

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА СИГНАЛА, КОНТРОЛИРУЕМЫЕ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

С.Л. Федоров

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

При эксплуатации систем цифрового телевизионного вещания необходимо контролировать ряд параметров, анализ значений которых позволяет обнаружить на ранней стадии возможные проблемы и избежать потери цифрового телевизионного сигнала на приемной стороне. Необходимо обратить внимание на так называемые параметры основной полосы (уровень транспортного потока) и параметры, относящиеся к высокочастотной части ТВ системы.

DVB, цифровое телевидение, измерения, параметры качества цифрового ТВ сигнала, MER, BER, Eb/No, запас по помехоустойчивости, сигнальное созвездие.

При воздействии шумов и помех на распространяемый сигнал современные цифровые системы телевизионного (ТВ) вещания (кабельные, спутниковые, наземные) ведут себя совершенно по-другому в сравнении с аналоговыми. Так при приеме аналогового ТВ сигнала качество изображения может быть изменено за счет манипуляций с приемной антенной. Даже если качество изображения остается плохим, а программа представляет определенный интерес, зритель, как правило, будет продолжать смотреть ее, пока есть звуковое сопровождение.

При потере цифрового ТВ сигнала путь восстановления не всегда очевиден. Проблема может быть вызвана ошибками в транспортном потоке MPEG-2 или падением мощности радиочастотного (РЧ) сигнала ниже определенного порога, которое может быть связано: с проблемами со спутниковой антенной и малошумящим усилителем, отражениями и интерференцией РЧ сигнала, с шумами и помехами в канале, с проблемами в кабельном усилителе или модуляторе. Одним из путей решения является производство ТВ-приставок более чувствительных к приему ослабленного сигнала.

Помимо ошибок транспортного потока MPEG-2, которые делятся на три приоритета [1], основными параметрами, которые следует контролировать в системах цифрового телевидения, являются:

1. Мощность РЧ сигнала. Измеряют на входе или выходе ВЧ преобразователя тепловым датчиком в заданной полосе пропускания, используя калиброванный ответвитель. При использовании спектроанализатора или измерительного приемника

мощность сигнала оценивается в номинальной полосе пропускания сигнала.

2. Коэффициент ошибок (*BER*).
3. Коэффициент ошибок модуляции (*MER*). «Ранний» индикатор деградации сигнала. Измеряется в дБ.
4. Амплитуда вектора ошибок (*EVM*). Параметр, аналогичный *MER*, но выражается в процентах.
5. Флаг транспортной ошибки (*TEF*). Показывает, что не все ошибки исправлены помехоустойчивым кодом.
6. Отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума (E_b/N_0). Измеряется в дБ.
7. Параметр, характеризующий запас по помехоустойчивости (*LKM*, *Margin*). Измеряется в дБ.
8. Вид диаграммы созвездия. Несмотря на то, что это не относится к общепринятому понятию «параметр», искажение вида созвездия характеризует состояние линии связи и характеристик модулятора, что также немаловажно.

Ниже будут более подробно рассмотрены некоторые указанные параметры.

Коэффициент ошибок (*BER*) – отношение количества ошибочно принятых бит к общему числу принятых бит. Различают три вида коэффициента ошибок (рис.1): *CH BER* перед внутренним декодером помехоустойчивых кодов (*CH BER*), *BER* перед внешним декодером помехоустойчивых кодов (*post V BER*) и *BER* после внешнего декодера помехоустойчивых кодов. *PER* – пакетный коэффициент ошибок (отношение количества ошибочно принятых пакетов к общему числу принятых пакетов).

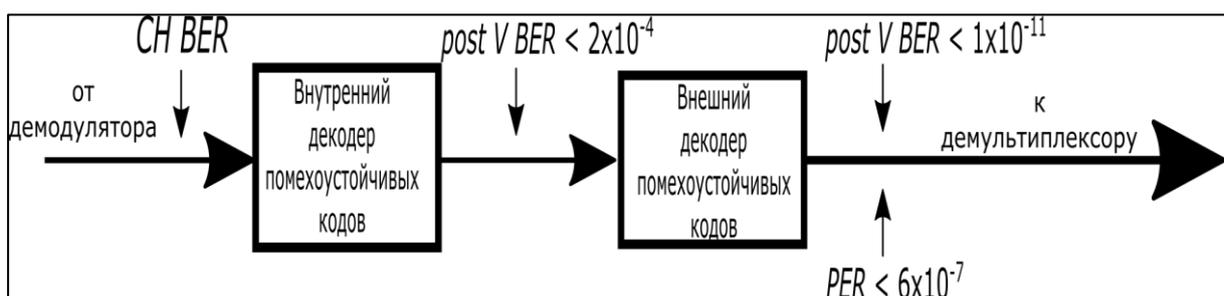


Рис. 1. Фрагмент приемного устройства

С приближением системы к «точке срыва» *CH BER* увеличивается постепенно, *post V BER* более круто и *BER* после внешнего декодера – очень круто. В результате, выдается предупреждение, но, как правило, слишком поздно, чтобы предпринимать какие-либо необходимые

корректирующие действия. Целесообразно, использовать измерение BER для идентификации периодических и кратковременных нарушений.

Типичные значения для $CH\ BER$: 1×10^{-9} (без ошибок), 2×10^{-4} (квазибезошибочный прием), 1×10^{-3} (критический BER), больше 1×10^{-3} (нет сервиса (услуги)).

Коэффициент ошибок модуляции (MER):

$$MER = 10 \lg \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right], \text{ дБ} \quad (1),$$

где N – количество векторов, (I_j, Q_j) – компоненты идеального вектора (координаты принимаемого символа), $(\delta I_j, \delta Q_j)$ – компоненты вектора ошибок.

Коэффициент ошибок модуляции (MER) указывает на ухудшение сигнала на входе приемника и позволяет оценить способность этого приемника правильно декодировать сигнал.

В сущности, сравнивается фактическое местонахождение принятого символа с его идеальным расположением. Как следует из формулы (1), чем больше деградация сигнала, тем меньше MER .

Взаимосвязь MER и $CH\ BER$ показана на рис.2.

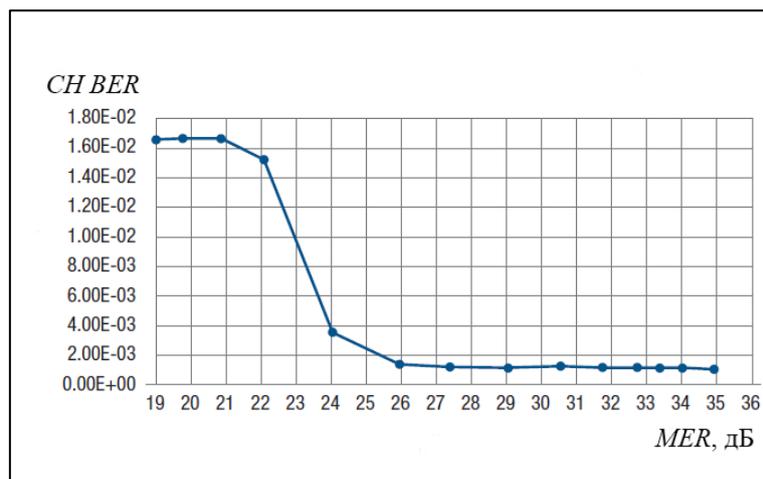


Рис. 2. Зависимость $CH\ BER$ от MER

Результаты, представленные на рис. 2 были получены опытным путем [2]. При отсутствии шума $MER = 35$ дБ. При введении шума и увеличении его уровня MER постепенно уменьшается, а $CH\ BER$ практически не изменяется. При достижении $MER = 26$ дБ, $CH\ BER$ начинает увеличиваться и его значение уже соответствует невозможности приема ТВ сигнала. Таким образом, MER «фиксирует» постепенную деградацию системы задолго до достижения «точки срыва».

Параметр EVM (амплитуда вектора ошибок) аналогичен MER , но выражаются по-разному:

$$EVM_{\text{сквдр}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)}{S_{\text{max}}^2}} 100, \%$$

где S_{max} – максимальное значение модуля векторов (I, Q).

EVM увеличивается по мере деградации системы, а MER уменьшается.

Внешний вид диаграммы созвездия может дать информацию о том, что происходит при передаче сигнала. Ниже приведены диаграммы и указываются причины возникновения искажений:

1. Амплитудный дисбаланс. Разница в усилении между синфазной и квадратурной составляющих созвездий формируют диаграмму в виде прямоугольника, вместо квадрата.
2. Квадратурная ошибка «отталкивает» символы посадочных точек ближе к границам, снижая, тем самым, шумовой порог (*margin*). Это происходит, когда I и Q не расположены точно под углом 90° . В результате, диаграмма теряет свою квадратность и принимает вид параллелограмма или ромба.
3. Шумовые ошибки. В результате воздействия шумов принимаемые символы в «ячейке» отходят от идеальных положений.
4. Амплитудные искажения. Происходит округление угловых граней по обеим квадратурным осям. Они возникают, если модулятор или система оптической передачи работают на пределе своих возможностей. Такое происходит на более высоких амплитудных уровнях. Диаграмма отображается в виде сферы или рыбьего глаза.
5. Когерентная интерференция. Диаграмма получается в виде массива колец или «пончиков».
6. Фазовый шум (джиттер по осям I и Q). Генератор несущей или локальный генератор в цепи прохождения сигнала добавляют фазовый шум.

Необходимо отметить, что амплитудные искажения и фазовые ошибки в современных модуляторах незначительны.

Еще один параметр, который целесообразно измерять при внедрении и эксплуатации систем ТВ вещания – LKM , дБ, или *margin*, дБ, характеризующий запас по помехоустойчивости:

$$LKM = \frac{E_b}{N_0} - \frac{E_{b \text{ порог}}}{N_{0 \text{ порог}}},$$

где E_b/N_0 – отношение энергии бита (E_b) к спектральной плотности мощности шума (N_0), значение $E_{b \text{ порог}}/N_{0 \text{ порог}}$ достигается при $BER = 1 \times 10^{-7}$.

Как известно, в цифровых системах связи параметр E_b/N_0 используется как нормированная версия отношения сигнал-шум S/N :

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{ST_b}{N/W} = \frac{S/R}{N/W},$$

где T_b – время передачи бита информации, W – ширина полосы, R – битовая скорость.

В таблице 1 приведены типичные значения некоторых рассмотренных параметров.

ТАБЛИЦА 1. Значения параметров на приемной стороне

| № | Параметр | Стандарт DVB-S2 (для 8PSK) | | Стандарт DVB-T2 (для COFDM, 256QAM) | |
|---|---|----------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|
| | | Минимальное значение | Типичное значение | Минимальное значение | Типичное значение |
| 1 | Средний уровень мощности сигнала, дБмкВ | 40 | 50 | 40 | 50 |
| 2 | LKM , дБ | 3 | 6 | 6 | 9 |
| 3 | PER , не более | 1×10^{-7} | 1×10^{-8} | 1×10^{-7} | 1×10^{-8} |
| 4 | MER (FEC 2/3), дБ | 11 | 14 | 25 | 28 |
| 5 | MER (FEC 3/4), дБ | 12 | 15 | 26,5 | 29,5 |
| 6 | MER (FEC 5/6), дБ | 13 | 16 | 28,5 | 31,5 |

Список использованных источников

1. ГОСТ Р 52592–2006. Тракт передачи сигналов цифрового вещательного телевидения, звенья тракта и измерительные сигналы. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2006. 50 с.: ил.

2. Critical RF Measurements in Cable, Satellite and Terrestrial DTV Systems. Application Note [Электронный ресурс] // URL: http://www.tek.com/dl/2TW_17370_2_HR_0.pdf (дата обращения 10.03.2017).