# Усилители для сетей кабельного телевидения

При построении КСКТП, оператор (разработчик) кабельных сетей оказывается в растерянности при выборе магистральных и домовых усилителей. При кажущемся равенстве (или близости по величине) заявляемых параметров, цена может отличаться в два и более раз. Поскольку действующий в настоящее время ГОСТ 28324-89 (Сети распределительные приемных систем телевидения и радиовещания) нормирует только требования к КСКТП в целом, а не на усилительные устройства, то в настоящее время практически все: и поставщики, и кабельные операторы ориентируются на европейский стандарт EN 50083, разработанный Европейским Комитетом по электротехнической стандартизации CENELEC. Несмотря на то что все основные требования, предъявляемые к усилительным устройствам, подробно изложены в одном из разделов этого стандарта - EN 50083-3, правильный выбор усилительного оборудования является одним из основных ключевых моментов при построении КСКТП.

Опыт построения КСКТП показывает, что все усилители можно условно разделить на три функциональные группы:

1. антенные (мачтовые) усилители;
2. магистральные (линейные) усилители;
3. дистрибутивные (домовые) усилители.

Если первая группа явно выделяется по своему функциональному назначению, то две последние порой трудно различимы, особенно при использовании в оптических системах на участке "последней мили". Такие усилители часто стали именовать универсальными.

В отличие от указанного Стандарта, рассмотрим не требования, предъявляемые к усилителям, а совокупность электрических и конструктивно-технологических характеристик с их комплексной экономической оценкой, на которые следует обращать основное внимание при выборе усилителя. Существует старинная, многократно оправдавшая себя поговорка: то, что дорого - то мило, то, что дешево - то гнило. Из чего же складывается цена усилителя? Постараемся разобраться в этом нелегком вопросе, предварительно осветив основные критерии выбора усилителей.

Рис.1

Рис.2

Максимальный уровень выходного сигнала Umax (max. output level) характеризует тот уровень сигнала на выходе усилителя, при котором нелинейные искажения (обычно второго и третьего порядков) меньше заданной величины (обычно - 60 dB по отношению к несущей изображения). При этом в зависимости от порядка нелинейных искажений или от числа транслируемых каналов величина Umax будет различной. Его измерение осуществляется методом двух несущих (рис.1). Плавно увеличивают уровень сигнала на входе усилителя, сформированного из двух немодулированных гармонических составляющих равной амплитуды, до появления интермодуляционных искажений (IMD - Inter Modulation Distortion), лежащих ниже основного сигнала на 60 dB. Комбинационные составляющие появляются на частотах fi =|nfa ± mfb|. 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 (они принимают значения 0, 1,2) определяет порядок искажений. Например, P2a = fb - fa, P2b = fa + fb, P3a = fb - 2fa (для 2fa < fb), P3a = 2fa - fb (для 2fa > fb), P3b = 2fb - fa и т.д. Важно отметить, что Umax2 (для IDM2 = - 60 dB) всегда меньше Umax3 (для IMD3 = - 60 dB) или IMD2 > IMD3 для фиксированного Uвых.

Для определения максимального уровня выходного сигнала при трансляции большого числа каналов согласно стандарту EN 50083-3 принято вести оценку интермодуляционных составляющих по композитным биениям второго - CSО (Composite Second Order) и третьего - СTB (Composite Tripple Beat) порядков. При этом установлено, что для усилителей с верхней частотой в 606 МГц испытания проводят при 29-ти каналах, а для усилителей с верхней частотой в 862 МГц - при 42-х каналах. Испытуемые каналы расставляются по утвержденной сетке частот, исключающей появление "чистых" каналов. Оценку CSO и CTB проводят по наихудшему каналу. Полезно заметить, что все интермодуляционные продукты располагаются или на частоте видеонесущей поражаемого канала (третий порядок), или отстоят от нее на расстоянии ±0,25 МГц (второй порядок), или на расстоянии ±0,5 МГц (третий порядок). Данное обстоятельство облегчает их поиск на экране анализатора спектра или селективным микровольтметром при оценке помеховой обстановки.

Максимальный уровень выходного сигнала Umax является самым дорогостоящим параметром усилителя в прямом и переносном смысле этого слова. Для получения значительных величин Umax необходимы дорогие мощные СВЧ транзисторы, устанавливаемые в гибридные микросборки. Важно заметить, что измерения CSO и СТВ относятся к весьма дорогим и трудоемким процессам. Не каждая фирма-производитель, даже специализирующаяся на выпуске усилителей, может позволить себе проведение таких испытаний (особенно в центре сертификационных испытаний). В паспорте должны приводиться уровни выходного сигнала (строго говоря, гарантированные, а не типовые), при которых CSO <= - 60 dB и СТВ <= - 60 dB, а не указываться фиксированные уровни, при которых наблюдаются те или иные значения CTB и CSO, как это делается некоторыми фирмами. Хотя следует признать, что такой отсчет проще при измерениях.

При трансляции N сигналов, выходной уровень усилителя Uвых должен быть снижен относительно Umax3 на величину DU1, легко получаемую из условия сохранения суммарной мощности сигнала, приходящейся на усилитель:

Uвых=Umax3-DU1=Umax3-10lg (N/2), dBmV (1)

Величина уменьшения уровня выходного сигнала в зависимости от числа транслируемых каналов представлена в табл.1. В силу этого при изучении технической документации на усилители следует обратить внимание на заявляемые значения Umax3 (IMD3 <= - 60 dB, два канала) и Umax для СТВ <=-60 dB (42 канала). Разница между ними должна составлять 13.14 dB. Если эта разница выше или ниже указанного значения, следует осторожно подходить к заявленным в документации параметрам.

Зависимость, аналогичная (1) для продуктов второго порядка может быть получена из эмпирического выражения:

Uвых=Umax2-DU1 (2) =Umax2- (3,5.4,3) lg (N/2), dBmV (2)

Результаты расчетов DU1 (2) в зависимости от числа транслируемых каналов N также представлены в табл.1.

Рис.3

Рис.4

Максимальный уровень выходного сигнала реверсного канала в той же степени характеризует энергетические возможности усилителя реверсного канала, как и прямого. Стандарт EN 50083-3 не регламентирует критерии измерения этого уровня (методика измерений в стадии обсуждения). Большинство фирм-производителей пользуются традиционным методом двух несущих. Желательно, чтобы выполнялось соотношение Umax3 >= 116.118 dBmV.

Схема выходного каскада играет важную роль в формировании свойств усилителя в целом. До недавнего времени в выходных каскадах в подавляющем большинстве использовались интегральные микросхемы. Широкополосное согласование в таких усилителях достигалось за счет схемотехнических ухищрений. Основное внимание разработчиков уделялось реализации минимального коэффициента отражения при малой неравномерности АЧХ. Увеличение выходного уровня достигалось за счет использования все более мощных СВЧ транзисторов.

Совершенство полупроводниковой технологии и появление миниатюрных сверхширокополосных ферритовых трансформаторов (на их базе строятся направленные 3 dB ответвители - НО) с малыми потерями позволили строить широкополосные усилители с выходным каскадом, собранным по балансной схеме и выполненным по гибридной технологии. По английской терминологии схемы таких усилителей именуются push-pull. Структурная система балансного каскада показана на рис.2 (выравнивание фазовых плеч учтено в конструкции НО и на схеме не отражено).

К основным достоинствам таких усилителей следует отнести:

* повышенный уровень выходной мощности (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 (при равенстве нагрузок на входных зажимах НО с произвольным значением иммитанса\* выходной импеданс равен сопротивлению балансной нагрузки);
* \*) Напомним читателям:
* импеданс (impedance) - полное сопротивление;
* адмитанс (admittance) - полная проводимость;
* иммитанс (immitance) - полное сопротивление или полная проводимость.
* коэффициент шума балансного усилителя близок (в идеальном случае равен) коэффициенту шума одиночного каскада;

кабельное телевидение усилитель сеть

* независимость настроек входной цепи с точки зрения минимизации коэффициента шума и максимизации коэффициента усиления. В общем случае минимальный коэффициент шума реализуется при иммитансе генератора, при котором не наблюдается максимизация коэффициента усиления. В этом случае входной коэффициент отражения |Гвх| <> 0. Иными словами, в балансном усилителе возможна реализация минимального коэффициента шума при идеальном согласовании;
* незначительный перекос АЧХ при климатических воздействиях (нулевой при равенстве температурных изменений иммитансов выходных транзисторов);
* повышенную надежность. Так, при выходе из строя одного из усилителей, сохраняется работоспособность усилителя с понижением коэффициента передачи на 6 dB;
* простоту реализации малой неравномерности АЧХ за счет использования простейших диссипативных выравнивающих цепей. Монотонность АЧХ существенно упрощает ее коррекцию путем использования частотных эквалайзеров.

Столь высокие преимущества усилителей, построенных по балансной схеме, и снижение цены на выходные микросхемы (в основном, от фирм Philips и NEC) за счет увеличения объема их выпуска, привели к массовому переходу практически всех фирм на производство усилителей такого типа. Типовой максимальный уровень выходного сигнала таких усилителей составляет 119-121 dBmV (IMD3 <= - 60 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 121.123 dBmV (IMD3 <= - 60 dB).

Выходные каскады усилителей собираются с использованием гибридной технологии, при которой большинство пассивных компонентов выполняется методом тонкопленочной технологии, а дискретные активные приборы и ферритовые НО непосредственно устанавливаются на керамическую подложку.

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). Примером могут служить новые усилители GPV851, LA86-3D (Hirschmann) и U8xx-F8-36Y (Vector), обладающие Umax3 = 124,5 dBmV.

|  |
| --- |
| ТАБЛИЦА 1 |
| Число транслируемых каналов | DU1 (3), dB | DU1 (2), dB |
| 1 | -3,0 | -1,1 |
| 2 | 0 | 0 |
| 3 | 1,8 | 0,7 |
| 4 | 3,0 | 1,1 |
| 5 | 4,0 | 1,5 |
| 6 | 4,8 | 1,8 |
| 7 | 5,5 | 2,1 |
| 8 | 6,0 | 2,3 |
| 10 | 7,0 | 2,7 |
| 12 | 8,0 | 3,0 |
| 16 | 9,0 | 3,4 |
| 20 | 10,0 | 3,8 |
| 24 | 11,0 | 4,1 |
| 40 | 13,0 | 4,9 |
| 50 | 14,0 | 5,3 |
| 60 | 15,0 | 5,6 |

Рис.5 Рис.6

Частотный диапазон прямого канала определяется полосой пропускания активных элементов усилителя - транзисторов. Старые отечественные усилители серии УМ имеют верхнюю частоту 240 МГц и пригодны только для сетей с числом транслируемых аналоговых каналов не более 12-16 при условии использования головной станции (ГС), позволяющей работать в соседних (смежных) каналах.

Однако все возрастающие потребности населения в развлеениях и получении информации привели к тому, что в Европе за последние 10 лет число транслируемых каналов возросло до нескольких десятков. Все это потребовало существенного увеличения пропускной способности кабельных сетей и, в первую очередь полосы пропускания усилителей, которая в Европе, а теперь уже и во многих городах России, в настоящее время составляет 47-862 МГц. КСКТП, построенные на таких усилителях, позволяют транслировать 50-70 каналов, что с учетом цифрового уплотнения (например, путем использования стандарта MPEG-2) эквивалентно передаче свыше 200 TV программ. Такие КСКТП обладают минимальной стоимостью в пересчете на канал, однако они дороже старых сетей в пересчете на одного абонента, так как, во-первых, применение более мощных и широкополосных современных усилителей повышает общую стоимость оборудования, во-вторых, расширение полосы приводит к сокращению длины регенерационных участков и, следовательно, к увеличению числа усилителей при той же длине магистрали. В табл.2 представлены ориентировочные значения максимально возможного числа транслируемых каналов. Разумеется, что приведенные значения уточняются в каждом конкретном случае после определения частотного плана конвертации.

|  |
| --- |
| ТАБЛИЦА 2 |
| Число транслируемых каналов |
| Вид трансляции | 4>Верхняя частота полосы пропускания магистрального усилителя, МГц |  |  |  |
|   | 240 | 450 | 606 | 862 |
| аналоговые каналы | 12-16 | 24-32 | 28-42 | 50-70 |
| цифровые каналы | 2-3 | 5-8 | 10-14 | 20-30 |
| всего программ | 18-22 | 30-45 | 50-80 | 100-180 |

Частотный диапазон реверсного канала. При трансляции сигналов в прямом направлении (downstream - нисходящий поток), нижняя частотная точка диапазона соответствует 47 МГц (частота первого телевизионного канала европейского стандарта CCIR). При этом участок диапазона 0-47 МГц оказался невостребованным. Именно наличие этого неиспользованного участка навело на мысль о создании наложенных интерактивных систем передачи информации. Полосу частот от 0 до начала диапазона ВI было предложено использовать для передачи сигналов в обратном направлении от абонента к ГС. Такой канал получил наименование реверсного (reverse channel) или обратного (return channel) канала. Частотное разделение прямого и реверсного каналов осуществляется путем включения частотных диплексеров на входе и выходе усилителей (рис.3). Конструктивно диплексер представляет собой звездообразно включенные фильтр верхних частот (ФВЧ или HP - High Pass) и фильтр нижних частот (ФНЧ или LP - Low Pass). Иногда вместо усилителя реверсного канала включают перемычку. Такой канал именуют пассивным (passive). Его коэффициент передачи обычно не хуже - 1,0. - 1,5 dB (удвоенные потери частотного диплексера на нижних частотах).

До недавнего времени верхняя граница реверсного канала определялась низкочастотной точкой спектра первого TV канала, т.е.47 МГц. Однако, с развитием интегрированных сетей потребности пользователей возрастали (в первую очередь, за счет высокоскоростного доступа в Internet и цифровой телефонии), и, соответственно, возникла необходимость в расширении полосы реверсного канала. Именно поэтому фирмы-производители перешли к производству усилителей с различной шириной полосы прямого и реверсного каналов.

В различных кабельных сетях может потребоваться различная полоса реверсного канала. Для удобства изменения частотного диапазона реверсного канала желательно, чтобы усилитель имел модульную конструкцию. Такая конструкция усилителя при модернизации КСКТП позволяет легко заменить частотные диплексеры (а не весь модуль реверсного канала) в зависимости от требуемой ширины диапазона реверсного канала без существенных затрат. Подобное решение использовано, например, в линейно/распределительных усилителях фирм Hirschmann, Vector, Arcodan и др.

В реверсном канале наиболее подверженной воздействию внешних электромагнитных наводок оказывается низкочастотная область (5-12 МГц). Уровни внешних наводок сравнимы с входными уровнями транслируемых сигналов, что часто на практике (особенно в крупных индустриально развитых городах) приводит к значительному снижению транслируемого отношения сигнал/помеха (S/D) на выходе усилителя реверсного канала.

Требования к ширине полосы реверсного канала снижаются, если высокоскоростные магистральные линии передачи строятся на основе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), как это делается в крупных КСКТП (а интерактивный сервис экономически целесообразно внедрять только в крупных КСКТП). Особенностью таких систем является то обстоятельство, что сигналы реверсного канала от оптического приемника в направлении к ГС передаются по отдельной оптической жиле. Это позволяет использовать реверсный канал с информационной полосой любой ширины. Именно по данной причине все вновь выпускаемые оптические системы предусматривают диапазон реверсного канала не менее 4-200 МГц. В непосредственной близости от оптического приемника (входящего в состав местной ГС) располагают цифровые коммутаторы, серверы и блоки частотно/временного уплотнения цифровых сигналов. Применение конверторов реверсного канала, входящих в состав профессиональных ГС (например, CSE7500, Hirschmann), позволяет на участке "последней мили" (т.е. в коаксиальных цепях) использовать усилители с частотным диапазоном реверсного канала не более 5-30.50 МГц (см. рис.4).

Рис.7 Рис.8

Диплексерная развязка (Decoupling between Forward/Return channel), т.е. уровень развязки между прямым и обратным каналами. Этот параметр редко приводится в паспортных данных на усилители. Тем не менее он является одним из важнейших при внедрении услуг интерактивного сервиса. Уровень развязки определяется избирательностью ФНЧ и ФВЧ.

Требуемая величина избирательности ФНЧ (см. рис.5) объясняется простым условием обеспечения устойчивости (в первую очередь усилителя реверсного канала), т.к. усилитель прямого канала по отношению к реверсному является петлей положительной обратной связи. Достаточно выполнения традиционных условий баланса фаз и баланса амплитуд, чтобы усилитель возбудился. Так как коэффициент передачи усилителя обычно не превышает 40.45 dB, достаточно избирательности ФНЧ величиной 20.25 dB.

Совершенно по-иному стоит вопрос с избирательностью ФВЧ. Основное его назначение - препятствовать проникновению продуктов интермодуляции 2-го и 3-го порядков с выхода усилителя прямого канала на вход усилителя реверсного канала. Так как шаг частотной сетки составляет 8 МГц (OIRT), то комбинационные помехи будут группироваться вблизи частот 8, 16, 24. ±0,5 МГц.

Приняв, для определенности, Uвых = 105 dBmV (см. рис.6), IMD = 60 dB и избирательность ФВЧ a = 25 dB, получим, что уровень помехи, развиваемой на входе усилителя реверсного канала, составит 20 dBmV, что эквивалентно формированию отношения сигнал/помеха S/D = 50 dB при входном уровне сигнала реверсного канала Uвх = 70 dBmV. При трансляции сигналов в цифровых форматах, чувствительных к воздействию синхронных помех (с учетом их накопления по магистрали), такое отношение S/D является недопустимым.

Учитывая накопленный опыт внедрения услуг интерактивного сервиса, ряд крупных фирм-производителей магистрального оборудования, таких как Hirschmann, Philips, Arcodan и др., используют частотные диплексеры с избирательностью не менее 40 dB (например, серии GPV., LA/DA, Hirschmann; 93188 Arcodan), а в последних моделях (GLV., GPV851, GPV841) - с гарантированной (приводимой в паспортных параметрах) избирательностью не менее 63 dB! (с указанием также времени задержки в полосе канала).

|  |
| --- |
| ТАБЛИЦА 3 |
| F, dB | Тш, К0 | Рш, pW | Uш, dBmV |
| 1 | 75,87 | 0,006 | -3,47 |
| 2 | 171,4 | 0,014 | 0,066 |
| 3 | 291,6 | 0,023 | 2,37 |
| 4 | 443,0 | 0,035 | 4, 19 |
| 6 | 873,5 | 0,069 | 7,14 |
| 8 | 1556 | 0,123 | 9,65 |
| 10 | 2637 | 0, 208 | 11,94 |
| 14 | 7067 | 0,558 | 16,22 |
| 19 | 22980 | 1,82 | 21,34 |

Рис.9 Рис.10

Коэффициент шума (noise factor, noise figure) характеризует уровень собственных шумов усилителя.

Согласно определению EN50083-3, коэффициент шума - это отношение несущая/шум на входе (C1/N1) к несущая/шум на выходе (C2/N2) усилителя (любого активного прибора), принимая, что изменение несущей не зависит от шумовой мощности (т.е. отсутствуют нелинейные искажения):

F = (C1/N1) / (C2/N2) (3)

Другими словами, коэффициентом шума (или фактором шума) является отношение мощности шума на выходе реального усилителя Pш. р (активного прибора) к мощности шума в той же точке Pш. и, если бы использовался идеальный (не добавляющий собственной шумовой мощности) усилитель:

F=Pш. р/Pш. и. (4)

Коэффициент шума является безразмерной величиной и часто выражается в децибелах:

F [db] =10lgF (5)

Из самого определения 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.

Иногда на практике пользуются понятием шумовой температуры (особенно при малых значениях коэффициента шума):

Tш=T0 (F-1), (6)

где Т0 = 2930К - нормальная шумовая температура.

Например, паспортное значение шумовой температуры малошумящего конвертора фирмы Gardiner величиной 170К эквивалентно его коэффициенту шума F = 0,24 dB.

Через известную величину коэффициента шума усилителя (обязательно приводимую в паспорте согласно EN50083-3) находится шумовая мощность и шумовое напряжение, развиваемые на входе усилителя в полосе пропускания П: Pш=kПТш=kПТ0 (F-1);

Uш= (kПТ0R0 (F-1)) 1/2 (7)

Uш [db] =20lgUш,

где k = 1,38 х10-23 - постоянная Больцмана. Собственная шумовая мощность Рш усилителя (развиваемая на его входе) не зависит от его коэффициента передачи, а определяется только его коэффициентом шума F и полосой пропускания П. В табл.3 приведены зависимости численных значений упомянутых величин (Тш, Рш, Uш) от коэффициента шума усилителя для последующих расчетов отношения несущая/шум при трансляции TV сигналов в системе цветности SECAM (П = 5,75 МГц). Для системы PAL (П = 4,75 МГц) величина шумового напряжения должна быть снижена на 0,83 dB. При проведении расчетов следует помнить правило, что на входе усилителя суммируются входная Рш. вх и собственная Рш шумовые мощности (а также шумовые температуры), но не шумовые напряжения.

Если на входе усилителя установлено пассивное устройство с потерями L (например, аттенюатор, эквалайзер, кабель и т.п.), то эквивалентный коэффициент шума FS, выраженный в децибелах, будет равен сумме коэффициента шума усилителя F и потерь L, выраженных в децибелах, т.е. FS = F + L (рис.7).

Полезно помнить широко используемую формулу Фриза, позволяющую вычислить суммарный коэффициент шума каскадно включенных активных устройств (рис.8):

FS=F1+ (F2-1) /Kном1 + (F3-1) /Kном1Kном2 +. (Fn-1) /Kном1. Kном (n-1)

Формула (8) наглядно показывает, что наибольший вклад в суммарный коэффициент шума вносит первый усилитель (каскад) при условии, что его номинальный коэффициент усиления (с учетом потерь между ним и последующим усилителем) Кном1"1. В силу этого достаточным коэффициентом усиления мачтового усилителя является величина 15.25 dB.

Усилители в кабельных сетях устанавливаются с целью компенсации потерь по магистралям, т.е. коэффициент усиления каждого из усилителей равен потерям от выхода предыдущего до его входа. Обратившись к формуле (8), можно заметить, что при использовании идентичных усилителей и равенстве потерь коэффициенту усиления, суммарный коэффициент шума цепочки из n усилителей запишется в виде:

FS=1+n (F-1), (9)

т.е. осуществляется накопление шумов (шумовой мощности) по магистрали. Физически это означает, что по магистрали с удалением от ГС наблюдается снижение отношения сигнал/шум (S/N) по мере увеличения числа каскадно включаемых усилителей.

|  |
| --- |
| ТАБЛИЦА 4 |
| Устройство | S/N, dB (варианты)  |
|   | 1 | 2 | 3 |
| ГС | 54 | 66 | 51 |
| УСn (5 шт.)  | 52,6 | 52,6 | 64,6 |
| УСс (1 шт.)  | 56,1 | 56,1 | 56,1 |
| S/Nвых, dB | 44,7 | 45,2 | 49,2 |

Рис.11 Рис.12

Приведенный динамический диапазон. Из анализа соотношений (6-9) становится ясно, что выходное отношение S/N усилителя зависит от трех факторов (см. рис.9): уровня входного сигнала Pc, входной шумовой мощности Pш. вх (совместно с сигналом характеризует входное отношение сигнал/шум S/Nвх) и собственной шумовой мощности усилителя Pш (зависящей от коэффициента шума усилителя).

Если на вход усилителя с коэффициентом шума F и коэффициентом усиления Кном от ВЧ генератора с сопротивлением R0 = 75 Ом подать TV сигнал с уровнем Uвх, то выходное отношение сигнал/шум будет определяться величиной:

S/N [db] =Uвых [dBmV] - Кном [dB] - F [dB] - 2,41 (10)

где 2,41 dBmV - уровень теплового шума, рассчитываемого из выражения:

Uш= (kT0ПR0) 1/2 (R0 = 75 Ом).

Так, например, при Uвых = 96 dBmV, Кном = 38 dB и F = 8 dB, на выходе формируется S/N = 47,59 dB. Формула (10) наглядно показывает, что для реализации возможно большего S/N необходимо выбирать усилители с возможно большим уровнем выходного сигнала при минимальном коэффициенте усиления и минимальном коэффициенте шума. Однако при этом необходимо учитывать, что при заданной длине магистрали применение усилителей с малым коэффициентом усиления приводит к увеличению их числа и, следовательно, удорожанию магистрального оборудования. Хотя качество транслируемых сигналов при этом повышается.

Величину S/N, определяемую по (10), часто именуют приведенным динамическим диапазоном. Этот параметр удобно использовать при выборе усилительного оборудования и расчете КСКТП.

С приведенным динамическим диапазоном связано такое важное явление, как накопление шумов. Другими словами: величина приведенного динамического диапазона характеризует количество шумов, вносимых активными устройствами, которые могут быть накоплены по магистрали. Накопление шумов в магистрали в основном обязано активным устройствам (усилителям). При использовании нескольких усилительных каскадов (ГС, магистраль, стояк), выходное отношение S/Nвых (рис.10) легко находится через известные значения приведенных динамических диапазонов каждого из активных устройств: S/Nвых [dB] =-10lg (10- (S/N) 1+10- (S/N) 2+.10- (S/N) n) (11)

При каскадировании n активных устройств (усилителей) с равными S/N, выходное отношение S/Nвых уменьшится на величину D = 10lgn. Для иллюстрации сказанного, в табл.4 приведены результаты расчета выходного отношения сигнал/шум для трех вариантов построения произвольной КСКТП (рис.10) - с ГС первого и второго классов, а также с оптическим приемником. В ветвях использованы усилители с различным приведенным динамическим диапазоном. Тепловыми шумами абонентских разветвителей TV сигналов в расчетах можно пренебречь (погрешность не превысит десятой доли децибела).

Анализ вариантов табл.4 убедительно показывает, сколь велика значимость приведенного динамического диапазона. Так, при варианте 2 в сравнении с вариантом 1, ГС второго класса с S/N = 54 dB заменена на профессиональную ГС с S/N = 66 dB. В результате выходное отношение S/N улучшилось всего на 0,5 dB. Вариант 3 демонстрирует использование типового оптического приемника с выходным отношением S/N = 51 dB с дальнейшим использованием магистральных усилителей с повышенным приведенным динамическим диапазоном при том же домовом усилителе. Выигрыш в выходном отношении S/Nвых очевиден. Это лишний раз свидетельствует, что самым дорогостоящим параметром является максимальный уровень выходного сигнала Umax3, через значение которого определяется рабочий выходной уровень сигнала:

Uвых. р. <=Umax3-10lg (N/2) - 10lgn (12)

Формула (11) является исходной для синтеза магистралей при известных значениях S/N, CTB и CSO ГС и домового усилителя (согласно EN 50083-7 СТВS на выходе абонентской розетки должна быть не хуже 57 dB).

На рис.11 показана зависимость минимально допустимого уровня выходного сигнала от числа последовательно включенных усилителей GPV840 (Hirschmann) при двух значениях коэффициента усиления (28 dB и 36 dB), фиксировано изменяемого путем исключения промежуточного (2-го) каскада усиления (с сохранением всех остальных эксплуатационных параметров). Графики построены с использованием формул (7), (9) и (11). Анализ этих графиков (рис.11) показывает, что при использовании усилителей GPV840 с коэффициентом усиления в 36 dB их максимальное число при каскадировании составляет 10. Это эквивалентно компенсации суммарных потерь величиной в 360 dB. При использовании того же усилителя с коэффициентом передачи в 28 dB, их максимальное число при каскадировании увеличивается до 25, что эквивалентно компенсации потерь величиной в 700 dB! При этом построение выполнено в предположении, что уровень интермодуляционных продуктов третьего порядка СТВ = 60 dB, т.е. оставлен малый запас на аналогичные искажения ГС, оптической системы и домового усилителя. При СТВ = 70 dB (пунктир на рис.11) nmax = 5 при Kном = 36 dB, что и рекомендовано фирмой-производителем.

Этот пример еще раз показывает важность таких параметров, как максимальный уровень выходного сигнала и коэффициент шума (в итоге эквивалентно приведенному динамическому диапазону).

Коэффициент усиления - это параметр, на который чаще всего обращает внимание начинающий оператор кабельных сетей, хотя значимость его не очень велика.

Как уже отмечалось, меньшему коэффициенту усиления соответствует большая величина приведенного динамического диапазона (10), меньшее накопление шумов по магистрали (11), большее потенциальное число каскадно включаемых усилителей n и, следовательно, большая величина компенсации суммарных потерь L = n x Kном. Однако нерациональное увеличение числа магистральных усилителей приводит к неоправданно завышенным финансовым затратам.

Какова же оптимальная величина коэффициента передачи усилителя (считается, что все усилители по магистрали идентичны) при известных потерях по магистрали L (легко рассчитываемых при заданной топологии КСКТП и выбранных типах разветвителей TV сигналов)? Постараемся ответить на этот вопрос. Для этого обратимся к формулам (10-12) с учетом, что выходной уровень каждого из магистральных усилителей должен быть дополнительно понижен на величину:

D= (CTBM-60) /2, (13)

где CTBM - заданный (рассчитанный на этапе эскизного проектирования) уровень продуктов интермодуляционных искажений третьего порядка по всей магистрали в целом. Формула (13) наглядно отражает тот факт, что снижение (увеличение) выходного уровня усилителя на 1 dB приводит к улучшению (ухудшению) уровня CTB на 2 dB.

Решив совместно (10-13) относительно конечной величины S/NS, получим:

S/NS=A-20lg (n) - K. (14)

Здесь:

A=Umax3-10lg (N/2) - (CTBM-60) /2-F-2,41 (15)

исходная справочная величина, вычисляемая на этапе эскизного проектирования. Учитывая, что потери по магистрали L компенсируются n числом усилителей, каждый из которых обладает номинальным коэффициентом передачи Kном:

L [dB] =nKном (16)

получим формулу по расчету S/N магистрали:

S/NS=A-20lg (L/Kном) - Кном. (17)

Анализ (17) на экстремум относительно Kном показывает, что максимальное значение S/Nmax наблюдается при Kном = 1 неп = 8,69 dB. Хотя использование таких "золотых" усилителей и позволяет реализовать максимальную протяженность магистралей (или реализовать максимально возможную величину S/Nmax при заданных потерях L), но экономически явно не целесообразно.

Уравнение (17) относительно оптимального коэффициента передачи усилителя, при котором наблюдается требуемая (т.е. минимально допустимая) величина S/Nтреб, в явном виде решения не имеет. Однако оно легко решается графически. Для примера на рис.12 представлена зависимость S/NS = f (n) при различных значениях потерь по магистрали L для усилителя c Umax3 = 124,5 dBmV и F = 7 dB при трансляции 32-х каналов с СТВк = 62 dB (например, GPV851, Hirschmann).

Дальнейший анализ показывает, что для сохранения по магистрали S/NS = 44-50 dB при СТВ = 60-66 dB и F = 6-8 dB усилитель должен обладать оптимальным, с экономической точки зрения, коэффициентом передачи порядка 28-38 dB. Если же к магистрали предъявляются жесткие требования по поддержанию S/N, это коэффициент передачи усилителя не должен превышать 20-27 dB (например, магистральные усилители серии LA86-4D, Hirschmann).

Необходимо также отметить, что некоторые фирмы-производители (например, FUBA, WISI, Германия) указывают технологический допуск на заявляемый номинальный коэффициент усиления. Другие, как, например, фирма Hirschmann, такой допуск не приводят, так как заявляемый коэффициент усиления указывается с учетом погрешности используемых измерений (т.е. не более 2,5% относительно заявляемой величины). Такие значения коэффициентов передачи можно непосредственно использовать при расчетах (без технологического запаса).