

### Практическое занятие 3

#### Отношение энергии на бит к спектральной мощности шума

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

R – Битовая скорость

S – Мощность сигнала

N – Мощность шума

W – Ширина полосы

$E_b$  – энергия бита

$N_0$  – спектральная плотность мощности шума

Из теории связи известно, что существуют две основные причины снижения достоверности передачи. Первая – снижение отношения сигнал/шум (S/N - Signal to Noise или SNR - Signal Noise Ratio). Вторая причина – искажение сигнала. Сигналом может быть информационный сигнал, видеоимпульс или модулированная несущая. Применительно к аналоговым сигналам используются понятия интермодуляционных искажений (например, хорошо всем известные СТВ, CSO и каналные искажения). В цифровых же системах связи большей частью пользуются понятием межсимвольной интерференции. Здесь рассматривается только расчет вероятности ошибки (BER - Bit Error Rate) в зависимости от реализуемого значения S/N.

$$E_b/N_0(\text{dB}) = S/N(\text{dB}) + 10 \cdot \text{Log}(BW(\text{Hz}) / \text{BitRate}(\text{Hz}))$$

$$E_s/N_0 = k \times E_b/N_0$$

k = no. of bits per symbol,

$$S/N = C/N + k_{\text{roll off}} \text{ дБ},$$

где  $k_{\text{roll off}}$  — коэффициент скругления спектра,  $E_s$  – энергия, приходящаяся на СИМВОЛ

То есть, соотношение между C/N и  $E_b/N_0$ , выраженное в дБ, определяется следующей формулой:

$$E_b/N_0 = C/N + 10 \log (1 / R) + 10 \log B, \text{ дБ}$$

где  $E_b/N_0$ , дБ - отношение количества энергии в бите ( $E_b$ ), Дж, к плотности потока мощности шумов,  $N_0$ , Вт/Гц;

$R$  - скорость передачи информации, бит/с;

$B$  - передаваемая полоса частот, Гц;

$C/N$  - отношение несущая/шум в полосе частот  $B$ , дБ.

В цифровой связи в качестве критерия качества чаще используется нормированная версия отношения сигнал/шум,  $E_b/N_0$ .  $E_b$  - это энергия бита, и её можно описать как мощность сигнала  $S$ , умноженную на время передачи бита  $T_b$ .  $N_0$  - это спектральная плотность мощности шума, и её можно выразить как мощность шума  $N$ , деленную на ширину полосы  $W$ . Поскольку время передачи и скорость передачи битов  $R_b$  взаимно обратны,  $T_b$  можно заменить на  $1/R_b$ .

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S T_b}{N/W} = \frac{S/R_b}{N/W} \quad (2.2.7)$$

Еще одним параметром, часто используемым в цифровой связи, является скорость передачи данных в битах в секунду. Тогда

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \left( \frac{W}{R} \right) \quad (2.2.8)$$

Здесь явно видно, что отношение  $\frac{E_b}{N_0}$  представляет собой отношение  $\frac{S}{N}$ , нормированное на ширину полосы и скорость передачи битов.

Одной из важнейших метрик производительности в системах связи является зависимость вероятности появления ошибочного бита  $P_b$  от  $E_b/N_0$ . На рисунке 2.2.3 показан "водопадоподобный" вид большинства кривых.

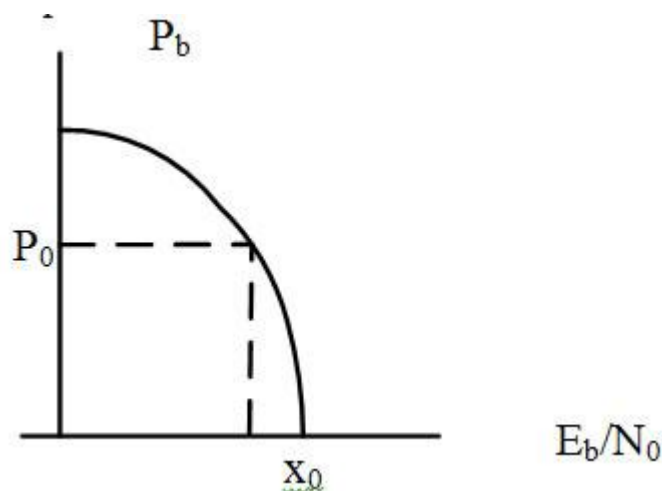


Рисунок 2.2.3 - Общий вид зависимости  $P_b$  от  $E_b/N_0$

При  $\frac{E_b}{N_0} \geq x_0, P_b \leq P_0$  . Необходимое отношение  $\frac{E_b}{N_0}$  можно рассматривать как метрику, позволяющую сравнивать производительность различных систем;

чем меньше требуемое отношение  $\frac{E_b}{N_0}$  , тем эффективней процесс обнаружения при данной вероятности ошибки.

### Мінімізація рівня сигналу на трасі розповсюдження

Іноді може ставитися така задача для підвищення екологічної прийнятності (екологічна сумісність із нормами), електромагнітна сумісність із іншими системами і т. і.

Подібна задача може бути вирішена різними способами в залежності від умови експлуатації системи, вимог до якості обслуговування при прийнятному рівню бітової помилки: інформаційна швидкість, розмір ЗО, число абонентів і т. і.

При цьому для мінімізації енергетики простим зниженням рівня сигналу (приводить до зменшення розміру ЗО); зниження позиційності модуляції (приводить до збільшення розмірів ЗО при зниженні пропускної здатності каналу зв'язку); збільшення швидкості кодування (приводить до збільшення розмірів ЗО при зниженні інформаційної швидкості); збільшення коефіцієнту підсилення антен (дозволяє понизити потужність на виході передавача).

Вказані види завадозахисного кодування ефективні при боротьбі із гаусовими завадами. При роботі в умовах дії фіксованих та сигналподібних завад ефективність такого кодування різко падає практично до нуля.

Показано що рівень сигналподібної завади для забезпечення втрат енергетики не більше 0,5 дБ повинен бути придушений по відношенню до рівня сигналу на вході демодулятора на величину:

для 16-QAM – 28дБ

для 32-QAM – 32дБ

для 64-QAM – 35дБ

для 256-QAM – 40дБ

для QPSK – 20дБ

$a$  – коэффициент скругления спектра (фактор roll-off), физический смысл которого показан на рис. Выражение (13) записано в предположении, что реальная шумовая полоса для идеальной QPSK/QAM системы занимает полосу частот  $W = (1+a) \times fS$  (что в большинстве случаев и наблюдается на практике), а  $C = E_b \times \log_2(M) \times fS$ .

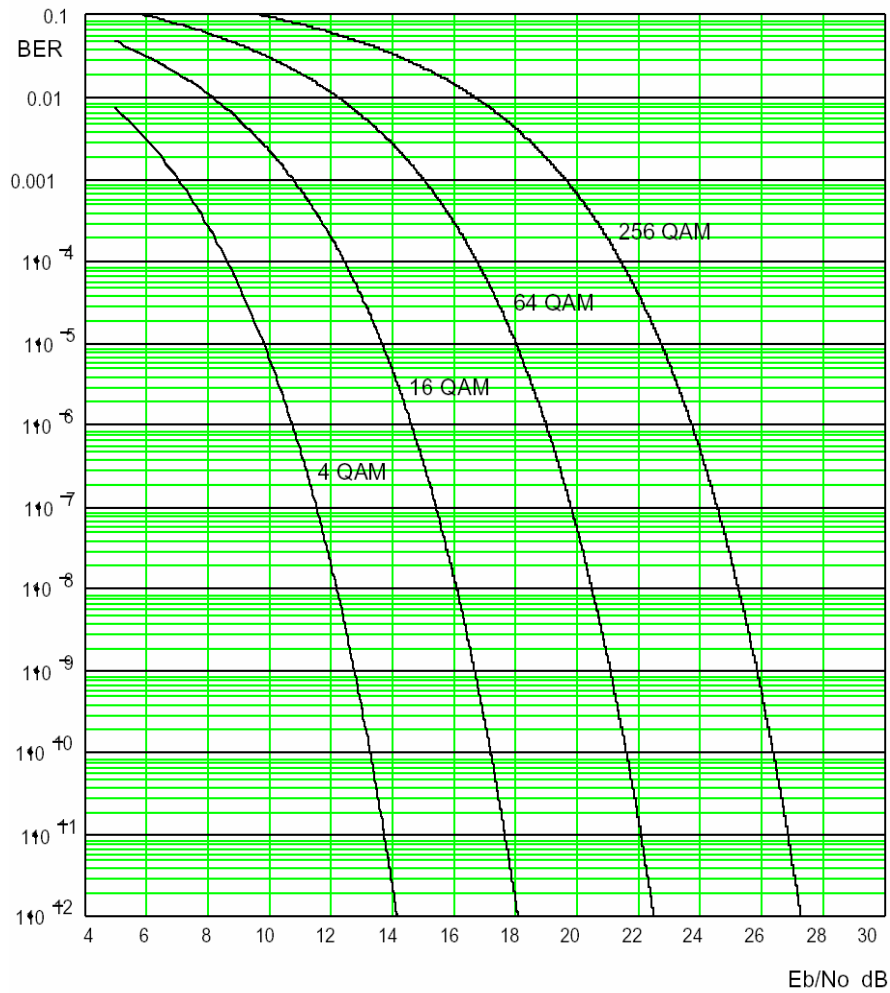


Рисунок 1 - Залежність BER від відношення ( $E_b/N_0$ ) для каналу стандарту DVB-C

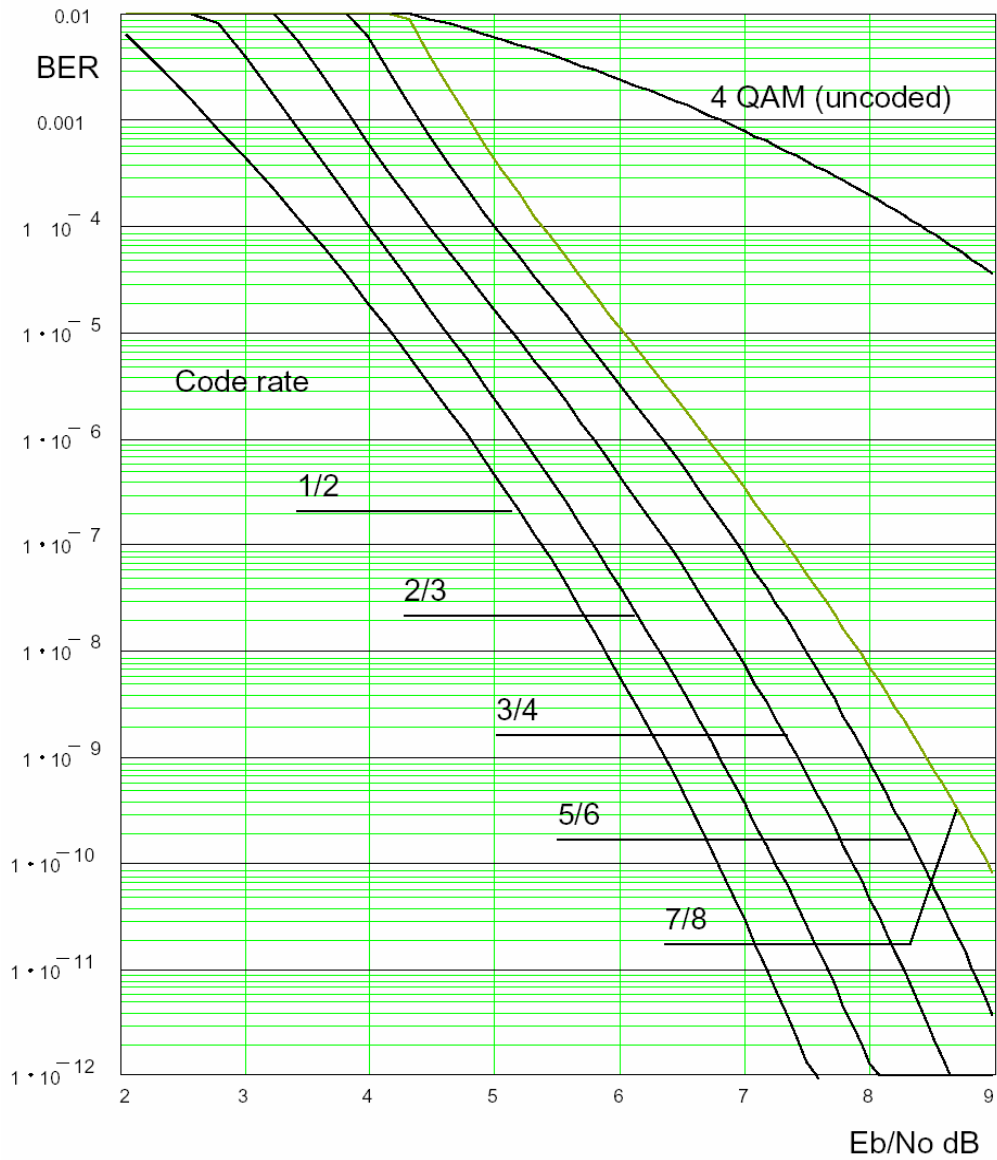
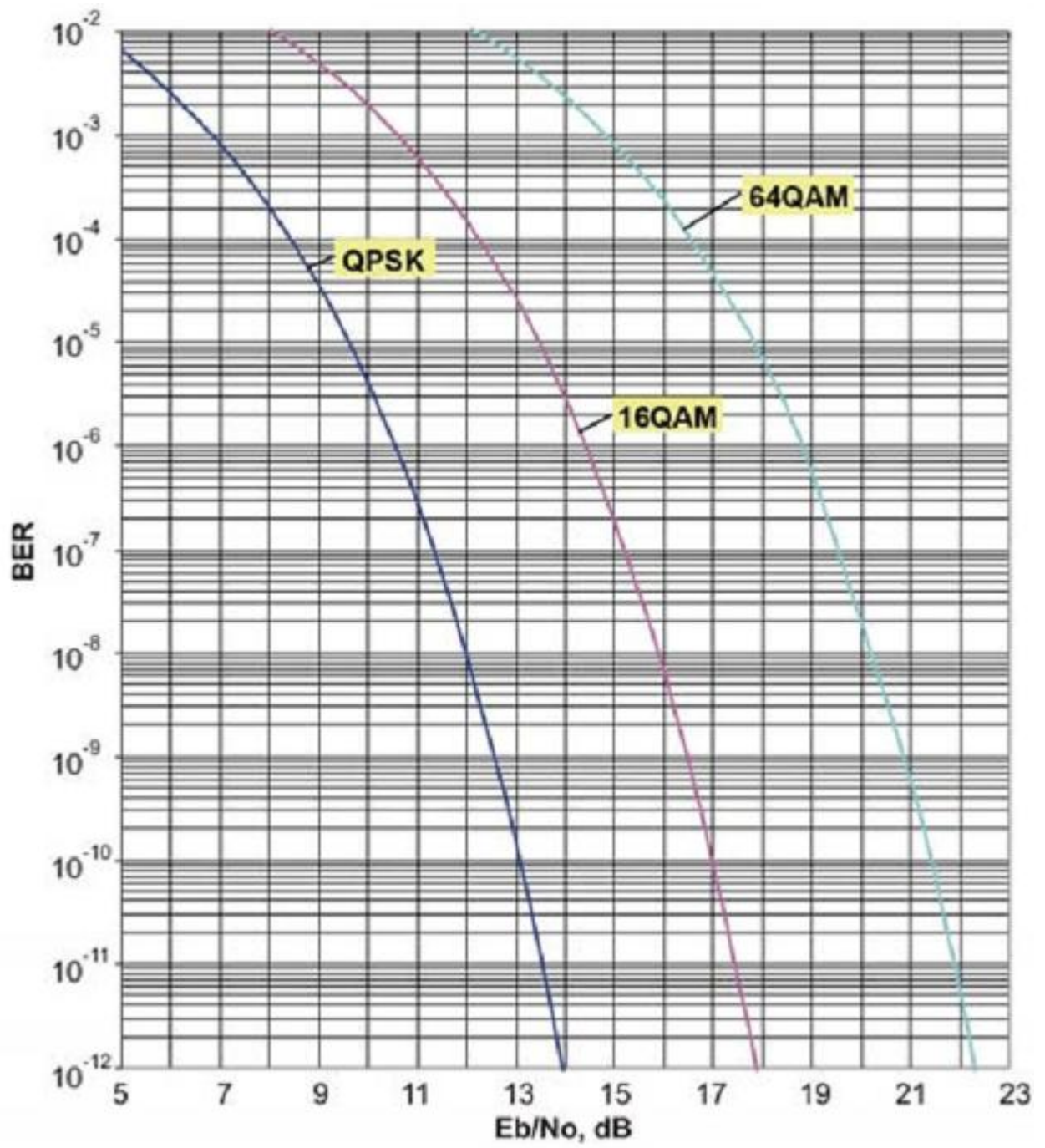
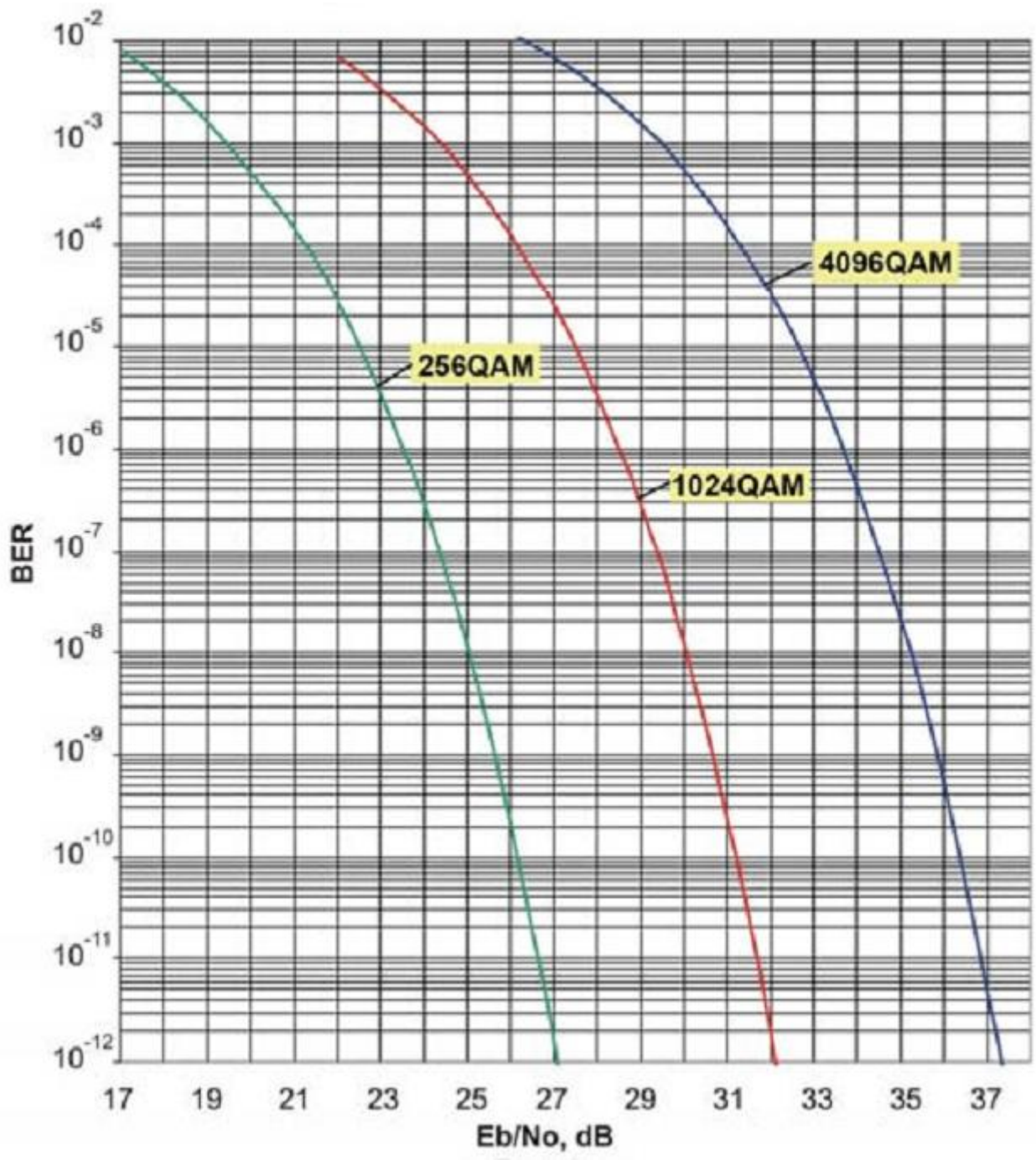
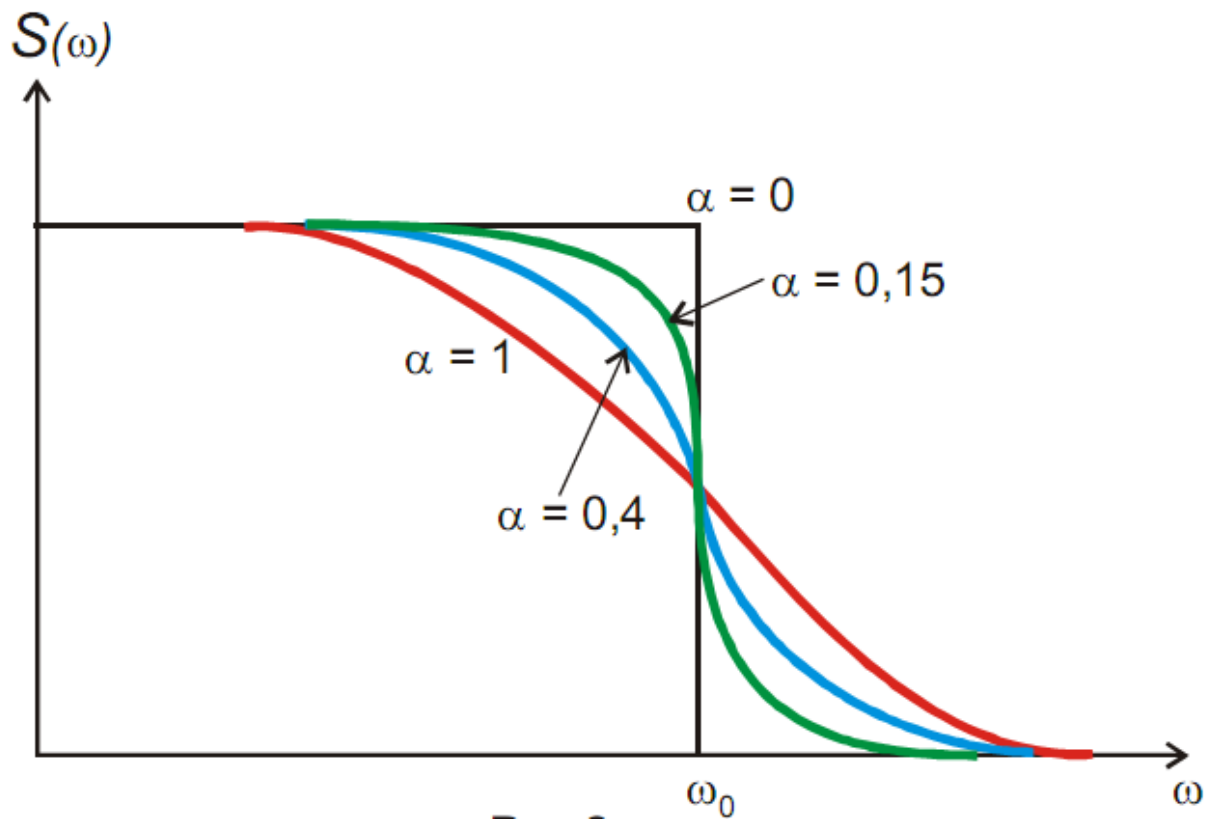


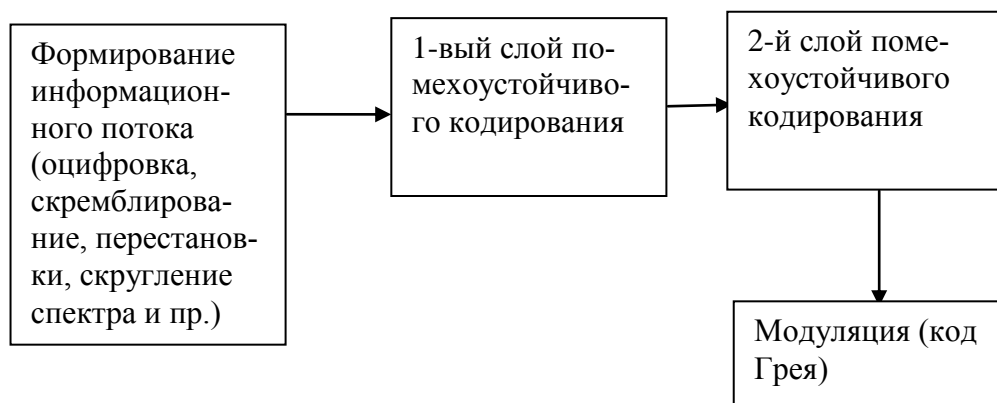
Рисунок 2 - Залежність BER від відношення ( $E_b/N_0$ ) для каналу стандарту DVB-S







Упрощенный алгоритм формирования сигнала для передачи по каналу связи:





Упрощенный алгоритм приема на приемной стороне канала связи:

