



ВЫБОР ОПТИЧЕСКОГО ПЕРЕДАТЧИКА ПО КРИТЕРИЮ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ

И.А. Колпаков, генеральный директор компании «Контур-М»
С.Н. Песков, зам. директора по науке, к. т. н. компании «Контур-М»
О.И. Васькин, коммерческий директор компании «Контур-М»

Одним из первых шагов при проектировании волоконно-оптической линии связи (ВОЛС), являющейся составной частью системы кабельного телевидения (СКТ), является выбор оптического оборудования.

Наиболее дорогостоящим компонентом ВОЛС является оптический передатчик, к которому предъявляется ряд требований. Одним из важнейших является требование к отношению «несущая/шум» (C/N), формируемому на выходе оптического передатчика.

Настоящая статья дает практические советы по выбору оптического передатчика с точки зрения его шумовых параметров¹.

➤ В простейшем случае (рис. 1) аналоговая ВОЛС состоит из оптического передатчика (Optical Transmitter) и оптического приемника (Optical Receiver), часто входящих в состав оптического узла².

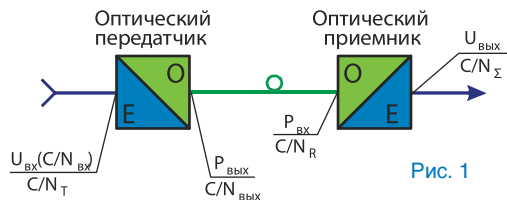


Рис. 1

Шумы оптического передатчика, формируемые лазером³, возникают вследствие спонтанной эмиссии фотонов, в результате чего излучается широкополосный некогерентный световой поток. Очевидно, что отношение «несущая/шум» (C/N), формируемое на выходе оптического передатчика ($C/N_{вх}$), зависит как от шумов самого передатчика — C/N_T , так и от входного (высокочастотного) $C/N_{вх}$:

$$(1)$$

Шумовые параметры отдельно взятого устройства рассматриваются при условии, что входной сигнал яв-

¹ По материалам фирмы Teleste (Финляндия) и ряда других зарубежных компаний.
² Под оптическим узлом понимается совокупность двух или более функциональных устройств, как правило, объединенных в один корпус. Например, это могут быть оптический приемник прямого канала и оптический передатчик реверсного канала.
³ В подавляющем большинстве случаев в CATV аналоговых передатчиках используются DFB-лазеры (Distributed Feed Back — лазер с распределенной обратной связью), физические основы работы которых и рассмотрены в настоящей статье.
⁴ Иногда в литературе можно встретить размерность dBc/Гц. Это лишний раз подчеркивает, что шумовая мощность измеряется по отношению к несущей (c — carrier).

ляется идеальным (незашумленным), то есть $C/N_{вх}$ бесконечно, в силу чего $C/N_{вх}$ будет зависеть только от собственных шумов передатчика, определяемых по формуле

$$(2)$$

где: m — индекс канальной оптической модуляции, часто именуемый OMI (Optical Modulation Index). Обычно выражается в процентах, но в расчетные формулы необходимо подставлять безразмерную величину, как $m_{\%}/100$. Например, $m=4\%$ эквивалентно $m=0,04$;

Π — шумовая полоса телевизионного (TV) канала по видеополосе (3,75; 4,75 и 5,75 МГц для систем NTSC, PAL и SECAM соответственно);

R — относительная интенсивность шумов RIN (Relative Intensity Noise), рассчитываемая как шумовая мощность, приведенная к полосе 1 Гц, по отношению к оптической мощности немодулированной несущей. Имеет размерность dB/Гц⁴.

Из (1) видно, что C/N_T при заданной полосе TV-канала зависит только от собственного шумового параметра RIN и устанавливаемого индекса оптической модуляции m . Типовое значение RIN составляет -145...-165 dB/Гц. Большее числовое значение (например, -155 dB/Гц в сравнении с -150 dB/Гц) соответствует меньшей шумовой мощности, что следует из физического смысла определения RIN . Выражение (1) может быть записано в удобной логарифмической форме:

$$(3)$$

Индекс оптической модуляции является мерой уровня модуляции оптической мощности несущей ВЧ-сигналом. Математически он определяется, как отношение пикового значения модулирующего ВЧ-тока I_p к среднему модулирующему току (току смещения) $I_{мод}$ (рис. 2):

$$(4)$$

ВЧ модулирующий ток I_p может быть записан через модулирующее напряжение в виде

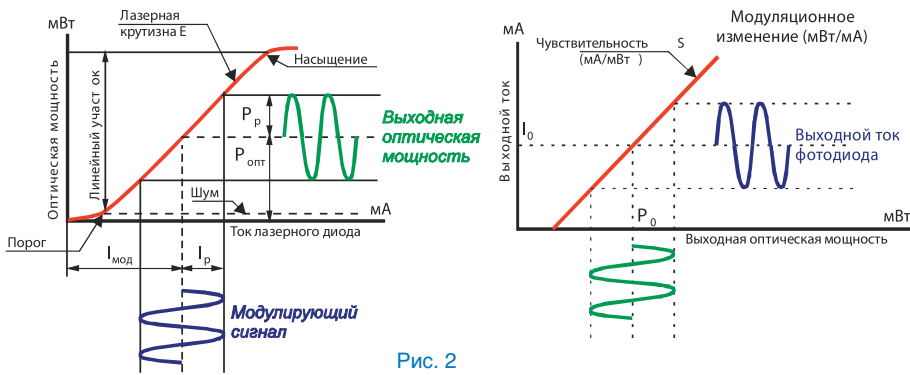


Рис. 2

Шумы оптического приемника.

Прежде чем перейти к сравнению шумовых параметров передатчиков, целесообразно рассмотреть шумы оптического приемника.

Структурно оптический приемник состоит из оптического приемного модуля (как правило, конструктивно исполняемого в виде самостоятельно законченного модуля) и ВЧ усилительного модуля (рис. 3).

Шумы оптического приемника в основном возникают в результате хаотичного движения электронов (Shot Noise):

$$(5)$$

$$(11)$$

где: $U_{эфф}$ — среднеквадратичное (эффективное) входное модулирующее напряжение лазерной цепи с входным сопротивлением R_0 при коэффициенте согласования K .

В свою очередь усредненный лазерный управляющий ток может быть записан через усредненное значение выходной оптической мощности лазера P_{opt} (рис. 2) и лазерную крутизну E :

$$(6)$$

Следовательно, индекс оптической модуляции m может быть представлен в виде

$$(7)$$

откуда следует, что m прямо пропорционален входному модулирующему напряжению. Это означает, что разным уровням входных модулирующих напряжений будут соответствовать разные значения m , то есть может быть записана очевидная пропорция

$$(8)$$

Если модулирующие напряжения представить в привычной для нас размерности — $\text{dB}\mu\text{V}$, то

$$(9)$$

И, наоборот, всякое изменение входного модулирующего напряжения будет вызывать соответствующее изменение m :

$$(10)$$

Так, если $U_1=84 \text{ dB}\mu\text{V}$ для $m_1=4,5\%$, то при $U_2=88 \text{ dB}\mu\text{V}$ канальный индекс оптической модуляции составит 7,1%.

а также теплового шума (Termal Noise), создаваемого сопротивлением фотодетектора и последующим усилителем:

$$(12)$$

где: S — чувствительность оптического модуля, зависящая от оптической длины волны. Типовые значения: $S_{1310}=0,85 \text{ A/Vt}$ и $S_{1550}=0,95 \text{ A/Vt}$ на 1310 и 1550 нм соответственно. Физически параметр S показывает (рис. 4), какой ток (в мА) появится на выходе фотодетектора при воздействии на его входе оптической мощности в 1 мВт (0 dBm);

I_n — эквивалентный шумовой тепловой ток усилителя, измеряемый в $\text{пА}/\sqrt{\text{Гц}}$. Типовая величина I_n для транзисторного каскада, выполненного на GaAs полевом транзисторе, составляет 7...8 $\text{пА}/\sqrt{\text{Гц}}$. В настоящее время появились малошумящие транзисторы с очень большим входным сопротивлением, обладающие входным шумовым током до 5 $\text{пА}/\sqrt{\text{Гц}}$.

q — заряд электрона, Кл.

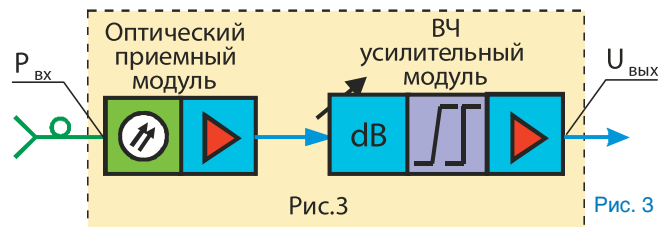


Рис.3

Рис. 3

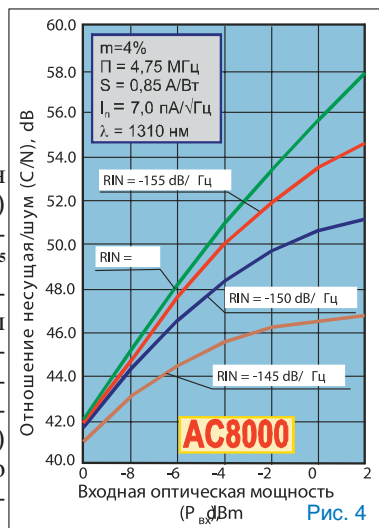
Например, для универсальной оптической платформы AC8000 (Teleste) с $I_n=7 \text{ пА}/\sqrt{\text{Гц}}$ при $P_{вх}=0 \text{ dBm}$, $m=4,5\%$, $\lambda=1550 \text{ нм}$ и $P=4,75 \text{ МГц}$: $C/N_S=58,2 \text{ dB}$ и $C/N_T=66,7 \text{ dB}$. На длине волны 1310 нм те же значения составят: $C/N_S=57,5 \text{ dB}$ и $C/N_T=65,2 \text{ dB}$.

Решая совместно (11) и (12), можно получить конечное соотношение по расчету шумовых характеристик оптического приемника:

(13)

Заметим, что при малых значениях шумового тока I_n (например, 5 пА/√Гц) и больших значениях входной оптической мощности (около 0 дВт), выражение (13) может быть упрощено:

(14)



На рис. 4 (верхняя кривая, для $RIN = \infty$) представлена расчетная зависимость C/N_R^5 универсальной оптической платформы AC8000 (Teleste) в зависимости от уровня входной оптической мощности. Выражение (14) может быть записано в удобной логарифмической форме: (15)

Из (15) следует, что отношение «несущая/шум» C/N_R оптического приемника при входной оптической мощности, близкой к 0 дВт, прямо пропорционально уровню входной оптической мощности, то есть всякому увеличению $P_{вх}$ на 1 дВт будет соответствовать увеличение C/N_R также на 1 дВт.

Шумы оптической системы по аналогии с шумами оптического приемника (13), учитывая (1), могут быть записаны в виде:

(16)

Формула (16) полностью идентична рекомендованному выражению по расчету C/N оптической системы, приведенной в [1]. Графическая зависимость системного исполнения C/N_{Σ} в зависимости от уровня входной оптической мощности представлена на рис. 4 (для разных значений RIN). Заметим, что кривая для $RIN = -155$ дВт/Гц идеально согласуется с паспортной экспериментальной зависимостью, приведенной для оптической платформы AC8000 (Teleste).

Критерий выбора оптического передатчика. Обратившись к формуле (1), можно увидеть, что единственным критерием по выбору оптического передатчика в части его шумовых параметров является относительная интенсивность шумов — RIN . Действительно, полоса ка-

нала Π является заданной, а индекс оптической модуляции m является уже эксплуатационным параметром, который может быть произвольно установлен оператором при эксплуатации оптического передатчика. На рис. 5 представлены зависимости системного исполнения C/N_{Σ} от уровня входной оптической мощности при различных значениях индекса оптической модуляции m . Однако всякое увеличение C/N_R влечет за собой увеличение искажений, вносимых передатчиком⁶.

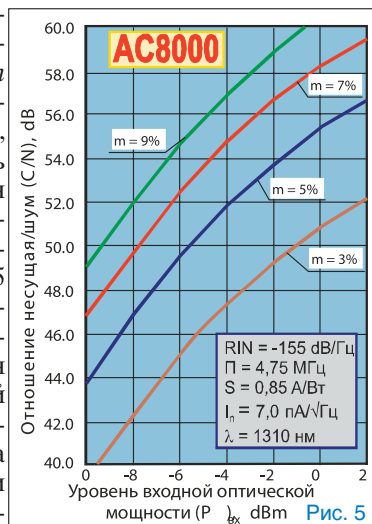


Рис. 5

Рассмотрим несколько случаев, встречающихся на практике.

Случай 1. Производитель непосредственно указывает значение RIN на конкретный передатчик. Это самый простой и удобный случай, не требующий каких-либо пересчетов. Например, так поступают компании Teleste (Финляндия), Iritek (США) и др. В частности, на передатчик DVO900 (Teleste) заявлено гарантированное значение $RIN = -153$ дВт/Гц и типовое значение в -155 дВт/Гц. Этот параметр и является единственным критерием, по которому выбирается оптический передатчик в части его шумовых параметров.

Случай 2. Производитель заявляет непосредственное значение отношения «несущая/шум» — C/N_T оптического передатчика без указания значения RIN . Это менее удобно, однако значение RIN легко рассчитать. В этом случае величину RIN вычисляют из формулы (1), преобразованной в логарифмическую форму:

(17)

При этом производитель всегда указывает справочное значение индекса оптической модуляции m_c , при котором осуществляются измерения, и используемую систему цветности (NTSC, PAL или SECAM), эквивалентную полосе видеоканала. Следует заметить, что число каналов, используемых при измерениях, не имеет никакого значения. Важна только полоса канала и справочная величина индекса оптической модуляции. Например, на передатчик TRH-1310 (PBN, Австралия) заявлена величина $C/N_T = 56$ дВт при $m_c = 4,2\%$ для 42, 59 и 78 PAL-каналов ($\Pi = 4,75$ МГц). Подставляя численные значения в (17), получим

⁵ Компанией «Контур-М» разработана универсальная программа по расчету шумов и искажений в оптических сетях для любых условий эксплуатации и через любые системные справочные параметры.

⁶ Выбор передатчика по критерию вносимых искажений будет рассмотрен в рамках отдельной статьи.

Эта величина является типовым значением, так как и C/N_T заявлено как типовое значение.

Случай 3. Производитель заявляет только системное значение C/N_{Σ} . Это самый неудобный случай для выбора передатчика. Как правило, так поступают китайские производители, при этом еще и заявляя нестандартное значение уровня входной оптической мощности приемника (отличное от 0 dBm). Однако и для этого случая может быть рассчитана величина RIN с той лишь разницей, что это будет типовое, а не гарантированное значение:

$$(18)$$

Например, на передатчик серии Prisma II (Scientific Atlanta) заявлены величины $C/N_{T1}=48$ dB и $C/N_{T2}=51$ dB (разные варианты исполнения, отличающиеся по ценовой политике) при $P_{вх}=0$ и $m=3,8\%$. При этом число заявляемых каналов также не имеет никакого значения (справедливо заявлено для 42-78 каналов). Воспользовавшись формулой (18), получаем:

Очевидно, что $RIN_2=152,2$ dB/Гц (самая дорогостоящая версия XLS).

Полоса пропускания канала влияет на C/N_T . Формула пересчета со справочного значения (с индексом «с») на требуемую полосу канала согласно (1) имеет вид

$$(19)$$

Так, если справочное значение на передатчик DVO902 (Teleste) составляет $C/N_{Tc}=54$ dB для PAL-каналов ($I=4,75$ МГц), то согласно (19) эта величина для NTSC-каналов ($I=3,75$ МГц) и SECAM-каналов ($I=5,75$ МГц) составит⁷: $C/N_T=55,0$ dB (NTSC) и $C/N=53,2$ dB (SECAM).

ВЫВОДЫ

1. Единственным параметром, на который следует обращать внимание при выборе оптического передатчика с точки зрения реализации наилучших шумовых характеристик, является справочное значение относительной интенсивности шумов лазера — RIN , которое не зависит от условий эксплуатации передатчика.

2. Важнейшим эксплуатационным параметром оптического передатчика является индекс оптической модуляции — OMI , зависящий от уровня входного модулирующего напряжения.

3. С увеличением уровня входного модулирующего напряжения $U_{вх}$ увеличивается индекс оптической модуляции OMI и, следовательно, улучшается отношение «несущая/шум» как в самом передатчике, так и в оптической системе в целом (рис. 5).

4. Всякое увеличение (уменьшение) уровня входного модулирующего напряжения на 1 dB вызывает увеличение (уменьшение) отношения «несущая/шум» передатчика, приемника и оптической системы в целом также на 1 dB. Однако следует помнить, что при

⁷ При неизменном входном уровне модулирующих сигналов.

этом ухудшаются (улучшаются) интермодуляционные искажения второго и третьего порядков (CSO и CTB) на 1 и 2 dB соответственно (в данной статье бездоказательно).

5. При построении СКТ с глубоким проникновением оптики (то есть при использовании оптических приемников с предельно низкими входными уровнями оптической мощности) шумовые параметры передатчика практически не имеют значения (рис. 4). Причем это замечание справедливо для любого индекса оптической модуляции.

6. Если в оптическом передатчике задействована система автоматической регулировки мощности (АРМ, которую часто жаргонно именуют АРУ, не вникая в физический смысл регулировочного процесса), канальный индекс оптической модуляции OMI будет изменяться с изменением числа транслируемых каналов по закону:

$$(20)$$

Физически это означает, что с увеличением числа транслируемых каналов индекс канальной модуляции будет понижаться, вызывая тем самым снижение C/N . Однако искажения в оптической системе при этом будут поддерживаться неизменными. И, наоборот, при использовании передатчика в ручном режиме эксплуатации при увеличении числа транслируемых каналов и сохранении прежнего уровня модулирующего сигнала будет наблюдаться повышение C/N и снижение CSO и CTB.

7. При подаче на вход передатчика сигналов одинаковой амплитуды разных стандартов (например, PAL и SECAM) будут формироваться разные значения C/N . Большей полосе видеоканала будет соответствовать худшее значение C/N . Иными словами, с целью поддержания равенства C/N по всем каналам на вход передатчика должны быть поданы разные уровни сигналов. Более широкой полосе видеоканала должна соответствовать большая амплитуда сигнала:

$$(21)$$

Авторы с удовольствием ответят на все вопросы и замечания по данной статье по телефону:

(095) 782-12-17 или

E-mail: peskov@polisma.ru

kolpakov@konturm.com

vaskin@konturm.ru

ЛИТЕРАТУРА

CENELEC EN 50083-6. Cable Networks for television signals, sound signals and interactive services. Part 6: Optical equipment. December 2002.

