

Esercizio 1

Soluzione

La banda di trasmissione sarà doppia rispetto alla trasmissione in banda base cioè

$$B_T = R_b (1 + \alpha) = 640 \text{ kHz.}$$

Esercizio 2

Soluzione

$$\gamma_{lin} = 10^{1.6} = 40; \quad E_b = \frac{P_{tx}}{\gamma_{lin} \cdot R_b} = \frac{2.4}{40 \cdot 2 \cdot 10^4}.$$

$$\text{BPSK: } P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \Rightarrow P_b(E) = Q\left(\sqrt{\frac{2.4}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^5}}\right) \cong Q(3.5) = 2 \cdot 10^{-4}.$$

Esercizio 3

Soluzione

Fissato il ritmo R_b di trasmissione, l'occupazione minima di banda B_t (ipotizzando un canale ideale di Nyquist) risulta

BPSK: $B_t = R_b$;

4-QAM: $R_{b1} = R_b/2$ e' il ritmo di trasmissione di simbolo su ogni ramo in quadratura, dunque $B_t = R_{b1} = R_b/2$.

La modulazione 4-QAM richiede una banda dimezzata rispetto alla modulazione di ampiezza binaria BPSK.

Per quanto riguarda la probabilità di errore P_b :

$$\text{BPSK: } P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right); \quad E_b = P_s / R_b \Rightarrow P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2P_s/R_b}{N_0}}\right);$$

Nel caso di modulazione 4-QAM, la probabilità di errore coincide con quella sul singolo ramo in quadratura.

Considerando che, fissata la potenza P_s di segnale, sul singolo ramo viene dimezzata la potenza di segnale, ma viene anche dimezzato il ritmo di trasmissione, detto E_{b1} l'energia di bit trasmessa sul singolo ramo, si ricava

$$\text{4-QAM: } P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_{b1}}{N_0}}\right); \quad E_{b1} = (P_s / 2) / (R_b / 2) = P_s / R_b \Rightarrow P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2P_s/R_b}{N_0}}\right);$$

La modulazione 4-QAM risulta più vantaggiosa della modulazione BPSK nell'occupazione di banda, senza perdere, a parità di prestazioni, in termini di potenza.

Esercizio 4

SOLUZIONE

La tecnica di modulazione M-QAM richiede una banda di trasmissione $B = \frac{R_b}{\log_2 M}$, quindi $M = 2^{\frac{R_b}{B}} = 2^4 = 16$.

La modulazione M-ASK richiede la stessa banda della modulazione M-QAM, però a parità di prestazioni, poiché la modulazione M-QAM ha le prestazioni della modulazione \sqrt{M} -QAM, richiede meno potenza.

Esercizio 5

SOLUZIONE

$$\gamma_{lin} = 10^{1.6} = 40; \quad E_b = \frac{P_{tx}}{\gamma_{lin} \cdot R_b} = \frac{2.4}{40 \cdot 2 \cdot 10^4} = 3 \mu J.$$

$$BPSK : P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \Rightarrow P_b(E) = Q\left(\sqrt{\frac{2.4}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 4 \cdot 10^5}}\right) \cong Q(3.5) = 2 \cdot 10^{-4}.$$

Esercizio 6

SOLUZIONE

- a) vedi lucidi delle lezioni;
 b) Il ritmo di trasmissione all'uscita del convertitore analogico digitale sarà $R_b=80000\text{bit/s}$; il flusso binario viene suddiviso sulle due portanti (in fase e in quadratura) e su ogni ramo i bit vengono raggruppati a due a due: su ogni ramo il ritmo di trasmissione dei simboli sarà $R=R_i=R_Q=20000\text{bit/s}$;

a) La banda di canale $B_c=R(1+\alpha)$, da cui $\alpha=(B_c-R)/R=0.5$.

- b) Dal grafico della funzione $Q(\cdot)$, $Q(6)=10^{-9}$, la probabilità di errore del 16-QAM coincide con la probabilità di

errore del 4-PAM,
$$P(e) \cong Q\left(\sqrt{\frac{3}{4^2-1} \frac{2E_s}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{3}{15} \frac{2E_s}{N_0}}\right); \quad \frac{2E_s}{N_0} = 180.$$

Esercizio 7

SOLUZIONE

- a) Il ritmo di trasmissione sul canale infase e in quadratura vale $R_{b,i}=R_{b,Q}=4 f_c = 32 \text{ kHz}$;
 b) La banda richiesta per trasmettere impulsi a coseno rialzato con fattore di roll-off $\alpha=0.5$ vale $B=R_{b,i}(1+0.5)=48\text{kHz}$ e quindi è possibile utilizzarli su una banda $W= 64 \text{ kHz}$;

Esercizio 8

SOLUZIONE

- a) vedi i lucidi delle lezioni;
 b) Il ritmo di trasmissione dei bit del flusso binario PCM sarà $R_b=f_c \log_2 256=80\text{kb/s}$; la banda richiesta per la trasmissione 4QAM, fissato il fattore di roll-off $\alpha=0.5$, è $B=(R_b/2)(1+\alpha)=60\text{kHz}$, minore della larghezza di banda disponibile.