

1.

Se consideră o transmisie A+PSK care trebuie să asigure adaptiv un debit binar maxim posibil în banda de frecvență [94; 106] kHz, dacă se utilizează un filtru cu factor de exces de bandă egal cu 0.25. Puterea medie transmisă este 0 dBm, canalul are o atenuare variabilă care poate lua valori între 20.7 dB și 28.7 dB, iar densitatea spectrală de putere a zgomotului este -60 dBm/kHz

a) Determinați debitele binare maxime ce se pot transmite pe canalul de mai sus, dacă se impune ca probabilitatea de eroare de simbol $p_e \leq 1 \cdot 10^{-6}$. Indicați domeniile SNR în care trebuie utilizat fiecare debit, precum și constelațiile utilizate. Se știe că $p_e(10.5\text{dB})|_{2\text{-PSK}} = 1 \cdot 10^{-6}$.

$$D_i = n_i f_s$$

$$LB = f_s (1 + \alpha)$$

$$f_s = \frac{LB}{(1 + \alpha)} = \frac{106\text{kHz} - 94\text{kHz}}{1 + 0.25} = \frac{12\text{kHz}}{1.25} = 9.6\text{kHz}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{r[\text{dB}]} = P_{e[\text{dB}]} - a_{r[\text{dB}]} \\ a_{r[\text{dB}]} \in [20.7; 28, 7]\text{dB} \end{array} \right\} \Rightarrow P_{r[\text{dB}]} \in [-20.7; -28, 7]\text{dBm}$$

$$P_{n[\text{dB}]} = N_0 + 10 \lg(LB) = -60 \frac{\text{dBm}}{\text{kHz}} + 10, 79\text{kHz} = -49.2\text{dBm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{SNR}_{[\text{dB}]} = P_{r[\text{dB}]} - P_{n[\text{dB}]} \\ P_{r[\text{dB}]} \in [-20.7; -28, 7]\text{dBm} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{SNR}_{[\text{dB}]} \in [-20.7 + 49.2; -28, 7 + 49.2]\text{dB}$$

$$\text{SNR}_{[\text{dB}]} \in [20.5; 28.5]\text{dB}$$

2PSK	4QAM	8QAM	16QAM	32QAM	64QAM	128QAM
$n_i=1$	$n_i=2$	$n_i=3$	$n_i=4$	$n_i=5$	$n_i=6$	$n_i=7$
10.5dB	13.5dB	17.2dB	20.5dB	23.5dB	26.5dB	29.5dB

$$D_1 = n_1 f_s = 4 \cdot 9600 = 38.4\text{kbps}$$

$$\text{SNR} \in [20.5\text{dB}; 23.5\text{dB}]$$

Constelația utilizată 16QAM

$$D_2 = n_2 f_s = 5 \cdot 9600 = 48\text{kbps}$$

$$\text{SNR} \in [23.5\text{dB}; 26.5\text{dB}]$$

Constelația utilizată 32QAM

$$D_3 = n_3 f_s = 6 \cdot 9600 = 57.6\text{kbps}$$

$$\text{SNR} \in [26.5\text{dB}; 28.5\text{dB}]$$

Constelația utilizată 64QAM

b) Calculați distanțele minime (în volți) ale constelațiilor pătratice emise, selectate la punctul a). Valoarea rezistenței de referință este 1Ω.

$$\text{Pentru constelații patratice distanța minimă } d_{\min} = 2 \cdot A_0$$

$$\text{Pentru constelațiile patratice puterea medie este } P_m = \frac{A_0^2 (N-1)}{3R_r}$$

$$P_m = \frac{A_{0-16\text{QAM}}^2 (N-1)}{3R_r} = \frac{A_0^2 (16-1)}{3} = 10^{-3} [\text{W}] \Rightarrow$$

Pt constelația 16 QAM

$$A_{0-16\text{QAM}} = \sqrt{10^{-3} \frac{3}{16-1} \left[\frac{\text{W}}{\text{R}} \right]} = \sqrt{2 \cdot 10^{-4} [\text{V}^2]} = \sqrt{2} \cdot 10^{-2} \text{V}$$

$$P_m = \frac{A_{0-64QAM}^2 (N-1)}{3R_r} = \frac{A_{0-64QAM}^2 (64-1)}{3} = 10^{-3} [\text{W}] \Rightarrow$$

Pt constelatia 64 QAM

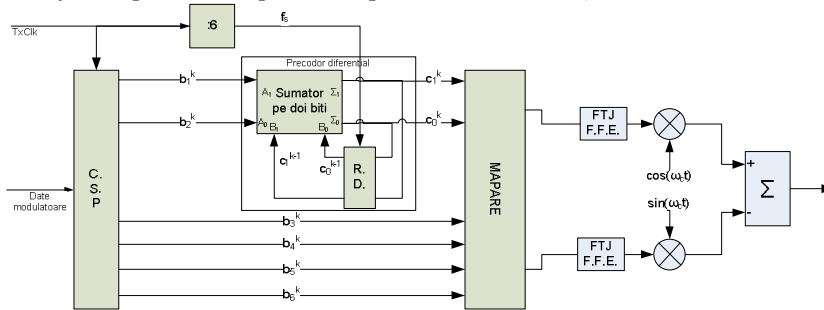
$$A_{0-64QAM} = \sqrt{10^{-3} \frac{3}{64-1} \left[\frac{\text{W}}{\text{R}} \right]} = \sqrt{\frac{1}{21} \cdot 10^{-3} [\text{V}^2]} = \sqrt{0.4762} \cdot 10^{-2} \text{V}$$

$$d_{\text{min-16QAM}} = 2A_{0-16QAM} = \sqrt{8} \cdot 10^{-2} \text{V}$$

Distantele minime sunt:

$$d_{\text{min-64QAM}} = 2A_{0-64QAM} = \sqrt{\frac{4}{2.1}} \cdot 10^{-2} \text{V}$$

c) Dați schema bloc și ecuațiile de funcționare ale emițătorului pentru 64QAM, cu constelație invariantă la defazaj multiplu de 90°, specificând parametrii blocurilor și ai semnalelor auxiliare utilizate.

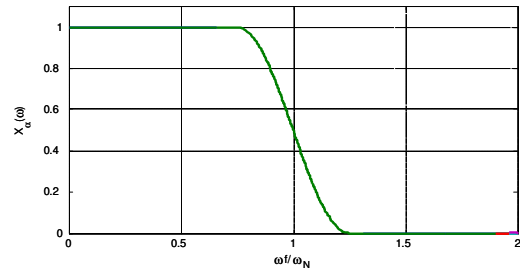


$$s_{QAM}(t) = \frac{V_0}{V_r} \sum_{k=0}^{\infty} A_k \cdot \cos(\omega_p t + \Phi_k) \cdot u_{T_s}(t - kT_s);$$

$$s_{MAQ}(t) = \frac{\left[V_0 A_k \cos(\Phi_k) u_{T_s}(t - kT_s) \cos(\omega_p t) - V_0 A_k \sin(\Phi_k) u_{T_s}(t - kT_s) \sin(\omega_p t) \right]}{V_r} =$$

$$= I_k u_{T_s}(t - kT_s) \cos(\omega_p t) - Q_k u_{T_s}(t - kT_s) \sin(\omega_p t)$$

FFE este Filtru trece jos cu caracteristica radical din Nyquist



$$X_{\alpha}^{1/2}(\omega) = \begin{cases} 1; & 0 \leq \omega \leq \omega_N(1-\alpha); \\ \cos\left(\frac{\pi\omega}{4\alpha\omega_N} - \frac{\pi(1-\alpha)}{4\alpha}\right); & \omega \in [\omega_N(1-\alpha), \omega_N(1+\alpha)]; \\ 0; & \omega > \omega_N(1+\alpha) \end{cases}$$

d) Dacă raportul semnal zgomot din canal este 20.5dB, calculați valoarea medie a numărului de biți eronați la transmiterea unui fișier de 1 MB, considerând atât efectul zgomotului cât și cel al recuperării purtătorului cu un defazaj multiplu de 90°.

SNR=20.5dB se utilizeaza 16QAM 4 biți pe simbol

$$1\text{MB} = 2^{20} \cdot 8 = 2^{23} \text{biți}$$

$$\text{Numarul de simboluri } n_{st} = \frac{n_{bt}}{n_1} = \frac{2^{23}}{2^2} = 2^{21} \approx 2 \cdot 10^6$$

$$p_e = \frac{n_{s-er}}{n_{st}} = 1 \cdot 10^{-6} \Rightarrow n_{s-er} = n_{st} \cdot p_e = 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6} = 2$$

Daca se utilizeaza maparea Gray numarul de biti eronati este egal cu numarul de simboluri eronate

Datorita recuperarii purtatorului poate sa apara o nedetriminare de $k90^\circ$

Daca se utilizeaza o mapare invarianta la rotatii de $k90^\circ$ poate sa se eroneze primii doi biti transmisi pe primul simbol, care inseamna maxim 2 biti eronati

Asta inseamna patru biti eronati din 1MB

2.

Se consideră o transmisie QAM (A+PSK) care utilizează constelații pătratice, pe un canal cu banda de frecvențe de [200, 3800]Hz și densitatea spectrală de putere a zgomotului de -50 dBm/kHz. Puterea medie emisă este de 0dBm, pe o rezistență de referință de 1Ω

a) Dacă filtrul formator de la emisie are factorul de exces de bandă $\alpha = 0,2$, determinați debitele binare cu care poate să transmită sistemul dacă se impune ca distanța euclidiană minimă în cea mai mare constelație utilizată să respecte $d_{min} \geq 13\text{mV}$

Pentru constelațiile pătratice puterea medie este:

$$P_m = \frac{A_0^2 (N-1)}{3} \dots$$

Distanța euclidiană minimă în cazul constelațiilor pătratice este:

$$d_{min} = 2A_0 \dots$$

Puterea 0dBm exprimat în linear este

$$0\text{dBm} = 10 \lg \frac{P_m}{1\text{mW}} \Rightarrow \frac{P_m}{1\text{mW}} = 10^{\frac{0\text{dBm}}{10}} \Rightarrow P_m = 1\text{mW}$$

$$\left. \begin{array}{l} d_{min} > 13\text{mV} \\ d_{min} = 2A_0 \end{array} \right\} \Rightarrow A_0 > 6.5\text{mV}$$

$$P_m = \frac{A_0^2 (N-1)}{3} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{V}^2}{1\Omega} \Rightarrow N = \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{V}^2}{A_0^2 \cdot 1\Omega} + 1$$

Înlocuind condiția pt A_0

$$N < \frac{3 \cdot 10^{-3}}{A_{0\text{max}}^2} + 1 = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{42.25 \cdot 10^{-6}} + 1 = 72$$

Constelații pătratice care îndeplinesc condiția de mai sus sunt 4QAM, 16QAM și 64QAM

$$LB = 3800 - 200 = 3600\text{Hz}$$

$$f_s (1 + \alpha) \leq LB \Rightarrow f_s \leq \frac{LB}{1.2} = \frac{3600}{1.2} = 3000\text{Hz}$$

$$\alpha = 0.2$$

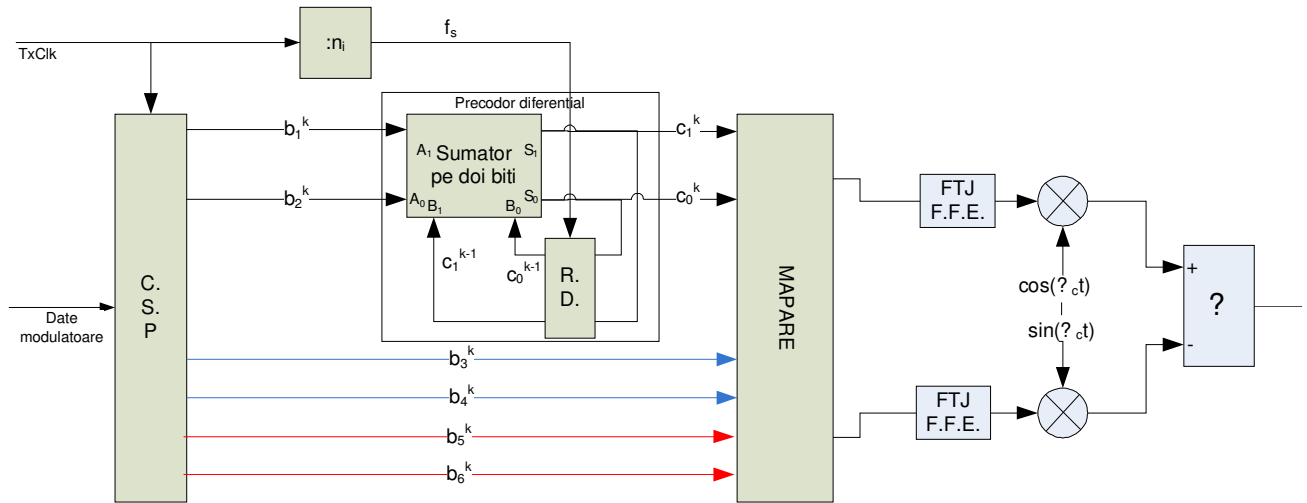
Debitele binare sunt:

$$D_1 = n_1 \cdot f_s = 2 \cdot 3000 = 6000\text{bps}$$

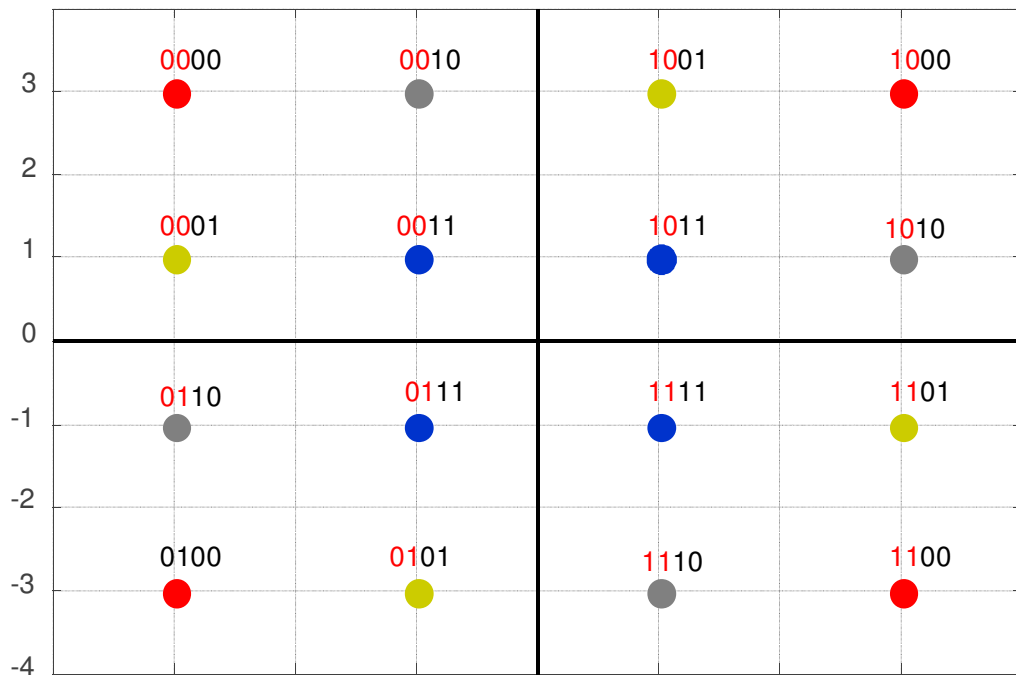
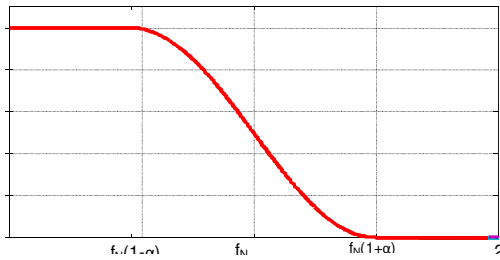
$$D_2 = n_2 \cdot f_s = 4 \cdot 3000 = 12000\text{bps}$$

$$D_3 = n_3 \cdot f_s = 6 \cdot 3000 = 18000\text{bps}$$

b) Desenați schema bloc a unui emițător care poate să utilizeze constelațiile 16QAM sau 64 QAM, specificând toți parametrii blocurilor componente și indicați regula de mapare a constelației 16 QAM care să asigure invarianța la rotații de $k \cdot 90^\circ$ a purtătorului local din receptor.



CSP – formează cuvinte binare la iesire cu lungime de n_i biți
 Blocul de mapare generează coordonatele I și Q
 FTJ-FFE sunt filtre cu caracteristica radical din Nyquist



c) Dacă se pot utiliza constelațiile 16, 64 și 256 QAM, determinați în ce interval poate varia atenuarea canalului a.f. să se asigure probabilitatea de eroare de simbol $p_e \leq 10^{-6}$. Se știe că $BER |_{2-PSK(10,5 \text{ dB})} = 1 \cdot 10^{-6}$

N	2	4	8	16	32	64	128	256
Δa [dB]	0	3	3,68	3,31	3,15	3,08	3	3
SNR[dB]	10.5	13.5	17.2	20.5	23.5	26.5	29.5	32.5

$$SNR = P_t - a - P_{z_g}$$

$$P_{z_g} = N_0 + 10 \lg(LB) = -50 + 5.56 = -44.43 \text{ dBm}$$

Pentru 16QAM

$$SNR \geq 20.5 \text{ dB}$$

$$SNR = P_t - a - P_{z_g} \Rightarrow a \leq P_t - SNR - P_{z_g} = 0 - 20.5 - (-44.4) = 23.9 \text{ dB}$$

Pentru 64QAM

$$SNR \geq 26.5 \text{ dB}$$

$$SNR = P_t - a - P_{z_g} \Rightarrow a \leq P_t - SNR - P_{z_g} = 0 - 26.5 - (-44.4) = 17.9 \text{ dB}$$

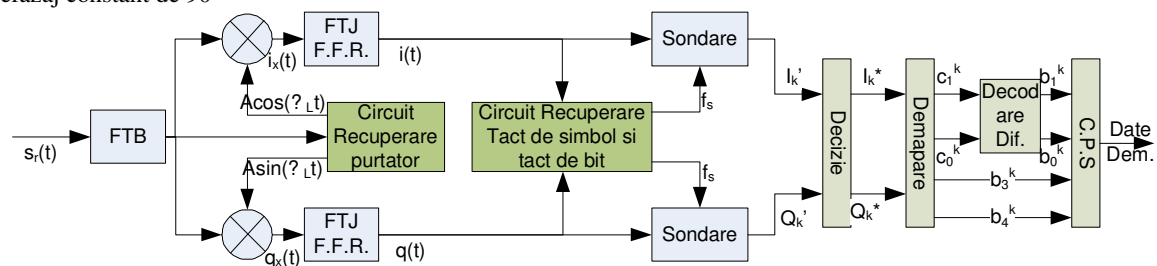
Pentru 256QAM

$$SNR \geq 32.5 \text{ dB}$$

$$SNR = P_t - a - P_{z_g} \Rightarrow a \leq P_t - SNR - P_{z_g} = 0 - 32.5 - (-44.4) = 11.9 \text{ dB}$$

d) Pe a k-a perioada de simbol se transmite semnalul cu expresia matematică $s(t) = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[2\pi(2000t + 3/8)]$

Determinați prin calcul valorile coordonatelor decise dacă purtătorul local în receptor este recuperat cu un defazaj constant de 90°



$$I_x(t) = s(t) \cdot 2 \cdot \cos\left(2\pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[2\pi(2000t + 3/8)] \cdot 2 \cdot \cos\left(2\pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[2\pi(4000t + 3/8 + 1/4)] + \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[2\pi(1/4 - 3/8)]$$

$$Q_x(t) = s(t) \cdot 2 \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[2\pi(2000t + 3/8)] \cdot 2 \cdot \sin\left(2\pi \cdot f_c \cdot t + \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \sin[2\pi(4000t + 3/8 + 1/4)] - \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \sin[2\pi(1/4 - 3/8)]$$

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[2\pi(1/4 - 3/8)] = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \cos[-\pi/4] = \sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 3 \cdot A_0$$

$$q(t) = -\sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot \sin\left[-\frac{\pi}{4}\right] = -\sqrt{2} \cdot 3 \cdot A_0 \cdot -\frac{\sqrt{2}}{2} = 3 \cdot A_0$$

$$I_k' = Q_k' = 3A_0$$

