

## Расчет шумов реверсного канала

Песков С.Н., к.т.н.

*После публикации [1] и приобретения многими читателями и книги [2], в адрес авторов поступает большое число запросов с просьбой изложить методику расчета шумов в реверсном канале.*

*Откликнувшись на запросы наших читателей, авторы в краткой и доступной форме излагают методику расчета шумов в реверсном канале.*

**Введение.** Прежде всего дадим определение, что под реверсным каналом в данном случае понимается полоса частот, в которой работает передатчик кабельного модема (CM). Для стандарта DOCSIS 1.1 эта полоса частот 0,2 ... 3,2 МГц и для стандарта DOCSIS 2.0 – 0,2 ... 6,4 МГц. Естественно, чем шире полоса канала  $\Pi$ , тем больше возможна достижимая скорость цифрового потока [1]:

$$V \approx 0,3 \cdot \Pi \cdot 10 \lg(C/N) \quad (1)$$

где  $C/N$  - отношение несущая/шум.

Так, для  $\Pi = 0,2$  МГц и  $C/N = 40$  dB, скорость цифрового потока не может превышать 2,4 Мбит/с. При полосе канала в 6,4 МГц  $C/N$ , согласно общей теории тепловых шумов [3], понизится на величину, пропорционально расширению полосы канала:

$$\Delta C/N = 10 \lg\left(\frac{\Pi_2}{\Pi_1}\right) = 10 \lg\left(\frac{6,4}{0,2}\right) \approx 15 \text{ dB},$$

а максимально достижимая информационная скорость достигнет величины 48 Мбит/с.

С целью увеличения скорости информационного потока при ограниченной полосе пропускания, используют сложные формы модуляции, например, 4QAM (QPSK), 16QAM и даже 128QAM (DOCSIS 2.0). Чем выше формат модуляции (разрядность), тем выше скорость потока (рис.1). Однако, более высокий формат модуляции требует и более высокого  $C/N$ .

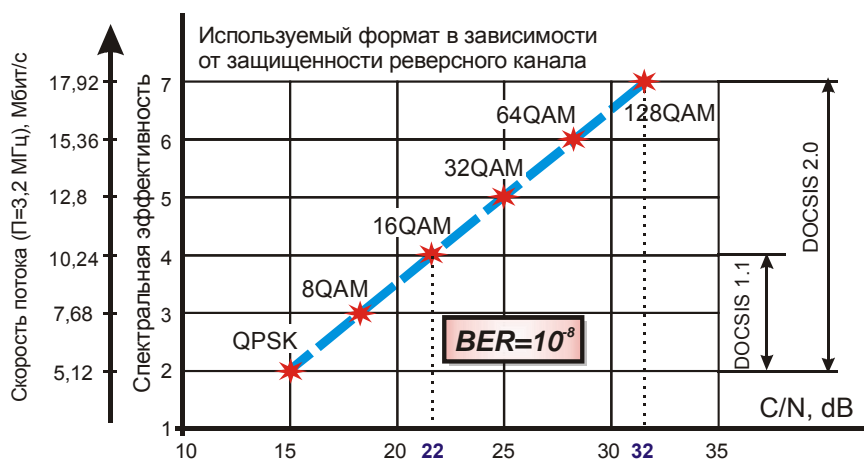


Рис.1

Однако, более высокий формат модуляции требует и более высокого  $C/N$ .

Кроме того, следует упомянуть, что стандартом DOCSIS (любой версии) заложен коэффициент запаса не более 50% относительно максимально достижимой скорости передачи для любого формата модуляции.

Таким образом, для достижения максимальных скоростей цифровых потоков в выделенном частотном диапазоне, необходимо обеспечить максимальное отношение  $C/N$ .

**Шумы в реверсном канале** обусловлены следующими составляющими:

1. Топологическим исполнением сети. Варианты топологических исполнений (хотя далеко не все) доходчиво изложены в [4]. Здесь остановимся только на сегментации традиционного простейшего оптического узла (ОУ), включающего в свой состав (рис.2) оптический приемник прямого канала (DC) и один оптический передатчик реверсного канала (RC). Более сложные ОУ (например, HNL

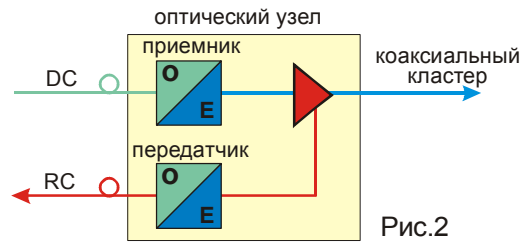


Рис.2

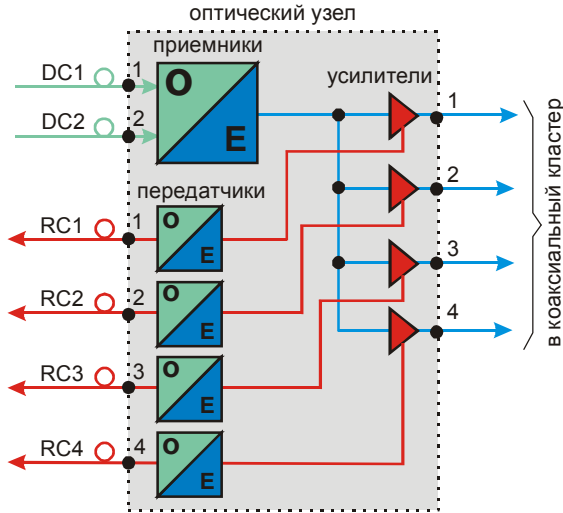


Рис.3

3844, Harmonic) могут включать в свой состав до 4-х независимых выходов (рис.3), каждый из которых через частотный дуплексер связан с собственным передатчиком RC. Такие ОУ обладают высокими эксплуатационными параметрами (например, HLN 3842С, Harmonic, обладает  $CTB$  и  $CSO > 70$  dB при  $C/N \geq 54$  dB), что позволяет обслуживать большое число абонентов (более 5000). Сегментация такого ОУ позволяет условно разбить весь большой кластер на подкластеры (сегменты), что и дает возможность увеличить  $C/N$  и суммарную скорость ( $SR$ ), приходящуюся на кластер.

В любом случае расчет  $C/N$  проводят на сегмент, нагруженный на конкретный оптический

передатчик реверсного канала.

2. Собственного приведенного динамического диапазона усилителя реверсного канала:

а) для случая установки аттенюатора на входе усилителя RC:

$$C/N_{[dB]} = U_{вых[dB\mu V]} - K_{ном[dB]} - F_{[dB]} - 5,2 - 10 \lg \Pi_{[МГц]} ; \quad (2)$$

б) для случая установки аттенюатора на выходе усилителя RC:

$$C/N_{[dB]} = U_{вх[dB\mu V]} - F_{[dB]} - 5,2 - 10 \lg \Pi_{[МГц]} . \quad (3)$$

где:  $U_{вх}$ ,  $U_{вых}$  - уровни входного и выходного сигналов усилителя RC;

$F$  - коэффициент шума усилителя RC;

$\Pi$  - полоса пропускания RC (полоса, в которой работает передатчик CM).

Например, при  $U_{вх} = 85$  dB $\mu$ V,  $U_{вых} = 100$  dB $\mu$ V,  $K_{ном} = 22$  dB,  $F = 6$  dB и  $\Pi = 3,2$  МГц,  $C/N$  составляет:

для случая а)  $C/N = 61,7$  dB;

для случая б)  $C/N = 68,7$  dB.

Как видно, в обоих случаях приведенный динамический диапазон составляет большую величину<sup>1</sup>. Различие в 7 dB заключается в величине введенного ослабления аттенюатора. Тем не менее, следует отметить, что реальный уровень сигнала, снимаемый с микросхемы для случая б) составляет для приведенного случая 107 dB $\mu$ V (100+7), что является до-

<sup>1</sup> Напомним, что согласно стандарта DOCSIS (любой версии), суммарное  $C/N$  в реверсном канале должно быть не менее 25 dB, а согласно EuroDOCSIS - не менее 22 dB. Автору не удалось понять физический смысл этого различия, т.к. форматы модуляции и полосы каналов идентичны.

вольно значительной величиной в части вносимых искажений (типичное значение  $U_{max} = 114 \dots 116 \text{ dB}\mu\text{V}$ ). А для случая а) выходной уровень микросхемы составляет всего  $100 \text{ dB}\mu\text{V}$ . При таком выходном уровне нелинейными искажениями в РС можно пренебречь [1,2]<sup>2</sup>. Это лишний раз указывает на целесообразность использования усилителей РС с аттенуатором, установленным на его входе, особенно в домовых усилителях (высокий уровень сигнала и высокий уровень шумов ингрессии). Такие усилители выпускаются фирмами Hirschmann, Acrodan, Telmor, “Стандар Телеком” и др. Причем, в усилителях от Hirschmann и “Стандар Телеком” предусмотрена универсальность установки регулируемого аттенуатора (на входе или выходе).

3. Уровня входного сигнала. Данное утверждение наглядно видно из формул (2) и (3) и проиллюстрировано на рис.4. Особенно важно придерживаться высокого системного уровня в домовых сетях, где наблюдаются значительные шумы ингрессии. Расчеты уровней сигналов в РС желательно проводить так, чтобы типовой уровень входного сигнала был не ниже  $75 \dots 80 \text{ dB}\mu\text{V}$ . Для отдельных магистральных усилителей допускается понижение входного уровня до  $60 \dots 65 \text{ dB}\mu\text{V}$ .

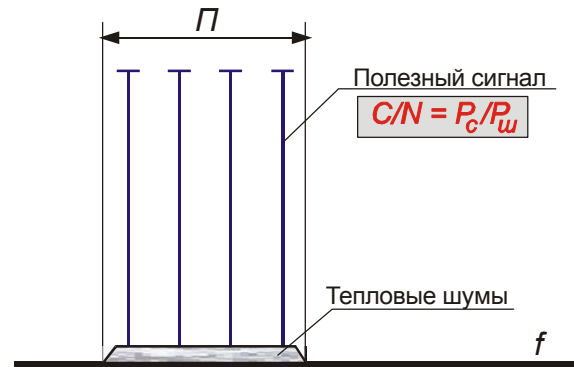


Рис.4

4. Числа усилителей в рассматриваемом кластере – N. Отношение  $C/N_{\Sigma}$ , связанное только тепловым шумам усилителей РС, вычисляется по формуле:

$$C/N_{\Sigma} = C/N - 10 \lg N. \quad (4)$$

Так, для  $N = 40$  (большой кластер) и  $C/N = 61,7 \text{ dB}$  (наихудший случай в наших примерах) суммарное  $C/N_{\Sigma} = 45,7 \text{ dB}$ .

Формула (4) справедлива при двух условиях:

а) равенства уровней сигналов на входе (для РС это общий выход) любого из разветвителей (рис.5) по всем суммируемым направлениям. Данное условие легко реализуемо на практике и всегда выполняется с той или иной погрешностью;

б) равенства  $C/N$  каждого из усилителей РС. Данное условие не всегда выполнимо на практике. В силу этого специалистами ЗАО “В-Люкс” разработана комплексная программа по расчету реверсного канала, включая расчеты  $C/N$  (для всех случаев), интермодуляционных искажений (IMD) и скоростей цифровых потоков (SR) по каждому из направлений (входам приемников

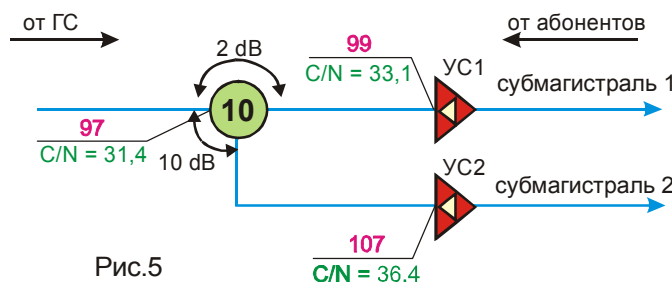


Рис.5

головной станции кабельных модемов - CMTS).

Однако, расхождения в  $C/N$  каждого из усилителей не велики и при использовании формулой (4) можно принимать усредненное значение  $C/N$  или наихудшее значение. При необходимости точного расчета:

$$C/N_{\Sigma} = 10 \lg(10^{-(C/N_1)/10} + 10^{-(C/N_2)/10} + \dots + 10^{-(C/N_N)/10}) \quad (5)$$

<sup>2</sup> Расчет нелинейных искажений в РС существенно отличается от расчета в прямом канале [5]. Данной теме будет посвящена отдельная статья.

где  $C/N_N$  - отношение несущая/шум  $N$ -го усилителя RC.

5. Отношение несущая/шум кабельного модема -  $C/N_{CM}$ . Согласно стандарта DOCSIS минимальное значение  $C/N_{CM} = 40$  dB (при максимальной полосе пропускания). Данные шумы появляются только во время передачи (посылки) CM. Чем больше выходной уровень CM, тем больше и абсолютный уровень шумов. Легко показать и важно отметить, что суммарный уровень тепловых шумов в RC не зависит от выходного уровня CM<sup>1</sup>. Здесь только заметим, что некоторые производители стали выпускать модемы с  $C/N_{CM} \geq 50$  dB (например, серия 400 от компании ARRIS.)

6. Уровни шумов CM во временных интервалах между посылками. Очевидно, что в перерывах между посылками CM продолжает шуметь, хотя и находится в условно закрытом состоянии. Уровень этих шумов согласно стандарта DOCSIS составляет  $-72$  dBc (т.е. шумы находятся на уровне  $-72$  dB относительно уровня несущей при ее посылке), но не менее  $5$  dB $\mu$ V (при низких уровнях выходной мощности). Так, при  $U_{вых} = 110$  dB $\mu$ V,  $N_{III} = 38$  dB $\mu$ V.

7. Числа включенных модемов -  $N_M$ . Действительно, чем больше включено CM в данный момент времени (даже если они и не совершают посылку), тем большая мощность шумов накапливается в RC. Причем, необходимо отметить, что  $N_M$  включает в себя общее число включенных модемов в данный момент времени вне зависимости от числа RC в выделенном диапазоне реверсного канала.

8. Отношения несущая/шум оптической системы -  $C/N_O$ . В данном случае рассматривается реверсное направление передатчик - приемник. К расчету этого отношения необходимо относиться крайне внимательно, т.к. на практике именно оптическая система вносит существенный вклад в накопление шумов. Полезные практические рекомендации по данному вопросу приведены в [6]. Если по данной оптической жиле реверсного направления суммируются несколько кластеров, то их шумы необходимо суммировать.

9. Полосы канала -  $P$ . Действительно, чем шире полоса канала, тем большая мощность шумов в ней накапливается [3].

10. Шумов ингрессии -  $C/N_{ИН}$ . Если тепловые шумы легко поддаются теории, то шумы ингрессии носят случайный, хаотичный характер и никаким теоретическим расчетам не поддаются. Тем не менее, именно шумы ингрессии вносят ощутимый вклад в итоговое отношение несущая/помеха ( $C/N_{RC}$ ), формируемое на входе приемника RC CMTS.

Существует три наиболее эффективных способа защиты от шумов ингрессии:

а) Увеличение уровня выходного сигнала с CM -  $U_{мод}$ . Можно рекомендовать величину  $105 \dots 110$  dB $\mu$ V, оставляя технологический запас на погрешности расчетов и климатические воздействия на КСКТП в целом.

б) Использование абонентских кабелей с максимальным коэффициентом радиозащиты с целью снижения напряжения шумов -  $U_{ИН}$ . Незначительный опыт измерения шумов ингрессии на абонентских отводах позволяет судить, что их величина лежит обычно в пределах  $18 \dots 46$  dB $\mu$ V и зависит от множества факторов: видов и числа включенных электробытовых приборов, близости наличия радиостанций, частотного диапазона и т.п. Особенно сильно зашумленным оказывается частотный диапазон  $5 - 15$  МГц, который и не рекомендуется к использованию. При проведении расчетов целесообразно задаваться величиной  $U_{ИН} = 28 \dots 34$  dB $\mu$ V при коэффициенте радиозащиты абонентского кабеля в

<sup>1</sup> В данной статье все формулы приведены без доказательств. При необходимости, автор с удовольствием предоставляет их вывод заинтересованным читателям.

75 dB. При коэффициенте радиозащиты в 65 dB это значение необходимо увеличить на 10 dB и т.д.

Полезные советы по борьбе с помехами приведены в [7].

в) Снижение числа абонентов в кластере –  $N_a$  (нагруженных на один передатчик реверсного канала). Действительно, все шумы ингрессии суммируются и поступают на оптический передатчик реверсного канала, снижая  $C/N_{IH}$  на величину  $10 \lg N_a$  (действует прежнее правило, что коэффициент передачи от любого из абонентских СМ до входа СМТS равны).

г) Отказ от индивидуальных СМ и переход на коллективные СМ. Данный вопрос довольно подробно освещен в [1].

**Расчет шумов в реверсном канале.** Расчет отношения несущая/помеха<sup>1</sup> в RC осуществляют по формуле:

$$C/N_{RC} = 10 \lg \left( 10^{\frac{(C/N_T)}{10}} + 10^{\frac{(C/N_{IH})}{10}} \right). \quad (6)$$

Здесь:

$$C/N_T = 10 \lg \left( 10^{\frac{(C/N_O)}{10}} + 10^{\frac{(C/N_{CM})}{10}} + 10^{\frac{(C/N_{\Sigma})}{10}} + 10^{\frac{72-10 \lg(N_M-1)}{10}} \right), \quad (7)$$

$$C/N_{IH[dB]} = U_{mod[dB\mu V]} - U_{IH[dB\mu V]} - 10 \lg N_a + 10 \lg \left( \frac{3,2}{\Pi_{[MГц]}} \right) \quad (8)$$

Так, для рассматриваемого нами случая:

$C/N = 61,7$  dB,  $\Pi = 3,2$  МГц,  $C/N_{CM} = 40$  dB,  $N = 40$ ,  $N_a = 2500$ ,  $N_M = 36$  dB $\mu$ V и  $U_{mod} = 105$  dB $\mu$ V:  $C/N_{RC} = 32,3$  dB.

При увеличении выходного уровня СМ до 110 dB:  $C/N_{RC} = 34,3$  dB или, при увеличении шумов ингрессии до  $U_{IH} = 42$  dB $\mu$ V:  $C/N_{RC} = 28,2$  dB. При полном отсутствии шумов ингрессии  $C/N_{RC} = 35,7$  dB.

## Литература

1. Песков С.Н. Практические рекомендации по построению интерактивных мультимедийных кабельных сетей коллективного телевизионного приема (КСКТП). “Телеспутник”, 2003г., №№ 10,11,12.
2. Песков С.Н. Современные кабельные сети коллективного телевизионного приема (CD носитель), 2002г., 576с.
3. Белоусов А.П., Каменецкий Ю.А. Коэффициент шума. М., “Радио и связь”, 1981г., 112с.
4. Березиков С.А., Рядчиков В.Е. DOCSIS: Пропускная способность двунаправленных сетей КТВ. “Телеспутник”, 2004г., №7, с.66-69.
5. Песков С.Н. Рабочий выходной уровень усилителей в широкополосных телевизионных сетях. “Телеспутник”, 2004г., №3, 4.
6. Березиков С.А., Рядчиков В.Е. Расчет уровня сигнала на передатчике обратного канала. “Телеспутник”, 2004г., №1, с.62-64.

<sup>1</sup> Под помехой понимаются тепловые шумы и шумы ингрессии, как оговорено стандартом DOCSIS.

7. Березиков С.А., Рядчиков В.Е., Скобелев Ю.В. Помехи в обратном канале и борьба с ними: обобщение практического опыта. "Телеспутник", 2003г., №12, с.64, 65.