

Опыт и практика



Experience and Practice

РАБОЧИЙ ВЫХОДНОЙ УРОВЕНЬ УСИЛИТЕЛЕЙ В ШИРОКОПОЛОСНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СЕТЯХ (Часть 2. Системные расчеты)

Вниманию читателей предлагается продолжение материала, посвященного вопросам расчета оптимального выходного уровня усилителей, используемых в современных кабельных сетях коллективного телевизионного приема (КСКТП). Напомним, что в части 1 ("Т/С", №3, 2004г.) были рассмотрены основные виды канальных и диапазонных искажений, методы их измерений и расчетов.

Нелинейные искажения в КСКТП обусловлены рассмотренными выше факторами [1], но оцениваются и анализируются при многочастотном воздействии (более 2 каналов).

Для определения максимального уровня выходного сигнала при трансляции большого числа каналов, согласно [2, 3], принято вести оценку интермодуляционных составляющих по композиционным биениям второго — CSO (Composite Second Order) и третьего — CTB (Composite Triple Beat) порядков. При этом установлено, что для усилителей с верхней частотой в 606 МГц испытания проводят при 29 каналах, а для усилителей с верхней частотой в 862 МГц — при 42 каналах. Оценку CSO и CTB проводят по наилучшему каналу при регламентированной частотной расстановке каналов.

Расчет максимального выходного уровня усилителя $U_{\max, N}$ (CTB = 60 dB) для искажений третьего порядка при трансляции N каналов осуществляют по формуле:

$$U_{\max, N3} = U_{\max, 3} - 10 \lg(N/2). \quad (1)$$

Формула (1) показывает, что с увеличением числа каналов максимальный уровень выходного сигнала $U_{\max, N3}$ снижается (см. табл. 1) на величину $\Delta U_{1(3)}$. В силу этого, при изучении технической документации на выбираемый тип усилителя, следует обратить внимание на заявляемые значения $U_{\max, 3}$ (ИМАЗ = -60 dB, 2 канала) и $U_{\max, N3}$ (CTB = -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.

Аналогичная зависимость для продуктов второго порядка (CSO = -60 dB) может быть получена из эмпирического выражения:

$$U_{\max, N2} = U_{\max, 2} - (3,5...4,3) \lg(N/2). \quad (2)$$

Результаты расчетов снижения максимального выходного уровня $U_{\max, 2}$ на величину (для усредненного случая) при увеличении числа транслируемых каналов (CSO = -60 dB)¹⁾ приведены в табл. 1.

¹⁾ знак "-" указывает на физический смысл: интермодуляционные составляющие лежат ниже основного сигнала; и в целях упрощения математической символики в дальнейшем опускается

С.Н.Песков, гл. конструктор, зам. директора по науке ЗАО "В-Люкс", к.т.н.

При проведении практических расчетов с большим числом каналов ($N > 20$) значительно удобнее пользоваться непосредственно приводимыми паспортными значениями $U_{\max, N2}$ и $U_{\max, N3}$ (т. е. по критериям CSO = 60 dB и CTB = 60 dB):

$$U_{\max, N2} = U_{\max, CSO} + (3,5...4,3) \lg(42/N), \quad (3)$$

N	$DU_{1(2)}, \text{ dB}$	$DU_{1(3)}, \text{ dB}$
1	+3,0	+1,1
2	0	0
4	-3,0	-1,1
6	-4,8	-1,8
8	-6,0	-2,3
10	-7,0	-2,7
20	-10,0	-3,8
40	-13,0	-4,9
60	-14,8	-5,6
80	-16,0	-6,1

$$U_{\max, N3} = U_{\max, CTB} + 10 \lg(42/N), \quad (4)$$

Пример 1. Определить максимальный выходной уровень усилителя GPV 841 (Hirschmann) $U_{\max, N3}$ для 29 каналов при справочном значении $U_{\max, CTB} = 108 \text{ dBmV}$ (42 канала, CTB = 60 dB).

Решение. Воспользовавшись формулой (4), получим:

$$U_{\max, 29(3)} = 108 + 10 \lg(42/29) = 109 \text{ dB},$$

что сходится со справочным значением в 110 dBμV.

Искажения при произвольном выходном уровне усилителя. По полной аналогии с искажениями ИМАЗ и ИМАЗ (двухчастотный метод), при увеличении (уменьшении) выходного уровня сигнала усилителя на D dB, интермодуляционные составляющие 2-го порядка (CSO) повышаются (понижаются) также на D dB, а интермодуляционные составляющие 3-го порядка (ИМАЗ) повышаются (понижаются) на $2D$ dB, т.е.:

$$CSO = 60 + (U_{\max, CSO} - U_{\max, \text{вых}}), \quad (5)$$

$$CTB = 60 + 2(U_{\max, CTB} - U_{\max, \text{вых}}). \quad (6)$$

Пример 2. Определить значения CSO и CTB для усилителя GHV 835 (Hirschmann) со справочными параметрами: $U_{\max, CSO} = 104 \text{ dBmV}$ и $U_{\max, CTB} = 102 \text{ dBmV}$ (42 канала, CTB = CSO = 60 dB) при $U_{\max, \text{вых}} = 95 \text{ dBmV}$.

Решение. Используя формулы (5) и (6), получим:

$$CSO = 60 + (104 - 95) = 69 \text{ dB},$$

$$CTB = 60 + 2(102 - 95) = 74 \text{ dB}.$$

Общий случай. Таким образом, воспользовавшись формулами (3-6), получим выражения по расчету CSO и CTB для произвольного числа каналов при произвольном выходном рабочем уровне усилителя:

$$CSO = 60 + (U_{\max, CSO} - U_{\max, \text{вых}}) + 4,3 \lg(42/N), \quad (7)$$

$$CTB = 60 + 2[U_{\max, CTB} - U_{\max, \text{вых}} + 10 \lg(42/N)]. \quad (8)$$

Пример 3. Найти значения CSO и CTB для усилителя УСМ-

800-2737 "СтантартТелеком" с $U_{\max,CTB} = 114 \text{ dB}\mu\text{V}$ и $U_{\max,CSO} = 110 \text{ dB}\mu\text{V}$ (42 канала, $CTB = CSO = 60 \text{ dB}$, межканальное эквалайзирования в 9 dB) для трансляции 50 каналов при $U_{\text{вых}} = 105 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Решение. Подставляя численные значения в (7) и (8), получим:

$$CSO = 60 + 110 - 105 + 4,3\lg(42/50) = 64,7 \text{ dB},$$

$$CTB = 60 + 2[114 - 105 + 10\lg(42/50)] = 77,8 \text{ dB}.$$

Накопление искажений по магистрали (аналогично IMA2 и IMA3) осуществляется по формулам²:

$$CSO_{\Sigma} = -10\lg(10^{CSO1/10} + 10^{CSO2/10} + \dots + 10^{CSOj/10}), \quad (9)$$

$$CTB_{\Sigma} = -10\lg(10^{CTB1/20} + 10^{CTB2/20} + \dots + 10^{CTBj/20}), \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) показывают, что искажения 3 порядка (CTB) существенно быстрее накапливаются по магистралям, чем искажения 2 порядка (CSO). Для n каскадно включенных усилителей с равными значениями CTB и CSO суммарные искажения определяются по формулам:

$$CSO_{\Sigma} = CSO - 10\lg n, \quad (11)$$

$$CTB_{\Sigma} = CTB - 20\lg n. \quad (12)$$

Так, для 5 каскадно включенных усилителей (пример 3) $CSO_{\Sigma} = 57,7 \text{ dB}$ (снижение на 7 dB) и $CTB_{\Sigma} = 63,8 \text{ dB}$ (снижение на 14 dB).

Для большей иллюстративности накопления искажений приведем еще два практических примера.

Пример 4. Найти конечные значения CSO_{Σ} и CTB_{Σ} (т.е. на выходе абонентской телевизионной розетки), если на выходе каждого из активных устройств известны (рассчитаны) собственные значения CSO и CTB. Головная станция: $CSO = 72 \text{ dB}$, $CTB = 84 \text{ dB}$; оптическая система: $CSO = CTB = 65 \text{ dB}$; магистральные усилители (3 шт.): $CSO = 74 \text{ dB}$, $CTB = 82 \text{ dB}$; домовая усилитель: $CSO = 72 \text{ dB}$, $CTB = 66 \text{ dB}$.

Решение. Подставляя численные значения в (9) и (10), получаем:

$$CSO_{\Sigma} = 62,5 \text{ dB}, \quad CTB_{\Sigma} = 57,3 \text{ dB}.$$

Пример 5. Сколько можно включить однотипных магистральных усилителей каскадно, если их собственный $CTB_{\text{вх}} = 84 \text{ dB}$ (проведен системный расчет) при $CTB_{\text{вых}} = -57 \text{ dB}$ (требование [3]). Суммарное CTB всех остальных устройств $CTB_{\Sigma} = -64 \text{ dB}$.

Решение. 1 Вычисляем допустимую величину искажений ΔCTB , приходящуюся на магистральные усилители из (8):

$$\Delta CTB = -20\lg(10^{CTB_{\text{вх}}/20} - 10^{CTB_{\Sigma}/20}) =$$

$$-20\lg(10^{84/20} - 10^{64/20}) = 62,1 \text{ dB}.$$

Это означает, что такие CTB допустимы на всей магистрали для сохранения конечного $CTB_{\text{вых}} = 57 \text{ dB}$ (т.е. на выходе абонентской розетки).

2 Находим максимальное число магистральных усилителей (12):

$$n \leq 10^{(CTB_{\text{вх}} - \Delta CTB)/20} = 10^{(84 - 62,1)/20} = 12,4,$$

т.е. при установке в магистраль до 12 однотипных усилителей, каждый из которых обладает $CTB = 84 \text{ dB}$, будет гарантировано конечное $CTB_{\text{вых}} \geq 57 \text{ dB}$ [3]. Для требований [2] ($CTB \geq 54 \text{ dB}$) при прочих равных условиях может быть включено до 21 усилителя.

Измерения CTB и CSO по [2] и [3] отличаются между собой по методикам. Тем не менее, все методики (для усилителей и сетей в целом) сводятся к следующему:

1. На вход усилителя или ГС (испытываемый объект) подаются $N_{\text{изм}}$ немодулированных несущих (SAT входы и входы TV модуляторов в ГС нагружаются согласованными нагрузками), а на выходе испытываемого объекта (усилитель или абонентская розетка) включается анализатор спектра (желательная полоса по ПЧ 30 кГц и видеополоса не более 10 Гц) или селективный микровольтметр (что менее удобно).

2. По анализатору спектра (или селективному микровольтметру) фиксируют уровень полезного сигнала в исследуемом канале.

3. Отключается полезный сигнал исследуемого канала распределения, а анализатор спектра переводят в режим максимальной чувствительности (как в анализаторе спектра, так и в селективном микровольтметре на входе установлены два перемен-

²все виды искажений, рассмотренных для CTB, справедливы при кросс-модуляции (XMOD) и при фоновой модуляции (HUM)

ных аттенуатора шагами в 10 dB и 1 dB). Наблюдают комбинационные составляющие правее (выше по частоте) видеонесущей (как правило, они кластируются на частотах, отстоящих от видеонесущей на 0, 0,25 и 0,5 МГц) и фиксируют их уровень. Разности в показаниях между уровнями видеонесущей и комбинационными помехами в децибелах и составляют значения CSO (отстройка на 0,25 МГц) или CTB (отстройка на 0 или 0,5 МГц).

Полезные практические замечания

■ Измерения проводят во всех каналах распределения. К зачету применяется наихудший результат измерений.

■ Согласно [3], если комбинированные биения кластируются в различных частотных группах вблизи видеонесущей, подсчитывается результирующий мощностной эффект. Например, для 2 частотных групп (0 и 0,5 МГц):

$$CTB = -10\lg(10^{-L1/10} + 10^{-L2/10}). \quad (13)$$

■ При использовании анализатора спектра с минимальной фильтрацией по видеочастоте большей, чем 10 Гц, комбинированные искажения могут быть зашумленными, и отсчет необходимо проводить по усредненному значению.

■ Если ваша кабельная сеть рассчитана на N транслируемых каналов, а при измерениях $CSO_{\text{изм}}$ и $CTB_{\text{изм}}$ удалось обеспечить только $N_{\text{изм}}$ число испытательных каналов (что наиболее часто встречается на практике), то результаты измерений корректируются по формулам:

$$CSO = CSO_{\text{изм}} - 4,3\lg(N/N_{\text{изм}}), \quad (14)$$

$$CTB = CTB_{\text{изм}} - 10\lg(N/N_{\text{изм}}). \quad (15)$$

■ Для повышения точности отсчетов (за счет снижения входной шумовой мощности и исключения перегрузки входных высококачественных усилителей соседними каналами) на входе устройства отсчета (анализатор спектра или селективный микровольтметр) необходимо устанавливать высокоизбирательный канальный фильтр с неравномерной АЧХ не более 1 dB (например, серии ФКМ-С или ФКД-С, "Стандарт Телеком").

Пользование справочными параметрами

Таким образом, мы выяснили, что в справочных параметрах на усилители приводятся 4 вида максимальных выходных уровней: $U_{\text{max},2}$ (2 канала, IMA2 = 60 dB), $U_{\text{max},3}$ (2 канала, IMA3 = 60 dB), $U_{\text{max},CSO}$ (42 канала или N каналов, $CSO = 60 \text{ dB}$) и $U_{\text{max},CTB}$ (42 канала или N каналов, $CTB = 60 \text{ dB}$), установили их взаимосвязь и значение каждого из параметров, в зависимости от выходного уровня усилителя. Также было определено, что при большом числе каналов (более 20) системные расчеты КРС удобнее и точнее проводить через справочные значения CSO и CTB. Остановимся более подробно на этих параметрах.

Для этого обратимся к упрощенной структурной схеме типового усилителя (рис. 1), состоящего обычно из каскада (каскадов) предварительного усиления и выходной микросборки. Все заявляемые мощностные параметры ($U_{\text{max},CSO}$ и $U_{\text{max},CTB}$) определяются выходной микросборкой. Именно ее справочные параметры транслируются на параметры усилителя. Опытные операторы КСКТП и технические специалисты знают, что при использовании одного и того же типа выходной микросборки разные фирмы-производители усилителей заявляют разные параметры на выходной уровень. Связанно это, по большей части, с гонкой за рекламными цифровыми значениями [4]. Согласно [3], должны заявляться гарантированные максимальные выходные уровни усилителя, при которых $CSO \geq 60 \text{ dB}$ и $CTB \geq 60 \text{ dB}$. Иными словами, для любого усилителя данной серии должны заявляться данные требования. Так поступа-

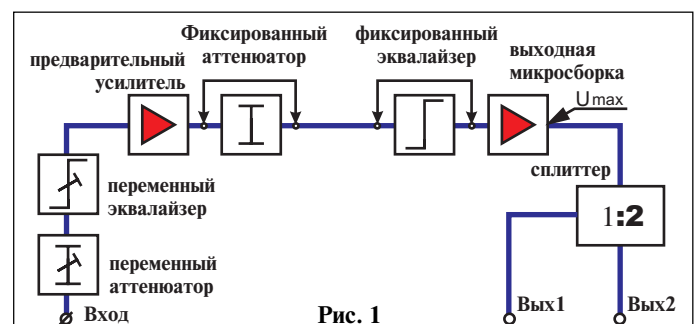


Рис. 1

ют далеко не все производители. Большинство заявляют типовые значения (например, 75% усилителей). Типовые значения обычно на 2-4 дВ выше гарантированных (судя по обзору параметров выходных микросборок от разных фирм-производителей). Поэтому при выборе типа усилителя следует поинтересоваться, какое значение заявлено — гарантированное или типовое. Если в каталоге или паспорте стоит знак "≥" или "≤", то это гарантированный выходной уровень (или гарантированные максимальные искажения). Если ничего не оговорено (что наиболее часто и встречается на практике), то это типовое значение.

Некоторые фирмы-производители также стали приводить еще и максимальные значения рабочего выходного уровня. Такой параметр указывает, что только некоторые усилители данной серии, например 5%, могут обеспечить такой выходной уровень при оговариваемых CSO и CTB, обычно равных 60 дБ.

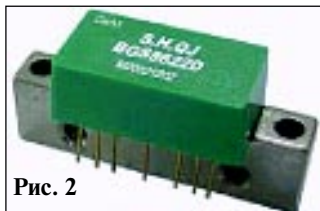


Рис. 2

Самым надежным источником информации о максимальном выходном уровне усилителя являются параметры выходной микросборки (рис. 2). Параметры некоторых микросборок, наиболее часто используемых в усилителях от разных фирм-производителей, представлены в табл. 2. Все типы микросборок имеют номинальное напряжение питания +24 В. Параметры всех микросборок приведены к единому критерию искажений в -60 дБс.

Необходимо также учесть, что максимальный выходной уровень усилителя (по любому параметру и критерию) будет на 1 дВ ниже параметра микросборки, за счет реальных потерь на согласование и потерь в частотном диплексоре (разделение прямого и реверсного каналов). Естественно, что если на выходе усилителя включен сплиттер, то максимальный выходной уровень должен быть понижен еще и на величину вводимых потерь.

В погоне за рекламными цифровыми значениями, некоторые производители указывают максимальный выходной уровень при введенном межкаскадном эквалайзере (рис. 1). Действительно,

введение межкаскадного эквалайзера позволяет повысить энергетический потенциал усилителя за счет снижения уровней низкочастотных транслируемых сигналов, подаваемых на вход оконечного каскада. Энергетический выигрыш, реализуемый за счет предварительного эквалайзирования (42 канала, частотное распределение по [3], полный диапазон 47-862 МГц) для различных значений ослабления представлен в табл. 3 [5]. Отметим только, что установка межкаскадного эквалайзера с глубиной эквалайзирования более 9-12 дБ не рекомендуется, т.к. в этом случае предварительные каскады усиления (рис. 1) работают при повышенных входных уровнях, в результате чего может наблюдаться обратный эффект — увеличение нелинейных искажений за счет их добавления уже входными каскадами.

Более того, любое предварительное эквалайзирование приводит к увеличению коэффициента шума усилителя на низкочастотных каналах. Например, на усилители серии 93218 (Scientific-Atlanta) заявлен максимальный выходной уровень дБ (CTB ≥ 60 дБ с межкаскадным эквалайзером в 6 дБ. Фактически это означает, что = 111,5 дБμV (см. табл. 4). Данное значение совпадает (112 дБμV) с параметрами усилителей GPV 851 и GLV865 (Hirschmann).

Какими же параметрами необходимо пользоваться при проведении системных расчетов? Правильным может быть только один ответ: использовать гарантированные значения и пользоваться приведенными выше формулами. Тем не менее, из опыта проведения проектных работ в ЗАО "В-Люкс" следует, что при пользовании приведенными выше формулами вполне допустимо применять и типовые значения, т.к. они получены с некоторым технологическим запасом (выведены из условия когерентности накопления искажений). Более того, при проведении расчетов принимаются расчетные выходные значения CTB и CSO в 57 дБ, что соответствует [3], а не 54 дБ [2]. Все это в совокупности создает определенный технологический запас на рассчитываемые значения CTB и CSO (необходимо учесть саму погрешность установки выходных уровней усилителей, с учетом реальной погрешности используемых измерительных приборов, а также климатические воздействия, в результате которых выходные уровни усилителей могут увеличиваться на 3...5 дБ.

Таблица 2

Фирма	Philips				Motorolla				NEC								
	PD	PP	PD	PP	PD	PP	PD	PP	PD	PP	PD	PP					
Тип микросборки	BGD 902	BGD 802	BGD 923	BGD 816L	BGD 885B	BGD 887	BGD 887B	MHW 9247	MHW 9267	MHW 9227	MHW 8185	MHW 8242A	MHW 8272A	MC-7884	MC-7882	MC-7847	MC-7833
$U_{max,2}$ (2 канала), не менее, дБμV	118,0	113,0	-	114,0	112,0	114,0	117,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$U_{max,3}$ (2 канала), не менее, дБμV	124,5	121,5	-	122,0	117,5	119,0	124,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$U_{max,CSO}$ (42 канала), не менее, дБμV	111,5	107,9	111,0	110,5	104,0	104,5	107,0	117,0	115,0	117,0	115,0	102,0	104,0	112,0	112,0	110,0	105,0
$U_{max,CTB}$ (42 канала), не менее, дБμV	111,0	109,5	113,5	109,5	104,5	105,5	108,5	113,5	112,5	112,5	111,5	105,0	106,0	109,0	109,0	107,0	106,5
Коэффициент шума, не более, дБ	8,0	9,0	5,5	7,5	7,5	6,5	5,0	7,0	6,0	4,5	8,0	7,5	7,0	5,5	6,5	6,0	6,0
Коэффициент усиления, не менее, дБ	19,0	18,5	19,5	22,0	20,0	21,5	28,0	24,4	27,0	21,5	19,0	24,0	27,0	25,0	20,0	25,0	25,0
Ток потребления, не более, мА	435	410	420	375	235	235	240	460	460	440	435	350	350	360	360	375	240
Технология	Si	Si	GaAs	Si	Si	Si	GaAs	GaAs	GaAs	GaAs	Si	Si	Si	GaAs	GaAs	GaAs	GaAs

Таблица 3

Глубина эквалайзирования, дБ	3	6	9	12	15	18
Энергетический выигрыш, $DU_{вых}$, дБ	1,1	2,0	2,9	3,6	4,3	4,9

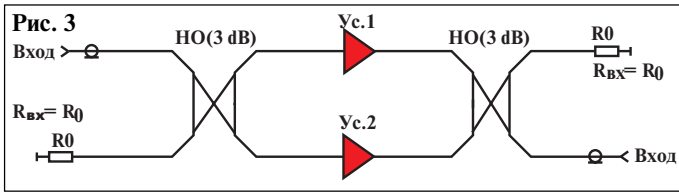


Схема выходного каскада в определенной степени влияет на выбор типа усилителя [5], но не в коей мере не влияет на его рабочий режим, определяемый (выбираемый или рассчитываемый) только справочными параметрами. Если в маломощных усилителях используются интегральные микросхемы, где АЧХ и широкополосное согласование достигается за счет схемотехнических ухищрений, то в усилителях повышенной мощности ($U_{\text{вых}} > 117 \text{ dB}\mu\text{V}$), в подавляющем большинстве, используются специализированные широкополосные гибридные (сочетание микроэлектроники с дискретными элементами) микросборки, выполненные по схеме Push-Pull (PP) или Power Doubler (PD). Схема PP является балансной (рис. 3), а PD — двухбалансной³, обладающей на 3 дБ большим уровнем выходного сигнала. Основными особенностями таких схем являются [4]:

- **повышенный уровень выходной мощности, в сравнении с одиночными каскадами (на 3 дБ при идеальных направленных ответвлениях);**

- **высокая линейность фазочастотной характеристики, широкополосность при малой неравномерности АЧХ;**

- **высокий коэффициент подавления всех четных гармоник и, как следствие, пониженные значения CSO. За счет двухбалансности, значения CSO у схем PD лучше, чем у схем PP (см. табл. 2);**

- **малый коэффициент возвратных потерь (return loss), гарантированный свойствами НО (выполняется в виде ферритового трансфлюктора). При равенстве выходных импедансов биполярных или полевых транзисторов, входящих в состав микросборки, выходной импеданс равен сопротивлению балансной нагрузки;**

- **возможность реализации малого коэффициента шума при отличном согласовании по входу даже для мощных транзисторов, работающих при повышенных токах ($I > 100 \text{ mA}$);**

- **малые искажения АЧХ при климатических воздействиях.**

В выходных микросборках в качестве дискретных используются биполярные (кремниевые — Si) или полевые (арсенид-галлиевые — GaAs) транзисторы. Последние обладают большей линейностью вольт-амперной характеристики, вследствие чего достигается больший уровень выходного сигнала (при равных токах потребления). Однако полевые транзисторы значительно более чувствительны к статическим зарядам и кратковременным искровым разрядам (пониженная грозо-молниезащитность).

Шумовые параметры усилителей. Анализируя приведенные выше формулы, можно сделать логичный вывод: чем меньше выходной уровень усилителя, тем меньше его нелинейные искажения. Следовательно, достаточно транслировать ТВ сигналы при низких входных (выходных) уровнях, и все проблемы будут решены. В действительности это не так. Помимо рассмотренных нелинейных искажений, к КРС предъявляется и другое важное требование: отношение сигнал/шум (S/N), которое должно быть не менее 43 dB [2] или 44 dB [3]. S/N на выходе абонентской розетки зависит от шумовых параметров самого источника сигнала (например, традиционный ТВ передатчик наземного телевизионного вещания может обладать $S/N = 58 \text{ dB}$ и даже менее), шумовых параметров ГС, оптической системы, усилителей, их режимов работы и их числа.

Коэффициент шума является важным параметром усилителя и приводится в его паспортных данных. Что же такое коэффициент шума? Коэффициент шума на некоторой частоте — это отношение мощности шума от всех причин на выходе усилителя $P_{\text{Ш.вых}}$ к части выходной мощности, обусловленной тепловыми шумами источника сигнала $P_{\text{ИШ.вых}}$ [6]:

$$F = \frac{P_{\text{Ш.вых}}}{P_{\text{ИШ.вых}}} \quad (16)$$

Существует и другое определение коэффициента шума [3].

Коэффициент шума — это отношение несущая/шум на входе (C_1/N_1) к несущая/шум на выходе (C_2/N_2) усилителя:

$$F = \frac{|C_1/N_1|}{|C_2/N_2|} \quad (17)$$

Из теории приведенных определений следует:

- **коэффициент шума не зависит от сопротивления нагрузки;**

- **коэффициент шума зависит от сопротивления источника сигнала (или от меры согласования усилителя) и шумовых параметров самого усилителя;**

- **коэффициент шума всегда $F \geq 1$; идеальному (не шумящему) усилителю соответствует $F = 1$ (0 dB);**

- **чем меньше численное значение коэффициента шума усилителя, тем он лучше, т. е., он вносит меньший вклад в снижение отношения S/N по магистрали.**

Следует также добавить два важных момента, связанных с коэффициентом шума.

1. При включении на входе усилителя пассивного четырехполюсника с потерями $a_{\text{дБ}}$ (кабель, эквалайзер, аттенюатор и т. п.), эквивалентный коэффициент шума, приведенный к входу добавленного пассивного четырехполюсника, будет равен сумме потерь пассивного четырехполюсника и коэффициента шума самого усилителя. Эквивалентный коэффициент шума составит:

$$F_{\text{экв[dB]}} = a_{\text{дБ}} + F_{\text{дБ}} \quad (18)$$

2. Коэффициент шума каскадно включенных активных устройств, каждый из которых определяется коэффициентом шума F_i и коэффициентом усиления по мощности K_i , можно вычислить по формуле Фриза [7]:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{K_1} + \frac{F_3 - 1}{K_1 \cdot K_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{K_1 \dots K_{n-1}} \quad (19)$$

Из приведенных выше формул (18, 19), не вдаваясь в числовые значения, можно вывести, что всякое включение межкаскадного предварительного эквалайзера с величиной ослабления a вызывает увеличение коэффициента шума усилителя на низкочастотных каналах на $(0,2 \dots 0,3) \cdot a$ [dB]. Например, если в магистральном усилителе GLV 865 (Hirschmann) ввести межкаскадный эквалайзер с величиной частотного наклона в 7 dB (предварительное эквалайзирование с целью увеличения энергии усилителя) и межкаскадный аттенюатор в 7 dB (снижение коэффициента усиления), то его коэффициент шума вместо паспортного 7 dB составит 9 dB на высокочастотных каналах (добавится 2 dB, за счет введения аттенюатора) и 11 dB на низкочастотных каналах (дополнительно добавляется 2 dB, за счет введения эквалайзера). Данный фактор необходимо обязательно учитывать при проведении проектных работ.

Приведенный динамический диапазон является удобной величиной для проведения системных расчетов и показывает величину отношения сигнал/шум (S/N), формируемую на выходе усилителя при подаче на его вход идеального, "несумящего" сигнала [5]:

$$S/N_{\text{дБ}} = U_{\text{вых[dB}\mu\text{V}}} - K_{\text{дБ}} - F_{\text{дБ}} - 2,4. \quad (20)$$

Легко заметить, что разница $U_{\text{вых}}$ — K указывает на уровень входного сигнала, подаваемого непосредственно на первый усилительный каскад (без учета потерь во входных устройствах — аттенюаторе и эквалайзере). Из (20) легко видеть, что чем больше коэффициент усиления усилителя, тем меньшим (худшим) S/N он обладает. Вопрос выбора усилителя с точки зрения оптимальности его коэффициента передачи освещен в [4] и здесь не рассматривается. Отметим только, что для протяженных магистралей (например, более 7...10 усилителей), при требовании поддержания максимально возможного выходного S/N, необходимо выбрать усилители с возможно меньшим коэффициентом усиления. Однако такое решение является дорогостоящим, из-за большого числа каскадно включенных усилителей.

Накопление шумов по магистрали. При каскадировании активных устройств с соответствующими собственными S/N_i суммарное (выходное) S/N_Σ составляет:

$$S/N_{\Sigma} = -10 \lg(10^{-(S/N_1)/10} + 10^{-(S/N_2)/10} + \dots + 10^{-(S/N_n)/10}). \quad (21)$$

³ в PD в каждое из плеч установлено по два транзистора, включенных по схеме Дарлингтона с выравниванием токов по амплитуде и фазе

Под активными устройствами могут пониматься мачтовый усилитель, ГС, оптическая система, магистральные и домовые усилители и т. п. Например, для КСКТП, включающей в состав антенную систему с $S/N = 54$ dB, ГС с $S/N = 54$ dB, оптическую систему с $S/N = 52,5$ dB, три однотипных магистральных усилителя с $S/N = 53,6$ dB и один домовый усилитель с $S/N = 58,6$ dB, выходное отношение S/N_{Σ} составит 45,5 dB.

Из (21) следует, что если по магистрали включено n каскадно подсоединенных устройств с одинаковыми режимами работы (см. 21), то суммарное S/N_{Σ} определится как

$$S/N_{\Sigma} = S/N - 10\lg(n). \quad (22)$$

Так, при каскадировании двух однотипных усилителей выходное S/N_{Σ} понизится на 3 dB, в сравнении с исходными значениями.

Рабочий выходной уровень усилителя устанавливается, прежде всего, из его функционального назначения. Так, если это домовый усилитель, то он должен гарантировать требуемый уровень сигнала на выходах абонентских розеток [8]. Практика расчета КСКТП показывает, что именно домовые усилители вносят максимальный вклад в суммарные искажения, за счет высокого выходного уровня [9]. Типовые значения составляют 102...108 dB μ V (50 каналов) и зависят от типа усилителя. Учитывая повышенный выходной уровень, домовые усилители вносят минимальный вклад в суммарное выходное S/N_{Σ} (см. 20).

А вот магистральные усилители (их несколько по магистрали) должны вносить минимальный вклад в суммарные искажения CSO и CTB. В силу этого они работают при пониженных выходных уровнях, например, 92... 100 dB μ V (зависит от динамического диапазона усилителя, числа транслируемых каналов и числа усилителей в рассматриваемой цепочке).

На рис.4 показана зависимость допустимых уровней выходного сигнала от числа последовательно включенных усилителей GPV 839 (Hirschmann) при двух значениях коэффициента усиления: 28 dB и 36 dB (для простоты рассуждения сделано предположение, что коэффициент шума и максимальный выходной уровень при смене коэффициента усиления не меняются). Графики построены с использованием формул (12, 22). В качестве критериев выбрано, что $CTB_{\min} = 60$ dB (верхняя синяя сплошная линия) или $CTB_{\min} = 70$ dB (синий пунктир). Защитный интервал $S/N = 46$ dB, т. е., оставлены системные запасы на ГС, оптическую систему и домовый усилитель.

Из анализа рис.4 видно, что при одном усилителе выходной уровень может находиться в пределах 91-102 dB μ V (по крите-

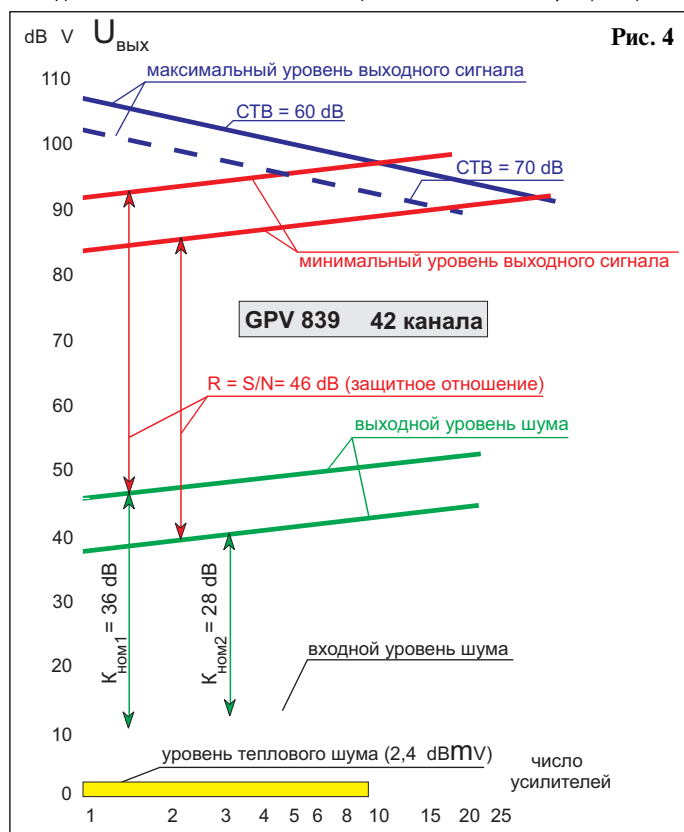


Рис. 4

рию $CTB = 70$ dB) или 91-107 dB μ V (по критерию $CTB = 60$ dB). При этом нижняя точка (91 dB μ V) будет соответствовать условию обеспечения $S/N \geq 46$ dB (но с запасом на интермодуляционные искажения в 2 11 = 22 dB), а верхняя точка (102 dB μ V) — условию обеспечения $CTB \geq 70$ dB (но с запасом по защитному отношению в 1 1 dB: $S/N = 46 + 11 = 57$ dB).

С увеличением числа усилителей (по оси X отложен логарифмический масштаб) минимальный (красный цвет) и максимальный (синий цвет) допустимые выходные уровни усилителя начинают сближаться (накапливаются шум и искажения) и имеют точку пересечения, указывающую на максимальное число каскадируемых усилителей. Так, в случае использования усилителя GPV 839 с коэффициентом усиления в 36 dB, их максимальное число при каскадировании составляет 10 ($CTB = 60$ dB). Это эквивалентно компенсации суммарных потерь величиной в 360 dB. В случае использования того же усилителя с коэффициентом усиления в 28 dB, их максимальное число при каскадировании увеличивается до 25, что эквивалентно компенсации потерь величиной в 700 dB(!). При критерии $CTB = 70$ dB (синий пунктир на рис.4) максимальное число усилителей составляет 5 (при $K = 36$ dB).

Этот графически иллюстративный пример (рис.4) еще раз показывает важность таких параметров, как максимальный уровень выходного сигнала и коэффициент шума (с учетом коэффициента усиления — приведенный динамический диапазон).

Какой же выходной рабочий уровень усилителя является оптимальным? Оптимальным будет являться тот выходной уровень, который обеспечит технологические запасы (в первую очередь, это недостоверность приводимой информации на усилитель и климатические воздействия, особенно сильно сказывающиеся при воздушной подвеске кабеля) как по интермодуляционным искажениям (CTB и CSO), так и по защитному отношению (S/N), определяемым исходя из системных расчетов, изложенных в настоящей статье. Оптимальный рабочий выходной уровень усилителя определяется по формуле:

$$U_{\text{вых.опт}} = \frac{U_{\text{max}} + 2U_{\text{min}}}{3}, \quad (24)$$

где: U_{max} — максимально допустимая величина выходного уровня усилителя, определяемая из условия системных расчетов с точки зрения допустимого CTB (как правило, допустимый уровень CSO обеспечивается на практике за счет использования PP и PD усилителей);

U_{min} — минимально допустимая величина выходного уровня усилителя, определяемая из условия системных расчетов с точки зрения реализации защитного отношения S/N .

Так, для рассмотренного случая (рис.4) $U_{\text{вых.опт}} = 95$ dB μ V.

Автор с удовольствием примет все критические замечания по настоящей статье и ответит на поставленные вопросы по E-mail: vlux@vlux.ru.

Литература.

1. Песков С. Н. Рабочий выходной уровень усилителей в широкополосных телевизионных сетях. "Телеспутник", 2004г., № 2
2. ГОСТ Р 52023-2003. Сети распределительные систем кабельного телевидения. Основные параметры. Технические требования. Методы измерений и испытаний.
3. European Standard CENELEC EN 50083. Cabled distribution systems for television, sound and interactive (December 2002).
4. Песков С. Н., Шишов А. К. Современные кабельные сети коллективного телевизионного приема (CD носитель, ЗАО "В-Люкс", 2002г., 576с.
5. Песков С. Н., Таценко В. Г., Шишов А. К. Выбор усилительного оборудования при построении кабельных сетей коллективного телевизионного приема (КСКТП). "Телеспутник", 1999г., № 6 (с.52-57), № 7 (с.46-52).
6. Песков С. Н., Таценко В. Г., Шишов А. К. Коэффициент шума. "Телеспутник". Справочник "Кабельное телевидение", 2000-2001гг., с.48, 49.
7. Белоусов А. П., Каменецкий Ю. А. Коэффициент шума. — М., "Радио и связь", 1981 г., 112с.
8. Шишов А. К. Песков С. Н. Оптимальный уровень сигнала на выходе телевизионной абонентской розетки. "Телеспутник". Справочник "Кабельное телевидение", 2000-2001гг., с.43, 44.
9. Песков С. Н., Таценко В. Г., Шишов А. К. Накопление искажений в кабельных сетях. "Телеспутник". Справочник "Кабельное телевидение", 2000-2001гг., с.45-47.