

Основные параметры, контролируемые в цифровом телевидении

Потерян прием ТВ программы

причины

Ошибки в транспортном потоке MPEG-2

Падение мощности РЧ сигнала:

1. Проблема со спутниковой антенной
2. Проблема с МШУ
3. Отражения РЧ сигнала и интерференция
4. Шумы и помехи в канале
5. Проблемы в кабельном усилителе или модуляторе

Приемники должны быть более чувствительными с приему ослабленного сигнала.

Основные параметры:

1. Мощность РЧ сигнала.

Измеряют на входе или выходе ВЧ преобразователя в заданной полосе пропускания, используя калиброванный ответвитель. При использовании спектроанализатора или измерительного приемника мощность сигнала оценивается в номинальной полосе пропускания сигнала.

2. Вид диаграммы созвездия.

Характеризует состояние линии связи и характеристик модулятора.

3. MER (коэффициент ошибок модуляции)

«Ранний» индикатор деградации сигнала. Измеряется в дБ.

4. EVM (амплитуда вектора ошибок)

Параметр, аналогичный MER, но выражается по другому, в %.

5. BER (коэффициент ошибок)

6. TEF (флаг транспортной ошибки)

Показывает, что не все ошибки исправлены помехоустойчивым кодом.

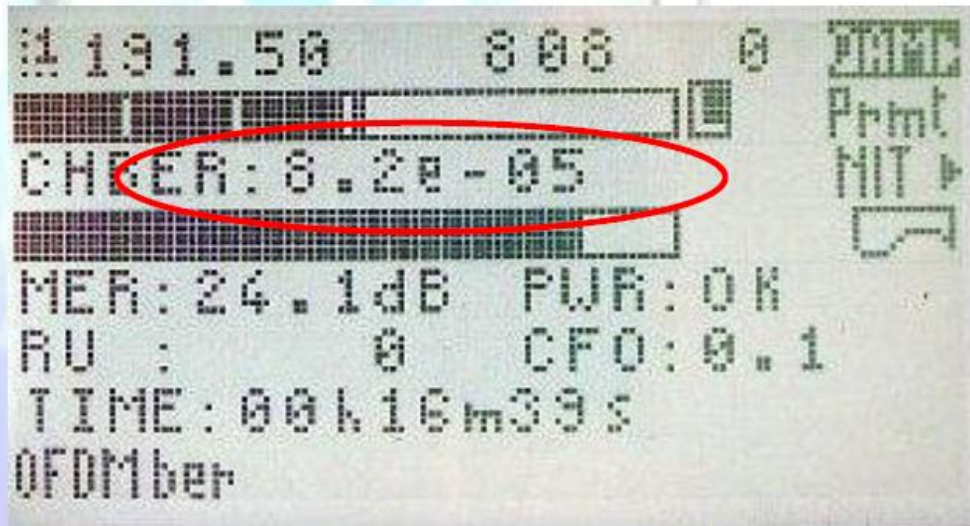
7. *Eb/No*

8. *Margin*

Характеризует запас по помехоустойчивости.

BER (коэффициент ошибок)

$$BER = \frac{\text{кол - во ошибочно принятых бит}}{\text{общее число принятых бит}}$$



E-01 = 10

E-02 = 100

E-03 = 1000

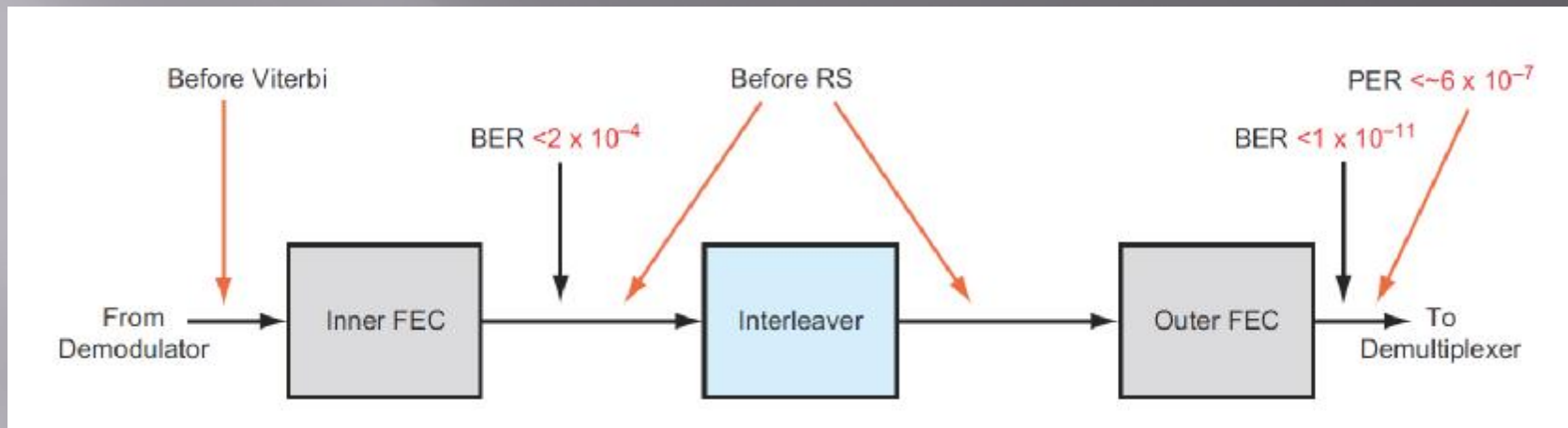
E-04 = 10,000

E-05 = 100,000

E-06 = 1,000,000

E-07 = 10,000,000

E-08 = 100,000,000



1. BER перед декодером Витерби (сверточное декодирование) – CH BER
2. BER перед декодером Рида-Соломона – post V BER
3. BER после декодера Рида-Соломона

С приближением системы к «точке срыва», CH BER увеличивается постепенно, post V BER более круто, BER после RS – очень круто.

Характер изменения BER не позволяет заранее спрогнозировать приближение к «точке срыва».

Рекомендуется использовать BER для идентификации периодических и кратковременных нарушений.

Типичные значения: CH BER: 1E-09 (без ошибок); 2E-04 (квазибезошибочный прием); 1E-03 (критический BER); больше 1E-03 (нет сервиса).

PER (Packet Error Ratio) – пакетный коэффициент ошибок

PER = кол-во ошибочных пакетов после FEC / полное кол-во принятых пакетов

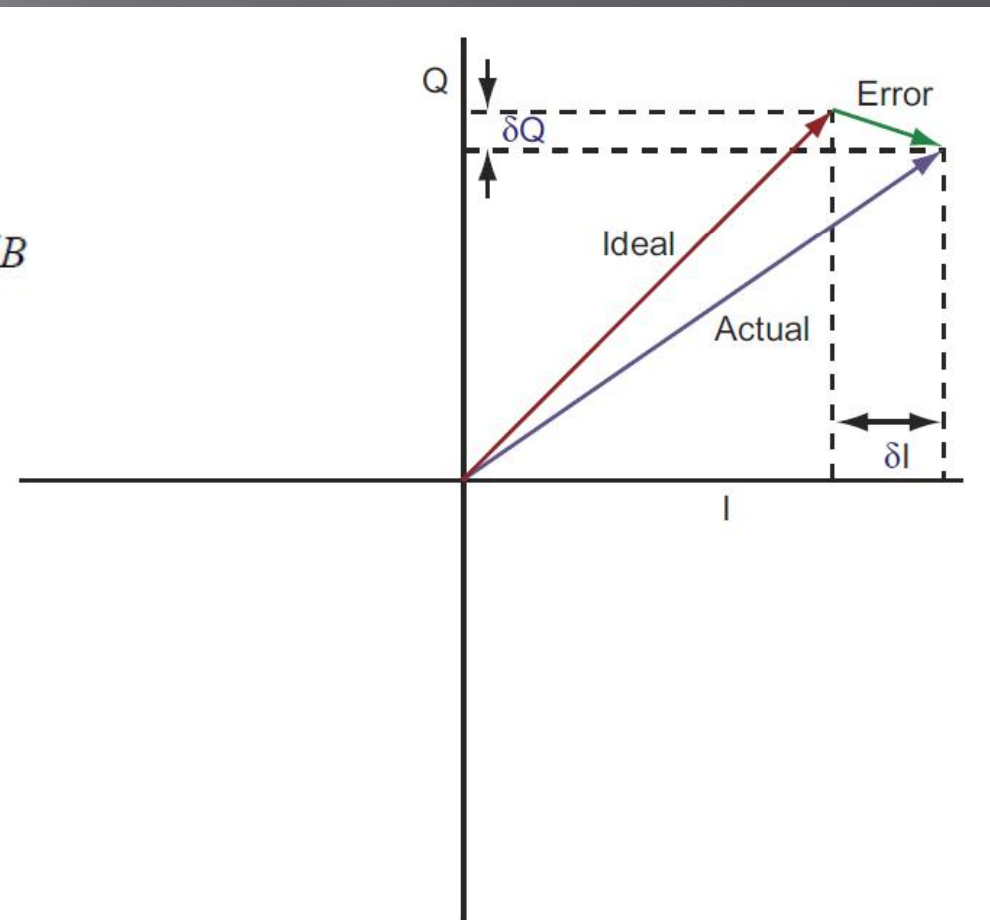
MER (коэффициент ошибок модуляции)

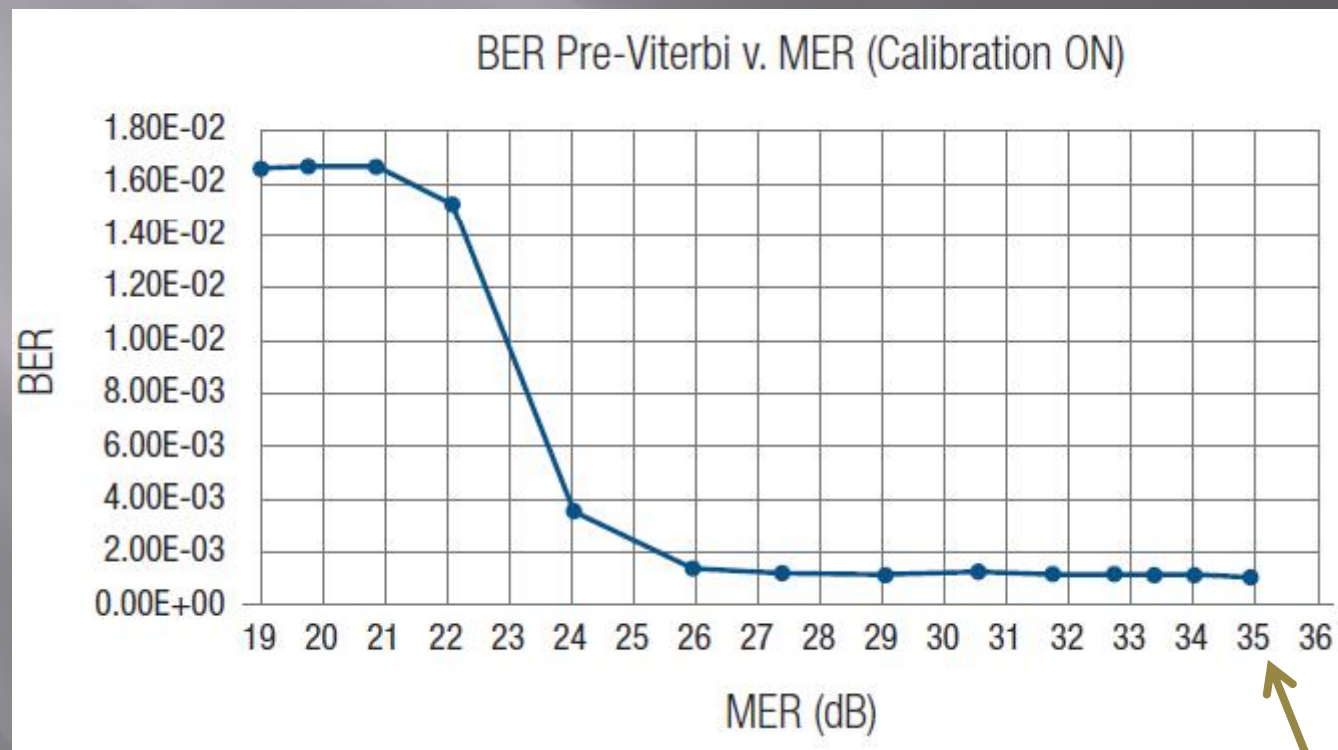
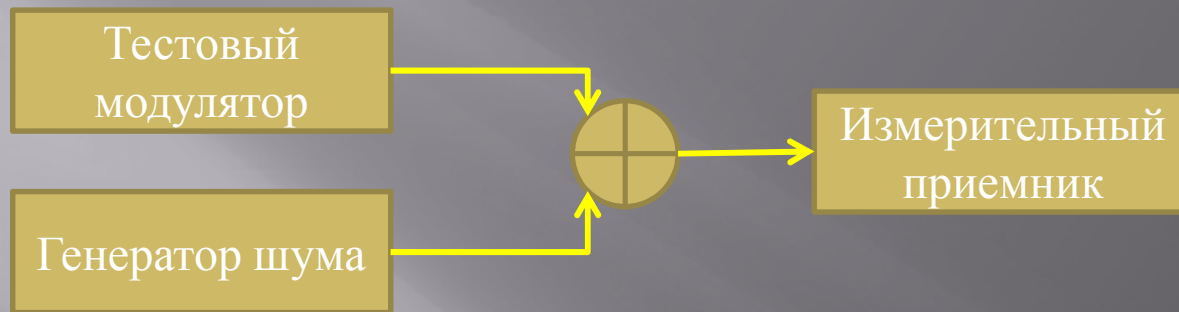
Указывает на ухудшение сигнала на входе приемника и позволяет оценить способность этого приемника правильно декодировать сигнал.

$I = I_j + \delta I_j$, $Q = Q_j + \delta Q_j$ I, Q - координаты каждого полученного символа.

$$MER = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right\} dB$$

В сущности, MER сравнивает фактическое местонахождение принятого символа с его идеальным расположением.
Чем больше деградация, тем меньше **MER**.





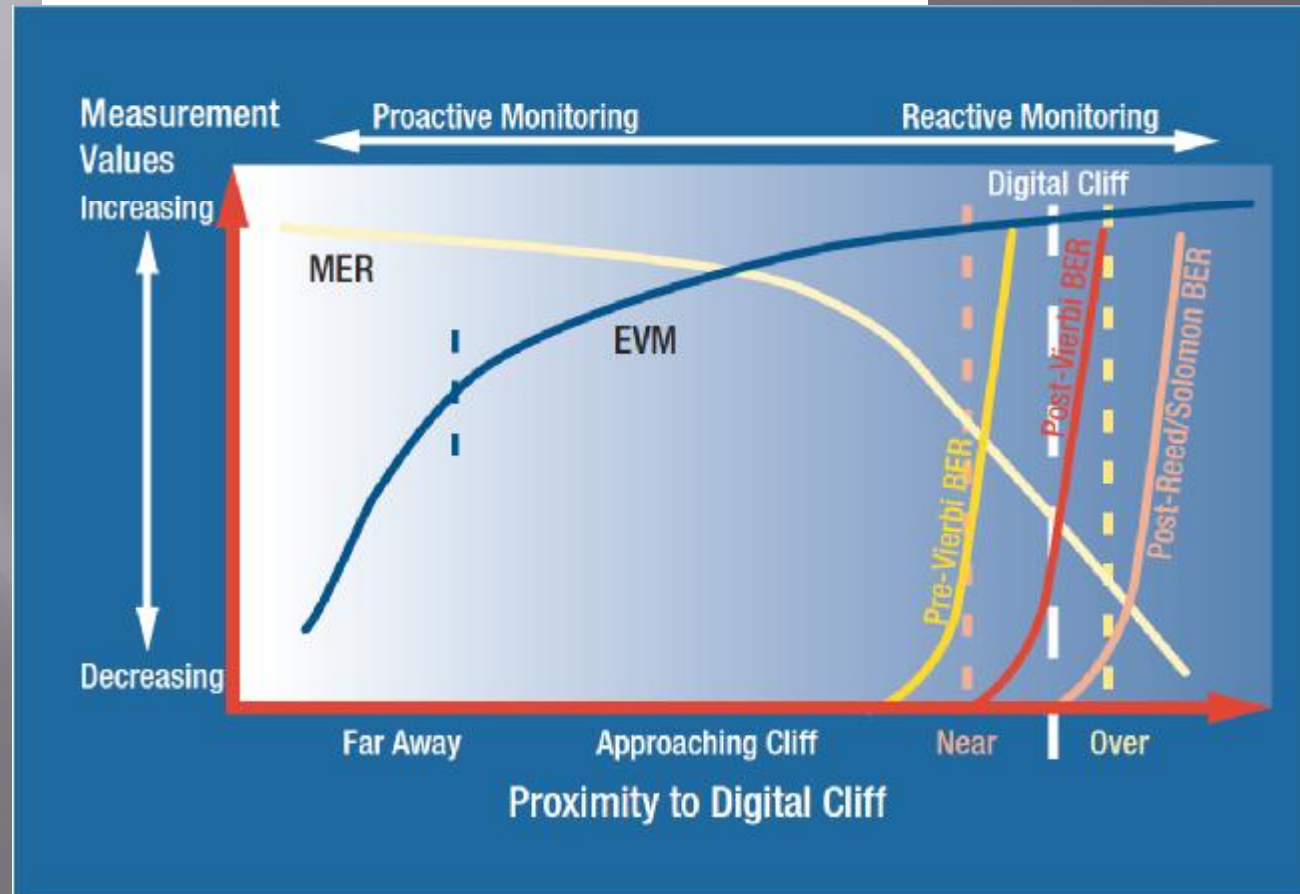
MER отмечает постепенную деградацию системы задолго до достижения «точки обрыва».

Шума нет

EVM (амплитуда вектора ошибок)

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

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



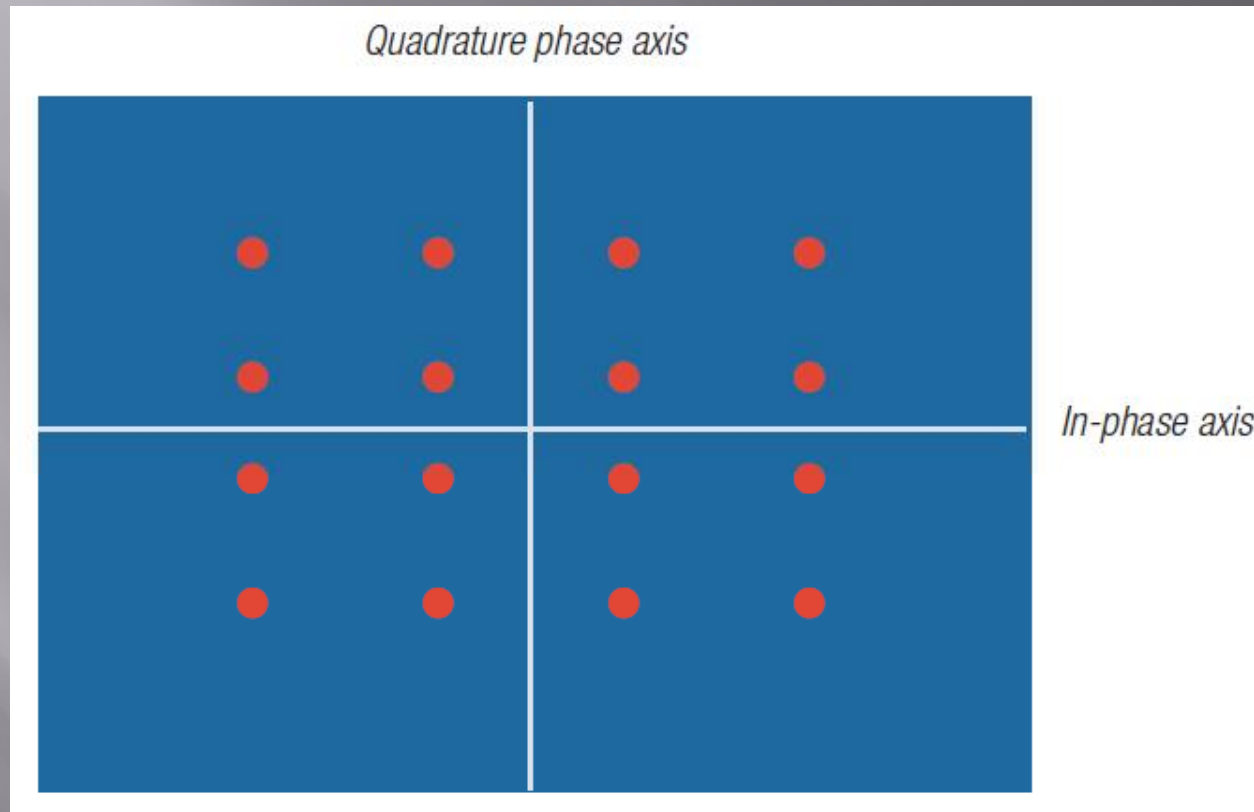
Как MER и EVM может использоваться, чтобы предсказать, какой запас «прочности» есть у системы, перед тем как **BER** резко увеличится и приём пропадёт.

Вид диаграммы созвездия

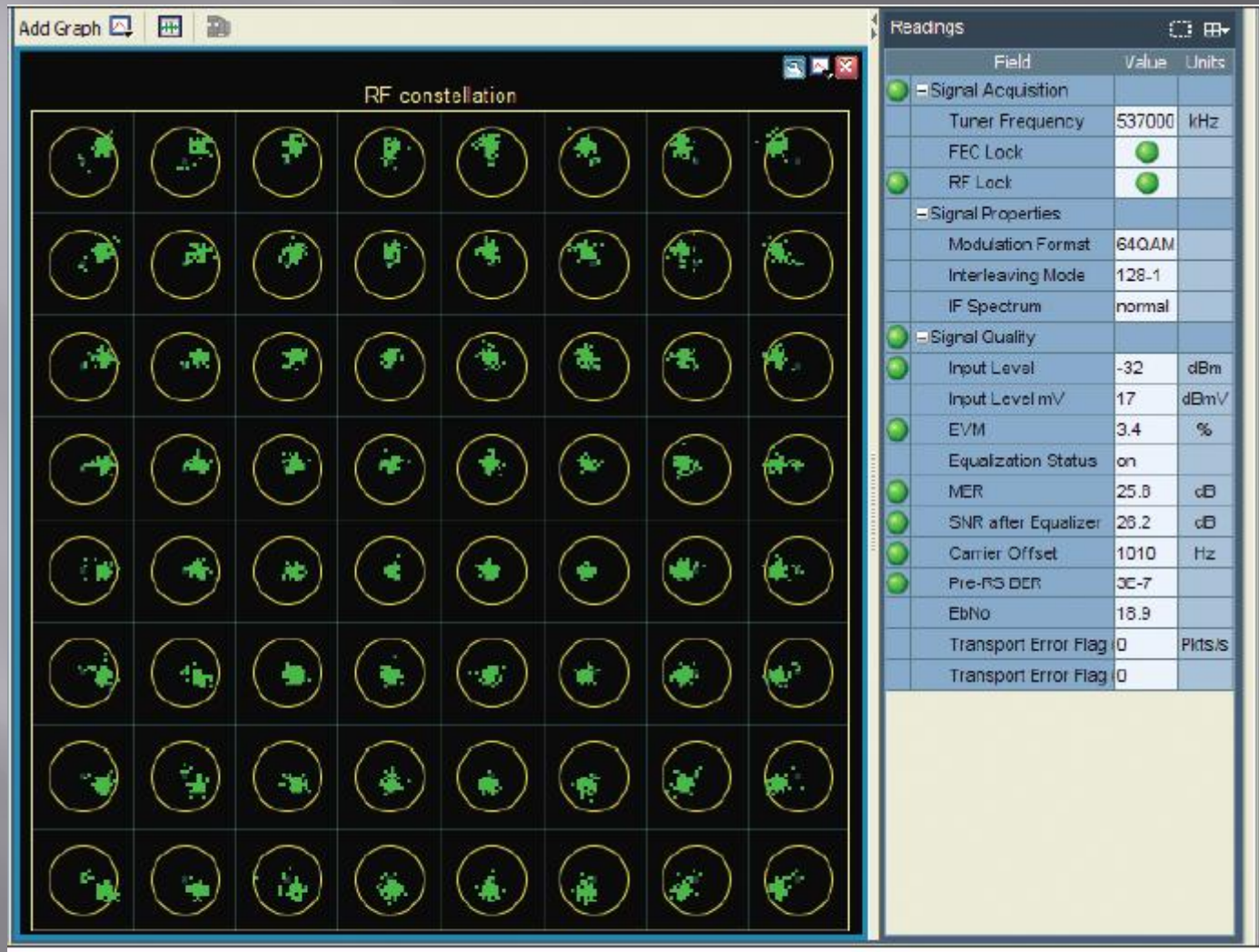
Диаграмма созвездий может выявить следующие проблемы модуляции:

- амплитудный дисбаланс;
- ошибка квадратуры;
- когерентная интерференция;
- фазовый и амплитудные шумы;
- фазовая ошибка
- MER.

Амплитудный дисбаланс:



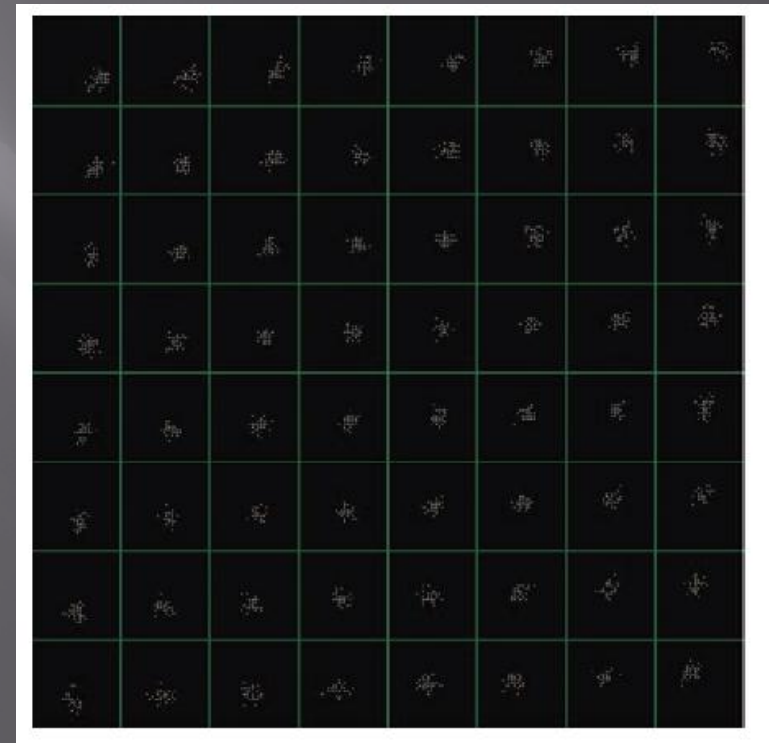
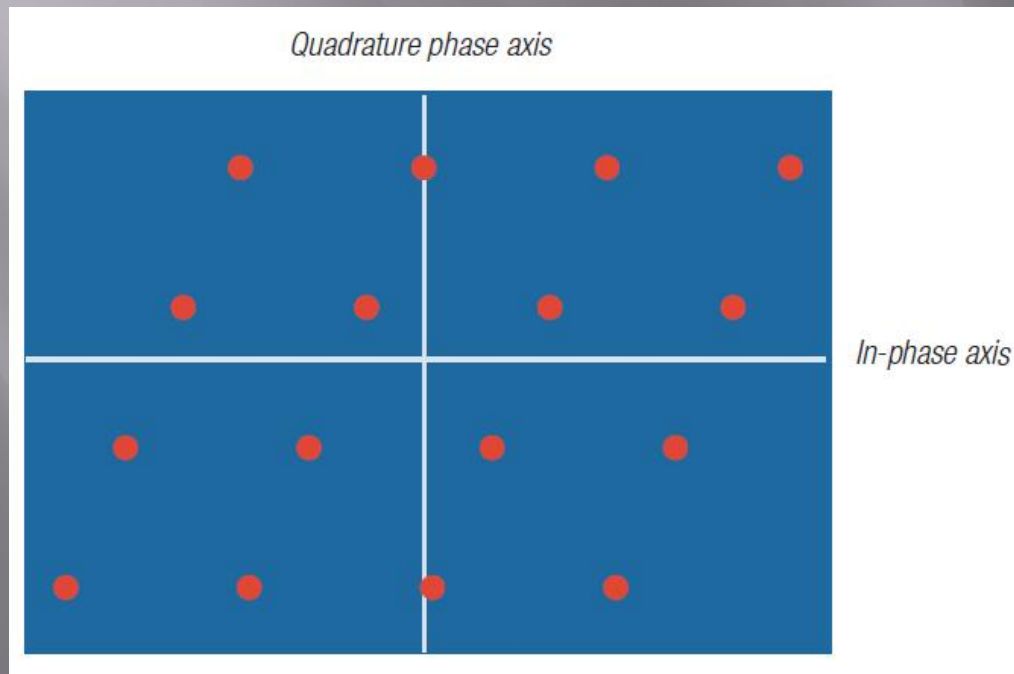
Разница в усилении между синфазной и квадратурной составляющих созвездия формирует его в прямоугольник вместо квадрата.



Амплитудный дисбаланс 10%. Круги вокруг каждого образца IQ представляет собой общую MER (25,8 дБ)

Квадратурная ошибка:

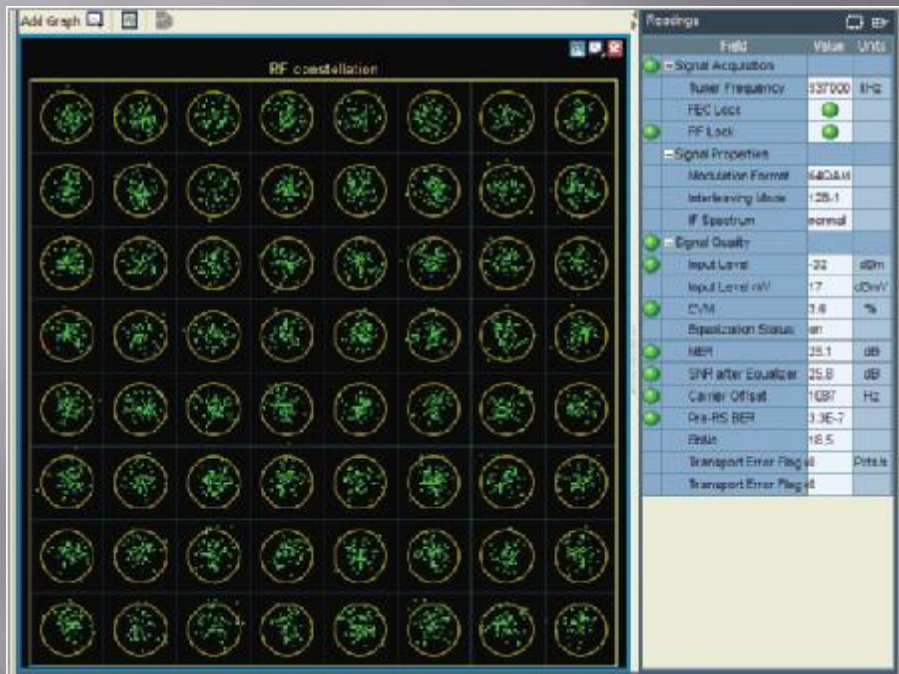
Квадратурная ошибка «отталкивает» символ посадочных точек ближе к границам и, следовательно, снижает шумовой порог (**margin**). Это происходит, когда **I** и **Q** не расположены точно под углом 90 градусов. Результат заключается в том, что схема созвездия теряет свою квадратность и принимает вид параллелограмма или ромба.



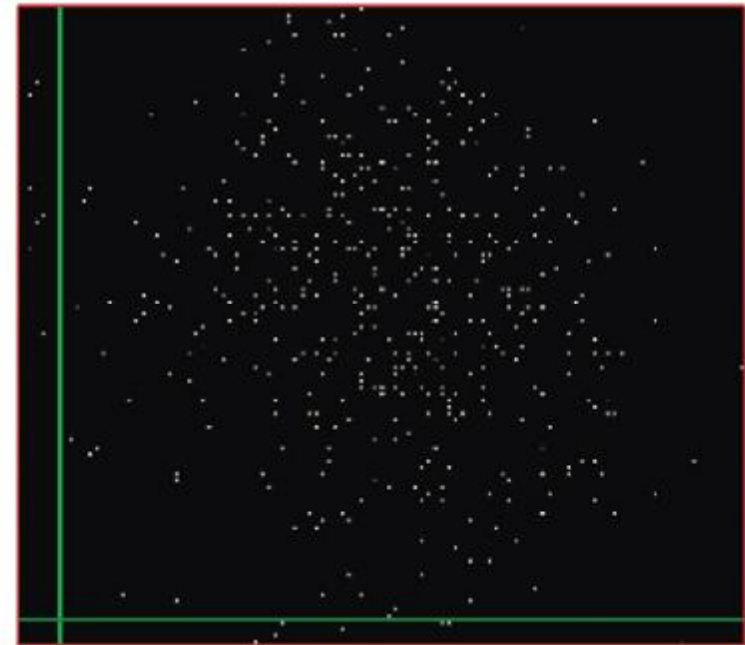
Ошибка 5 градусов.

Шумовые ошибки:

В результате воздействия шумов принимаемые символы в «ячейке» отходят от идеальных положений.



Кабельное ТВ 64 QAM



Спутниковое ТВ QPSK

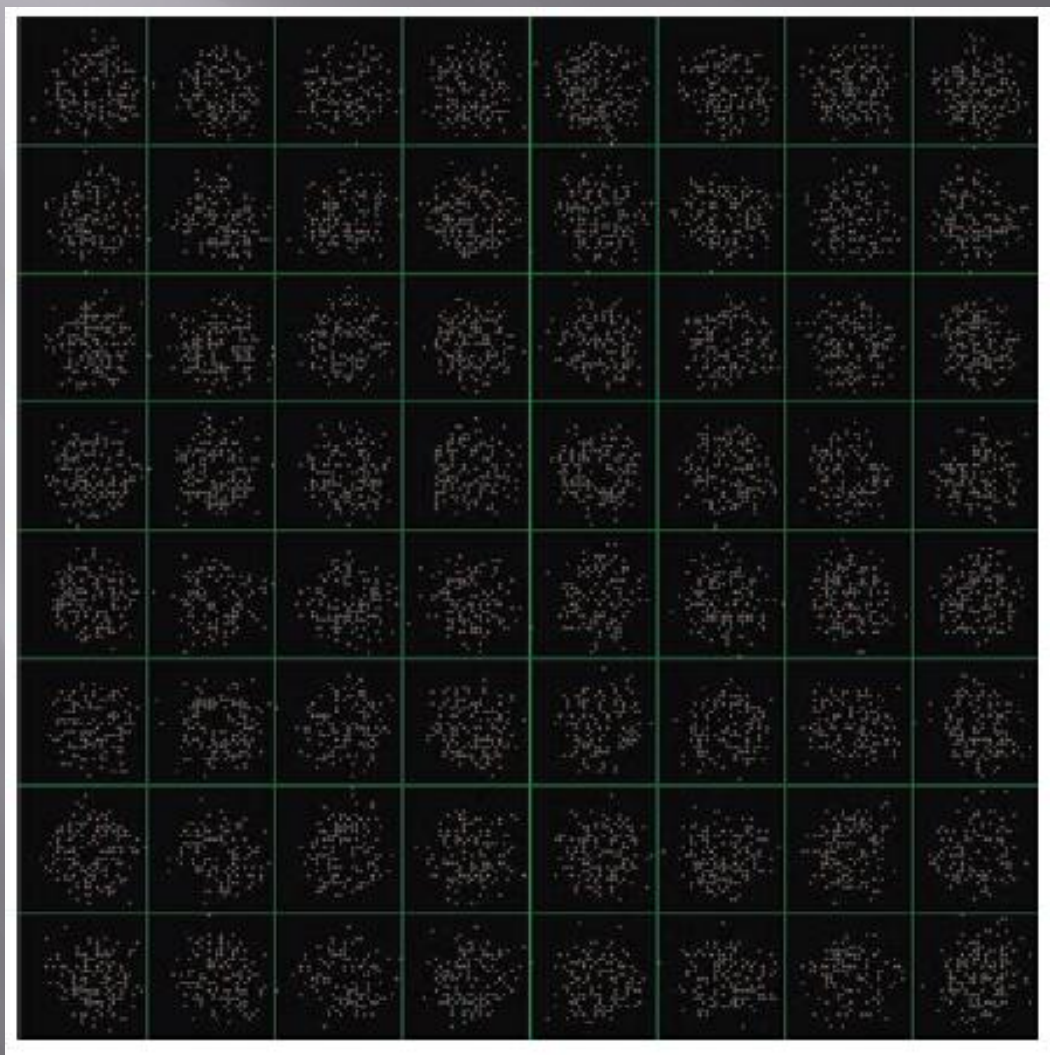
Амплитудные искажения:

Вызывают округление угловых граней, в обеих квадратурных I и Q осях, но только там, где модулятор или система оптической передачи (ВОЛС) работают на пределе своих возможностей. Такое происходит на более высоких амплитудных уровнях, показывая нелинейность. Это отображается либо в виде сферы, либо рыбьего глаза.



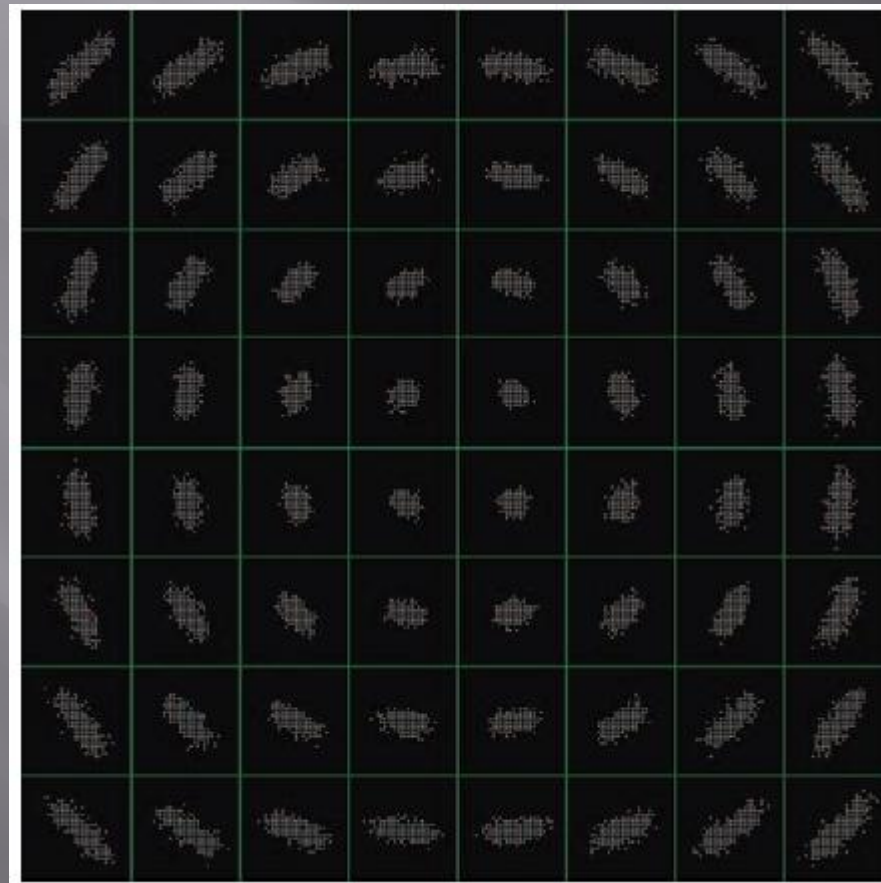
Когерентная интерференция:

Получается массив колец или «пончиков»



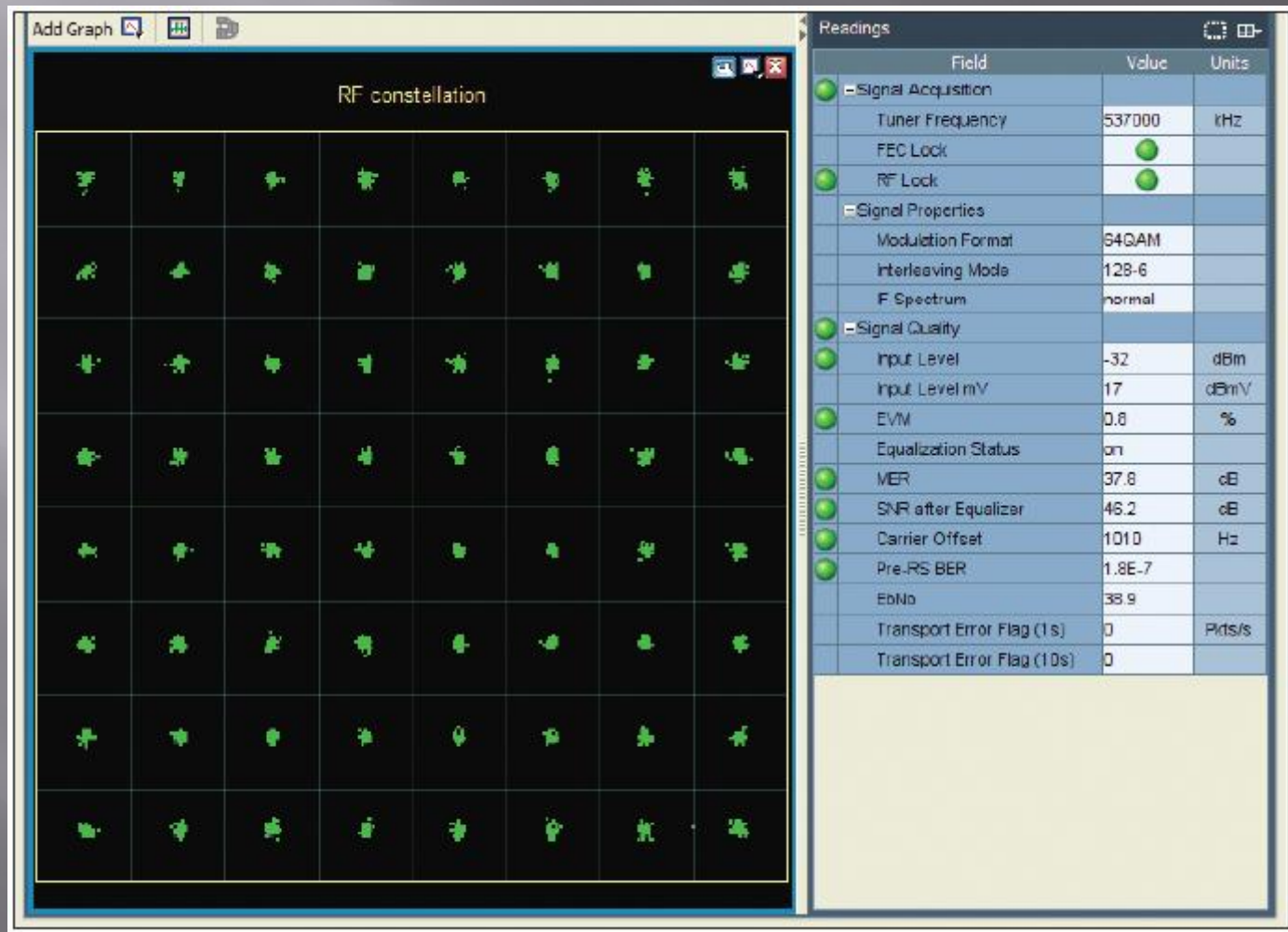
Фазовый шум (джиттер по осям I и Q):

Любой генератор несущей или локальный генератор в цепи прохождения сигнала добавляют фазовый шум (дрожание фазы). Фазовый шум отображается в виде концентрических кольцевых дуг.



Амплитудные искажения и фазовые ошибки в современных модуляторах незначительны.

Изображение корректно-принимаемого сигнала.



Margin

Характеризует запас по помехоустойчивости.

$$\text{Margin} = E_b/N_0 \text{ (дБ)} - \text{пороговый } E_b/N_0 \text{ (дБ)}$$

Пороговый E_b/N_0 достигается при **BER** $1 * 10^{-7}$

E_b/N_0

Из теории передачи аналоговых сигналов известно, что одним из критериев качества сигнала является S/N .

S – средняя мощность сигнала

N – средняя мощность шума

В цифровых системах связи чаще используется нормированная версия S/N , обозначаемая как E_b/N_0 , где E_b – энергия бита.

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

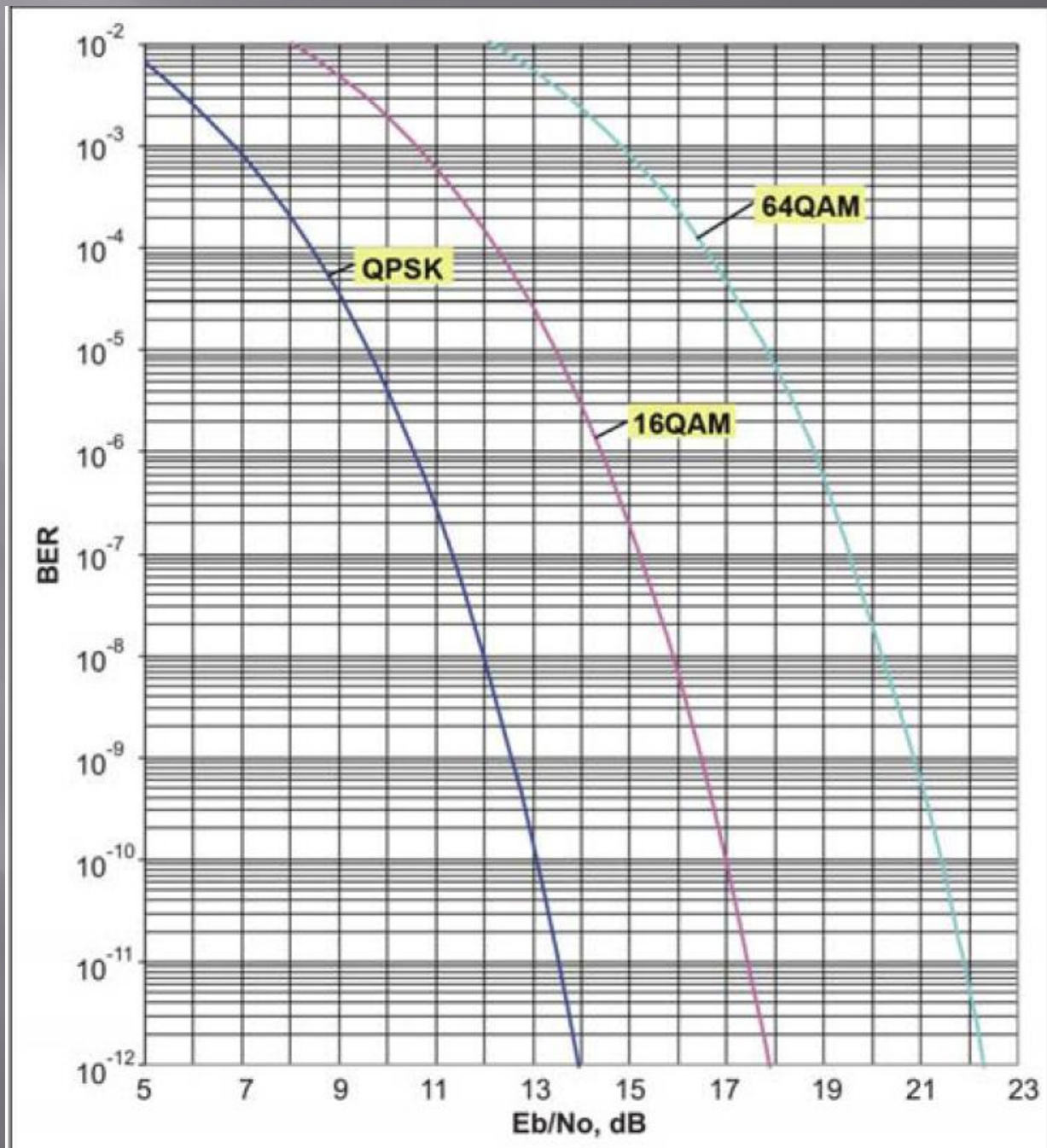
T_b - время передачи бита информации;

N_0 – спектральная плотность мощности шума;

W – ширина полосы;

R - битовая скорость

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \left(\frac{W}{R} \right) \cdot$$



$$E_s = E_b \log_2 L$$

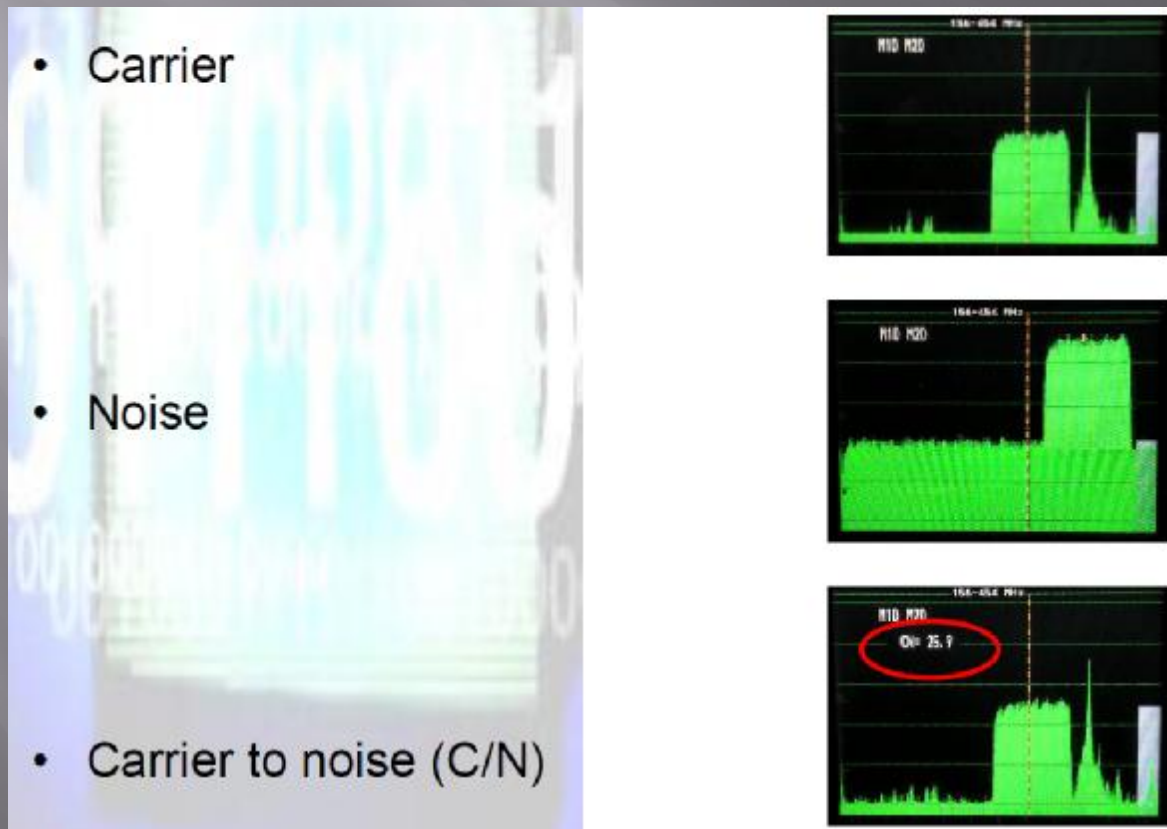
E_s – энергия символа;
 L – число уровней амплитуд

$$L = \sqrt{M}$$

M-QAM

C/N – отношение несущая/шум

Отношение C/N является удобным параметром при расчетах энергетики на входе приемника.



$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} + 10 \lg \frac{W}{f_s \cdot m}, \text{ дБ.}$$

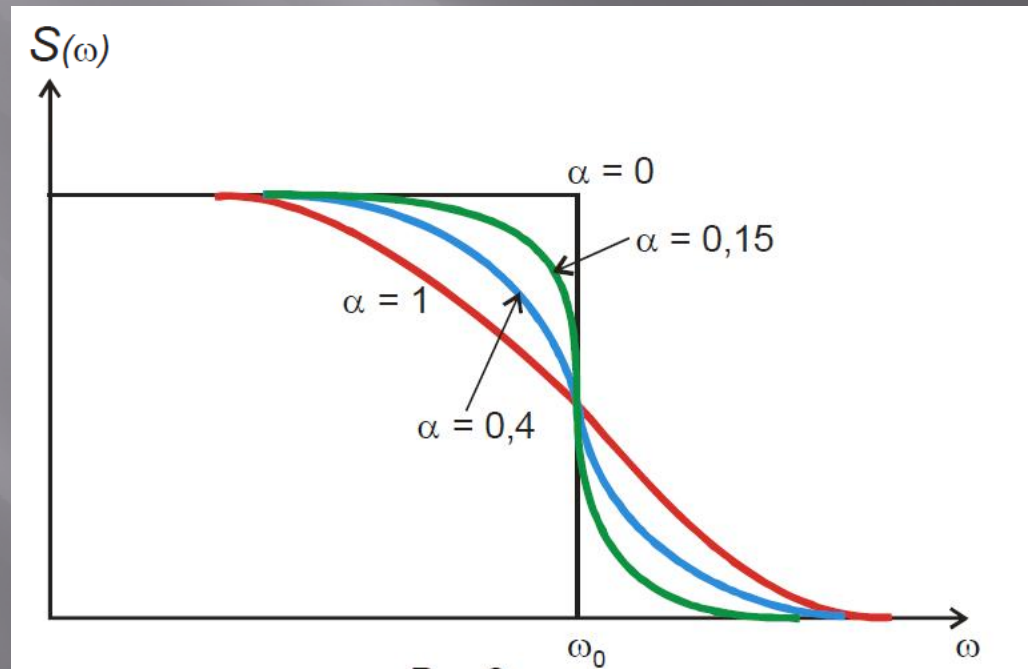
f_s - символная скорость

$$m = 2(\log_2 L) = \log_2 M$$

коэффициент мапинга (число бит на символ информации)

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \lg \left(\frac{\log_2 M}{1 + a} \right)$$

a – коэффициент скругления спектра (фактор **roll-off**)



Пример 1.

Допустим, что используется QAM система со следующими параметрами:

символьная скорость: $f_s = 6,875 \text{ Мсимв/с}$,

Коэффициент скругления спектра: $a = 0,15$ (DVB-C),

шумовая полоса приемной системы (IRD) $W = 8 \text{ МГц}$;

конstellационный размер $M = 64$;

мощность несущей составляет -25 дБмВт ($83,75 \text{ дБмкВ}$).

Требуемое отношение $C/N = 23 \text{ дБ}$.

формулы пересчета из дБмВт в дБмкВ

$$U_{[\text{дБмкВ}]} = 108,75 + P_{[\text{дБмВт}]}$$

1. Энергия на бит информации:

$$E_b = C - 10 \lg[\log_2(M) \cdot f_s] = 101,15 \text{ дБмВт} (7,6 \text{ дБмкВ}).$$

2. Шумовая мощность:

$$N = C - C/N = -48,00 \text{ дБмВт} (60,75 \text{ дБмкВ}).$$

3. Спектральная плотность шумовой мощности:

$$N_0 = N - 10 \lg(W) = -118,03 \text{ дБмВт} (-9,28 \text{ дБмкВ}).$$

4. Нормированное отношение E_b/N_0 :

$$E_b / N_0 = E_b - N_0 = 16,88 \text{ дБ}.$$

5. Сигнал в IRD проходит через косинусно-квадратичный фильтр, полоса которого пропорциональна символьной скорости f_s , в следствие чего реальная шумовая мощность на выходе фильтра несколько понизится:

$$N_{REC} = N + 10 \lg(f_s / W) = -48,66 \text{ дБмВт} (60,09 \text{ дБмкВ}).$$

Таким образом, шумовая мощность снизилась на 0,66 дБ. Следует отметить, что спектральная плотность мощности шума N_0 осталась неизменной ($N_0 = N_{0(REC)} = -118,03 \text{ дБмВт}$ или $-9,28 \text{ дБмкВ}$).

6. Сигнал уже сформирован косинусно-квадратичным фильтром в передатчике, но его мощность дополнительно снижается за счет конечного значения коэффициента скругления спектра a фильтра Найквиста в приемнике. Поэтому сигнал на выходе тюнера будет рассчитываться как:

$$C_{REC} = C + 10 \lg \left(1 - \frac{a}{4} \right) = -25,17 \text{ дБмВт (85,58 дБмкВ)}.$$

где a – коэффициент скругления приемного фильтра.

Заметим, что энергия, приходящаяся на бит информации, также снизится на 0,17 дБ, то есть:

$$E_{b(REC)} = E_b + 10 \lg \left(1 - \frac{a}{4} \right) = -101,32 \text{ дБмВт (7,43 дБмкВ)}.$$

Таким образом, отношение C/N в приемнике (IRD) может быть определено как:

$$\frac{C_{REC}}{N_{REC}} = 23,49 \text{ дБ и } \frac{E_{b(REC)}}{N_{0(REC)}} = 16,71 \text{ дБ.}$$

$$\frac{C_{REC}}{N_{REC}} = \frac{C}{N} + 10 \lg \left[\frac{\left(1 - \frac{a}{4}\right)}{\frac{f_s}{W}} \right], \text{ дБ и}$$

$$\frac{E_{b(REC)}}{N_{0(REC)}} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \lg \left(1 - \frac{a}{4}\right), \text{ дБ.}$$

DVB-S QPSK

PARAM.	MIN	TYP.
AVG PWR	40 dB μ V	50 dB μ V
NOISE MARG.	3 dB	6 dB
α BER post Viterbi	2x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁸
MER QPSK 2/3 FEC	9 dB	12 dB
MER QPSK 3/4 FEC	10 dB	13 dB
MER QPSK 5/6 FEC	11 dB	14 dB

DVB-S2 8PSK

PARAM.	MIN	TYP.
AVG PWR	40 dB μ V	50 dB μ V
NOISE MARG.	3 dB	6 dB
PER 8PSK	<1x10 ⁻⁷	<1x10 ⁻⁸
MER 8PSK 2/3 FEC	11 dB	14 dB
MER 8PSK 3/4 FEC	12 dB	15 dB
MER 8PSK 5/6 FEC	13 dB	16 dB

DVB-T-H & GB COFDM

PARAM.	MIN	TYP.
AVG PWR	40 dB μ V	50 dB μ V
NOISE MARG.	6 dB	9 dB
α BER post Viterbi	2x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁸
MER 64 QAM 2/3 FEC	25 dB	28 dB
MER 16 QAM 2/3 FEC	20 dB	23 dB
MER QPSK 2/3 FEC	14 dB	17 dB

DVB-T2 & GB COFDM

PARAM.	MIN	TYP.
AVG PWR	40 dB μ V	50 dB μ V
NOISE MARG.	6 dB	9 dB
PER	1x10 ⁻⁷	1x10 ⁻⁸
MER 256 QAM 2/3 FEC	25 dB	28 dB
MER 256 QAM 3/4 FEC	26,5 dB	29,5 dB
MER 256 QAM 5/6 FEC	28,5 dB	31,5 dB