потерь** (return loss) R является важным параметром усилителя, т. к. он в основном работает на протяженных участках магистралей (свыше 50 метров). По своей физической сущности коэффициент возвратных потерь является коэффициентом отражения  $|\Gamma|$ , выраженным в децибелах:

$$R_{[\text{dB}]} = 20 \lg |\Gamma|^{-1} = , \quad 0 \leq |\Gamma| \leq 1 . \quad (7)$$

Лучшим согласованием обладают усилители, характеризующиеся большим численным значением коэффициента возвратных потерь, выраженным в децибелах. В табл.2 представлены требуемые значения коэффициента возвратных потерь R, регламентированные CENELEC EN50083-3 на усилительные устройства.

Таблица 2

Категория	Частотный диапазон, МГц	Коэффициент возвратных потерь R, dB
A	5-40	$\geq 22$
	40-1750	$> 22 - 1,5/\text{октава}$ , но не менее 14
	1750-3000	14, линейное уменьшение до 10
B	5-40	$\geq 18$
	40-1750	$\geq 18 - 1,5/\text{октава}$ , но не менее 10
	1750-3000	10, линейное уменьшение до 6
C	5-40	$\geq 14$
	40-1750	$\geq 14 - 1,5/\text{октава}$ , но не менее 10
	1750-3000	10, линейное уменьшение до 6
D	5-1750	$\geq 10$
	1750-3000	10, линейное уменьшение до 6

**Тестовые точки** (measure point) предназначены для оперативного контроля входных и/или выходных сигналов и должны обладать характеристическим сопротивлением 75 Ом. Нагружаемый измерительный прибор не должен оказывать влияния на качество или уровень транслируемых сигналов. Коэффициент возвратных потерь должен соответствовать табл.2 и должен публиковаться. Должны публиковаться также величина ослабления, погрешность ослабления и неравномерность АЧХ тестовых точек. Иных требований к тестовым точкам не предъявляется. На практике используют как направленные, так и ненаправленные тестовые точки.

**Неравенство задержки яркость/цветность** (chrominance/luminance delay inequality, group delay) является обязательным требованием Стандарта EN50083-3. Должен публиковаться наихудший случай неравенства задержки (выражается в наносекундах) между сигналами яркости и цветности в произвольном телевизионном канале систем PAL/SECAM. Данный вид измерения также является довольно трудоемким и дорогостоящим, вследствие чего публикуется далеко не всеми фирмами-производителями.

**Автоматическая регулировка усиления - АРУ** (automatic gain) используется исключительно в магистральных усилителях с классом не ниже категории В. Желательно, чтобы использовались две частоты пилот сигналов (в верхнем и среднем участках диапазона рабочих частот). Динамический диапазон в данном случае определяется как возможные изменения входного уровня, которые могут быть скомпенсированы усилителями в диапазоне рабочих частот. Должна приводиться максимальная величина возможного изменения выходного уровня, обязанная соответствующему изменению входного уровня во всем требуемом диапазоне рабочих температур.

Наличие системы АРУ повышает стоимость усилителя при одновременном некотором снижении его основных эксплуатационных параметров. Применительно к российским условиям (широкий диапазон перепада температур, воздушные способы прокладки кабелей, невысокая плотность застройки телекоммуникационных объектов, стремление подключить возможно большее число абонентов к одному оптическому приемнику, низкая стабильность сетевого питающего напряжения, использование дешевых усилителей и кабельных переходов с низкой стабильностью параметров и т.п.) использование систем АРУ является актуальным. При большом числе транслируемых каналов (свыше 20) использование пилот-сигналов не целесообразно. В этом случае используют более дешевую АРУ, работающую по групповому (суммарному) сигналу.

**Питающее напряжение** (power supply) подразделяют на местное (local) или дистанционное (remote). На усилитель должны публиковаться:

❖ Среднеквадратичное значение (RMS) питающего напряжения и его частота. Согласно EN50083-1 это 230 В +6/-10% частот 50-60 Гц местного питания и 20...65 В/50-60 Гц дистанционного питания. Некоторые фирмы-производители заявляют расширенный диапазон питающих напряжений, например, от 165 В до 250 В.

❖ Мощность потребления (power consumption) полностью укомплектованного усилителя и каждого активного модуля в отдельности. Для усилителей с дистанционным питанием этот параметр является важным, так как при значительной токовой нагрузке требуется большое количество источников дистанционного питания (ИДП) средней мощности (а они совершенно бесцельны без резервного аккумуляторного блока бесперебойного питания) или дорогостоящих мощных ИДП (например, с током питания до 15А), применение которых влечет за собой также использование и мощных разветвителей TV сигналов, способных пропускать ток транзита до 8-10 А. Именно в силу этих причин, применительно к российским регионам наиболее логично обеспечивать дистанционным питанием только магистральные и субмагистральные усилители, сохраняя местное питание для большинства домовых (стояковых) усилителей.

❖ Ток потребления (current consumption) как от местного, так и от дистанционного источника питания всеми входящими активными модулями и усилителями в целом. Для усилителей с дистанционным питанием должна приводиться таблица или график зависимости тока потребления в зависимости от приложенного напряжения.

❖ Максимальный ток транзита (вход-выход). При этом следует обратить внимание на ряд обстоятельств:

а) приводимый уровень фоновой модуляции (hum modulation) согласно EN50083-7 накапливаться по магистрали по закону второй степени (аналогично СТБ). Причем, меньшему току транзита соответствует меньший уровень фоновой модуляции;

б) уважающая себя фирма-производитель не использует F-коннекторы при транзитном токе свыше 2 А;

в) в некоторых типах усилителей предусмотрены специальные клеммы для подключения ИДП, что создает определенные удобства и исключает нежелательное дополнительное использование инжектора питания;

г) в некоторых типах усилителей предусматривается возможность коммутации тока транзита по любым направлениям (вход, выход, полная изоляция) за счет изменения положения плавких предохранителей, что исключает необходимость использования дополнительных гальванических изоляторов.

**Диапазон рабочих температур** (ambient temperature, temperature range) также играет важную роль при эксплуатации в российских условиях. Дело в том, что большинство оборудования разрабатывается под условия эксплуатации в Центральной Европе, для которой Стандартом EN 50083 оговорен температурный диапазон – 20...+55°C. Некоторые изготовители расширяют температурный диапазон функционирования на свое оборудование до -40°C. Расположение магистральных и субмагистральных усилителей на чердаках и в подвалах позволяет в значительной степени снизить требования по температурному интервалу.

**Среднее время наработки на отказ** (Mean operating Time Between Failure – MTBF) на большинство видов поставляемого оборудования не публикуется, так как методика испытаний согласно EN 50083 находится в стадии обсуждения. По существу, это параметр надежности усилителя, которая в значительной степени зависит от принятых схемно-технических решений, конструктива, типа используемой элементной базы и, особенно, от качества сборки. Надежность и качество – весьма близкие понятия. Сюда следует приобщить ряд конструктивно-эксплуатационных параметров:

◇ **Класс защиты корпуса** (protection class) играет принципиальную роль при использовании усилителя во внешних условиях. Рекомендуется, чтобы корпус усилителя соответствовал классу защиты не ниже IP64.

◇ **Габариты** (dimensions) и масса (weight) могут играть важную роль только в частных случаях (например, при установке усилителей в электрощитовых).

◇ **Качество защитного токопроводящего покрытия** корпуса в местах подключения ВЧ разъемов.

◇ **Удобство крепления**, снятие крышки, доступа к тестовым точкам, переустановке съемных модулей, органам регулировки, наличие клеммы заземления и т.п.

◇ **Число выходов** (number of outputs) более одного (обычно не более 3-х) при наличии сменных выходных модулей (сплиттеры или направленные ответвители) позволяет в ряде случаев отказаться от использования дополнительного магистрального разветвителя TV сигналов. Некоторые типы дистрибутивных усилителей имеют в своем составе два независимых развязанных выхода (два выходных усилителя с раздельной регулировкой усиления и эквалайзирования), по каждому из которых могут дополнительно устанавливаться сменные выходные модули. Как правило, такие усилители являются дорогостоящими.

◇ Надежность установки сменных модулей как в части возможного механического, так и (что особенно важно) в части долговременной стабильности электрического контакта.

◇ Исключение возможности случайного соприкосновения с высоковольтными цепями при снятии крышки, защита от перегрузки, импульсных помех и случайного короткого замыкания.

◇ Устойчивость усилителя. Данный критерий косвенным образом можно оценить путем наблюдения формы АЧХ при: съеме и установке крышки корпуса, изменении положения входного и выходного кабелей (особенно при их приближении), подсоединении кабеля по входу и выходу произвольной длины, нагреве и охлаждении усилителя, изменении питающего напряжения, соприкосновении рук к любым частям усилителя (особенно с ВЧ входным и выходным разъемами), изменении его угломестного положения относительно массивных металлических предметов (например, батареи отопления) и т.п. При проведении всех этих манипуляций форма АЧХ усилителя должна оставаться стабильной. При этом все органы регулирования должны быть выведены в нулевое положение (наихудший случай с точки зрения обеспечения устойчивости).

Достоверность приводимой информации под силу поверить только специалисту при наличии довольно большого дорогостоящего парка измерительных приборов или по совокупности заявляемых параметров (с соответствующим их пересчетом). Из опыта измерений большого числа усилителей от разных фирм-производителей можно сказать, что около 60-80% компаний явно завышают реальный максимальный уровень выходного сигнала (самый дорогостоящий параметр). Если вы не уверены в данной компании – вычтите 3 дБ из заявляемого значения и получите наиболее достоверное значение. Такая практика выбора усилителей многократно оправдала себя при проектировании СКТ.

Радиогерметичность (screening effectiveness) корпуса согласно EN 50083-2 должна быть не хуже 75 dB для усилителей класса А и не хуже 65 dB для усилителей класса В в диапазоне частот до 1000 МГц.

Система менеджмента (NEM - Network Element Manager) используется с целью дистанционного контроля входных/выходных параметров магистрально усилителя. Такая возможность предусматривается в некоторых усилителях класса А. Запрашиваемая информация в цифровом виде по реверсному каналу поступает на ГС, к которой дистанционно подключен компьютер мониторинга/менеджмента. Такое удобство стоит не дешево, в связи с чем на практике получило ограниченное использование. Лучшим «датчиком» неисправности являются сами звонящие абоненты. При внедрении же интерактивных услуг, отличными датчиками неисправности сети являются сами кабельные модемы (СМ).

Стоимость усилителя является тем самым камнем преткновения, о который разбиваются все выше приведенные рекомендации по выбору усилителя.

Кратко сформулируем основные рекомендации во выборе усилителя с учетом его стоимости:

□ Перед выбором усилителя посоветуйтесь с оператором или специалистом со стажем. Сконцентрируйте свое внимание на “тонких” моментах построения СКТ.

□ Сделайте эскизный проект одной из магистралей на 2-3 видах выбранного Вами оборудования и проведите детальный анализ предполагаемых затрат и качества транслируемых сигналов. При этом желательно добавить две колонки по стоимости монтажных работ и дальнейшему обслуживанию сети.

□ Доверяйте выполнить проект только зарекомендовавшей себя организации. Нежелательно доверять выполнение рабочего проекта единой СКТ различным организациям по направлениям (например, оптическое оборудование и ГС, оптическая сеть, магистральное и домовое оборудование). Можно поручить выполнение эскизного проектирования, но рабочий проект в целом должен быть выполнен одной организацией.

□ Если имеется возможность, приобретите по одному экземпляру однотипного оборудования различных фирм, проведите их детальный лабораторный анализ (по мере возможностей) и установите в одну из законченных магистралей (можно и в пределах лаборатории). Опыт их ввода в эксплуатацию подскажет правильный выбор оборудования.

□ Для ориентировочной оценки экономической эффективности при выборе того или иного типа усилителя можно воспользоваться известной формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{эф}} = v_1 \cdot \lg(a_{11}/a_{21}) + v_2 \cdot \lg(a_{12}/a_{22}) + v_3 \cdot \lg(a_{13}/a_{23}) + \dots + v_i \cdot \lg(a_{1i}/a_{2i}), \quad (8)$$

где:  $v_1, v_2, \dots, v_i$  – весовые коэффициенты, учитывающие степень важности соответствующего  $i$ -го параметра (максимальный уровень выходного сигнала, коэффициент шума, надежность и т.п.);

$a_{1i}/a_{2i}$  – нормированная численная оценка  $i$ -го параметра (например, отношение двух оценок по 5-ти бальной шкале).

## **ВЫВОДЫ**

1. Наиболее важным и дорогостоящим параметром является максимальный уровень выходного сигнала. Вторым по значимости стоит приведенный динамический диапазон. Именно данный параметр определяет



максимальное число каскадно (последовательно) включенных усилителей, а, следовательно, и максимальную протяженность магистралей.

2. Рабочий выходной уровень усилителя всегда меньше максимального уровня выходного сигнала. Разница между ними зависит от числа транслируемых каналов и числа каскадно включенных усилителей.

3. Трансляция в СКТ большого числа каналов (аналоговых или цифровых) влечет за собой неизбежное использование более мощных усилителей с пониженным коэффициентом передачи (например, 30-34 дБ), что удорожает СКТ.

4. Частотный диапазон прямого канала можно использовать от 47 МГц (47-862 МГц), но расчет реверсного канала лучше сразу провести на полный диапазон 5-65 МГц. Это позволит в дальнейшем (при необходимости) произвести замену только частотных диплексеров, т.е. без перерасчета уровней сигналов в реверсном направлении.

5. Желательно, чтобы усилитель имел возможность межкаскадной установки фиксированных аттенуатора и эквалайзера. Установка межкаскадного аттенуатора вызывает увеличения коэффициента шума усилителя  $\approx$  на 10% относительно величины вводимого ослабления во всем рабочем диапазоне частот. Установка межкаскадного предварительного эквалайзера также приводит к увеличению коэффициента шума усилителя на ту же величину на низкочастотных каналах и не оказывает влияния на высокочастотные каналы.

6. Все домовые и магистральные усилители должны быть выполнены по схемам Push-Pull или Power Doubler. Предпочтение всегда следует отдавать схемам Power Doubler, как обладающим целым рядом достоинств.

7. Введение потерь на входе усилителя вызывает увеличение его эквивалентного коэффициента шума на величину вводимых потерь. Введение потерь на выходе усилителя (например, за счет установки выходного сплиттера для деления транслируемых сигналов на два направления) приводит к понижению максимального уровня выходного сигнала на величину вводимого ослабления. В том и в другом случае будет наблюдаться снижение динамического диапазона на величину вводимых потерь.

8. Суммарную неравномерность АЧХ усилителя целесообразно оценивать в совокупности с введением эквалайзера и конкретным типом магистрального кабеля. Собственная неравномерность АЧХ магистральных усилителей не должна превышать  $\pm 0,75$  дБ.

9. С экономической точки зрения коэффициент усиления должен быть оптимальным. Величина оптимального коэффициента передачи зависит от протяженности магистрали. Большей протяженности магистрали должен соответствовать меньший коэффициент передачи усилителя. Для типовых магистралей должны использоваться усилители не ниже класса В (согласно EN50083) с коэффициентом усиления 28-38 дБ. Для важных или очень протяженных магистралей должны использоваться усилители класса А с коэффициентом усиления 20-27 дБ.

10. Применительно к российским регионам желательно выбирать усилители с расширенным диапазоном питающих напряжений. Желательно, чтобы усилители удовлетворяли заданным требованиям климатических воздействий при их эксплуатации. Каждый третий усилитель в цепочке магистрали должен иметь в своем составе систему АРУ.

11. При оценке стоимости усилителя следует учитывать стоимость дополнительных аксессуаров (усилитель реверсного канала, частотные диплексеры, аттенуаторы, эквалайзеры и т.п.) с учетом дополнительных эксплуатационных качеств (надежность, мощность потребления, удобство инсталляции и обслуживания, конструктив, гарантийный срок эксплуатации и обслуживания, радиогерметичность, удобство коммутации дистанционного питания, наличие защиты от короткого замыкания, класс защиты корпуса, габариты, массу, число выходов, и т.п.).

12. Всегда желательно убедиться в достоверности предоставляемой информации, проконсультировавшись со специалистом (лучше со знакомым, проверенным на объективность суждения) в области усилительных устройств. При сомнениях в выборе усилительного оборудования той или иной модели (или фирмы) с учетом его стоимости, воспользуйтесь формулой экономической эффективности (8). Для неизвестных (или не апробированных) усилителей лучше зарезервироваться в расчетах и снизить заявляемый максимальный уровень выходного сигнала на 2-3 дБ.

Декабрь 2005г.