

Problem 5

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 8-PSK (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v $[dB]$ musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne $P_e = 1 \cdot 10^{-6}$ (BER = $1 \cdot 10^{-6}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrazku pre priebehy M-PSK.

$$\text{Pre M-PSK plati vzťah } P_{be} = \frac{1}{\log_2 M} 2Q \left(\sqrt{k \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

8-PSK: $M=8, k=3$

$$P_{be} = \frac{2}{3} Q \left(\sqrt{3 \sin^2 \left(\frac{\pi}{8} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{3}{2} P_{be} = 1.5 \cdot 10^{-6}$$

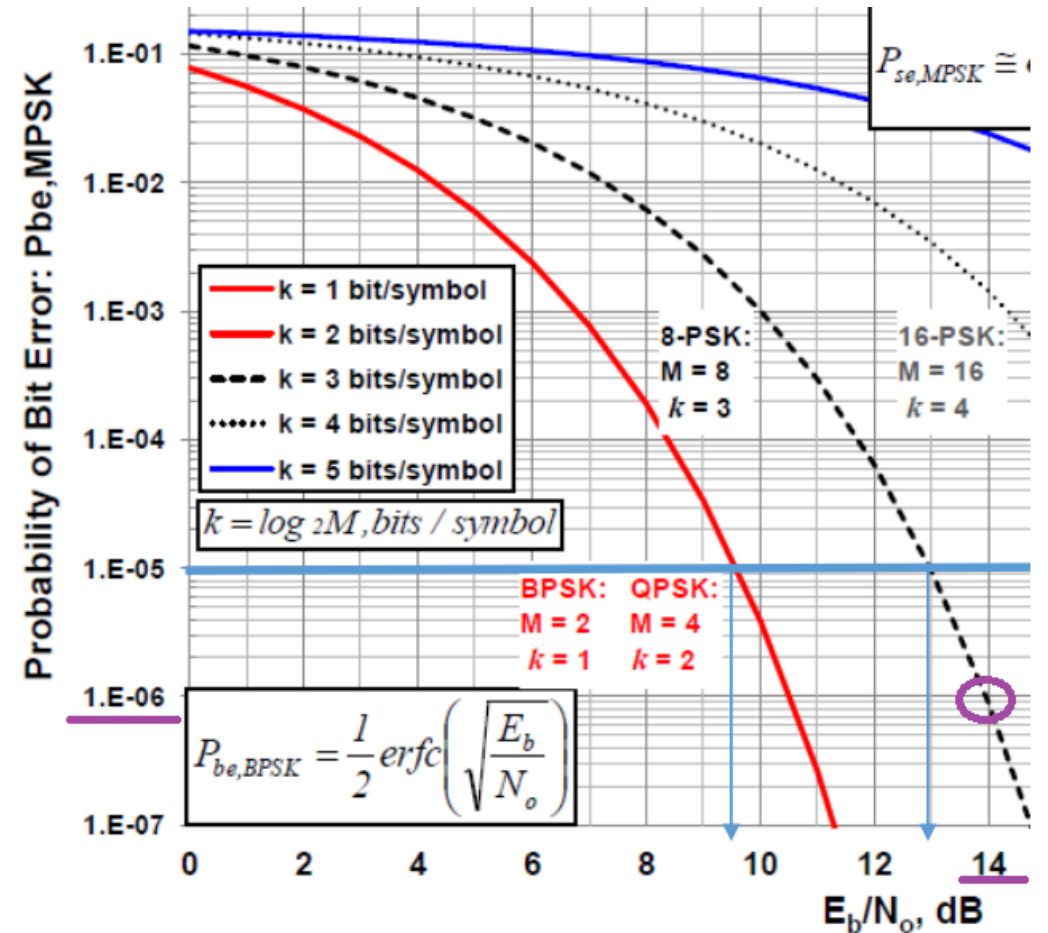
Z tabulky $x=4.65$

$$\sqrt{3 \sin^2 \left(\frac{\pi}{8} \right) \frac{2E_b}{N_0}} = 4.65$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{(4.65)^2}{6 \sin^2 \left(\frac{\pi}{8} \right)} = \frac{21.6225}{6 \cdot 0.1464} = 24.6158$$

$$\frac{E_b}{N_0} [dB] = 10 \log(24.6158) = 13.91$$

priblizne presne ako na obrázku



Problem 6

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 8-PSK (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v $[dB]$ musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne $P_e = 1 \cdot 10^{-4}$ (BER = $1 \cdot 10^{-4}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrázku pre priebehy M-PSK.

$$\text{Pre M-PSK plati vzťah } P_{be} = \frac{1}{\log_2 M} 2Q \left(\sqrt{k \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

8-PSK: $M=8, k=3$

$$P_{be} = \frac{2}{3} Q \left(\sqrt{3 \sin^2 \left(\frac{\pi}{8} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{3}{2} P_{be} = 1.5 \cdot 10^{-4}$$

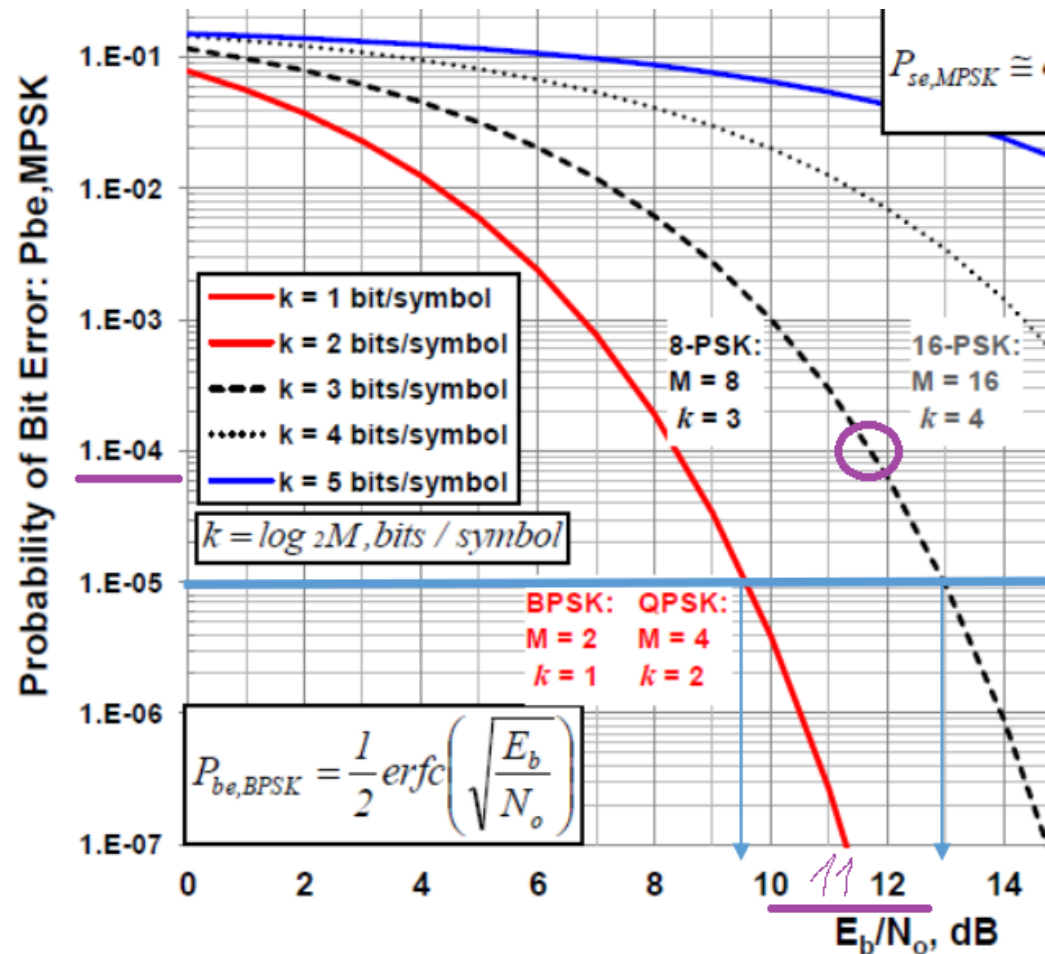
Z tabulky $x=3.6$

$$\sqrt{3 \sin^2 \left(\frac{\pi}{8} \right) \frac{2E_b}{N_0}} = 3.6$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{(3.6)^2}{6 \sin^2 \left(\frac{\pi}{8} \right)} = \frac{12.96}{6 \cdot 0.1464} = 14.7541$$

$$\frac{E_b}{N_0} [dB] = 10 \log(14.7541) = 11.6891$$

približne presne ako na obrázku



Problem 7

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 32-PSK (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v [dB] musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne

$P_e = 1 \cdot 10^{-6}$ (BER = $1 \cdot 10^{-6}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrázku pre priebehy M-PSK.

$$\text{Pre M-PSK plati vzťah } P_{be} = \frac{1}{\log_2 M} 2Q \left(\sqrt{k \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

32-PSK: $M=32, k=5$

$$P_{be} = \frac{2}{5} Q \left(\sqrt{5 \sin^2 \left(\frac{\pi}{32} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{5}{2} P_{be} = 2.5 \cdot 10^{-6}$$

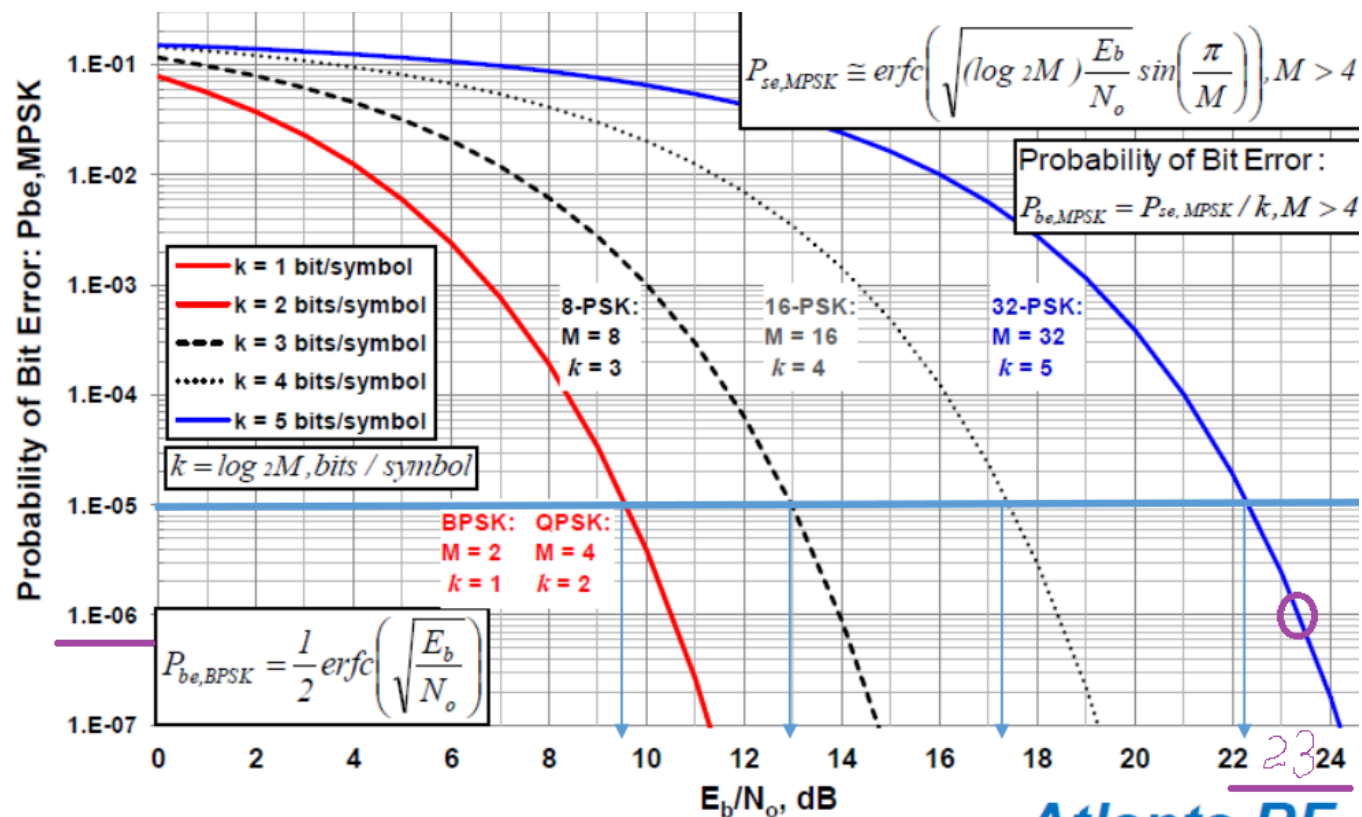
Z tabulky $x=4.55$

$$\sqrt{5 \sin^2 \left(\frac{\pi}{32} \right) \frac{2E_b}{N_0}} = 4.55$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{(4.55)^2}{10 \sin^2 \left(\frac{\pi}{32} \right)} = \frac{20.7025}{10 \cdot 0.0096} = 215.651$$

$$\frac{E_b}{N_0} [dB] = 10 \log(215.651) = 23.3375$$

približne presne ako na obrázku



Problem 8

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 32-PSK (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v $[dB]$ musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne $P_e = 1 \cdot 10^{-4}$ (BER = $1 \cdot 10^{-4}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrázku pre priebehy M-PSK.

$$\text{Pre M-PSK plati vzťah } P_{be} = \frac{1}{\log_2 M} 2Q \left(\sqrt{k \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

32-PSK: $M=32, k=5$

$$P_{be} = \frac{2}{5} Q \left(\sqrt{5 \sin^2 \left(\frac{\pi}{32} \right) \frac{2E_b}{N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{5}{2} P_{be} = 2.5 \cdot 10^{-4}$$

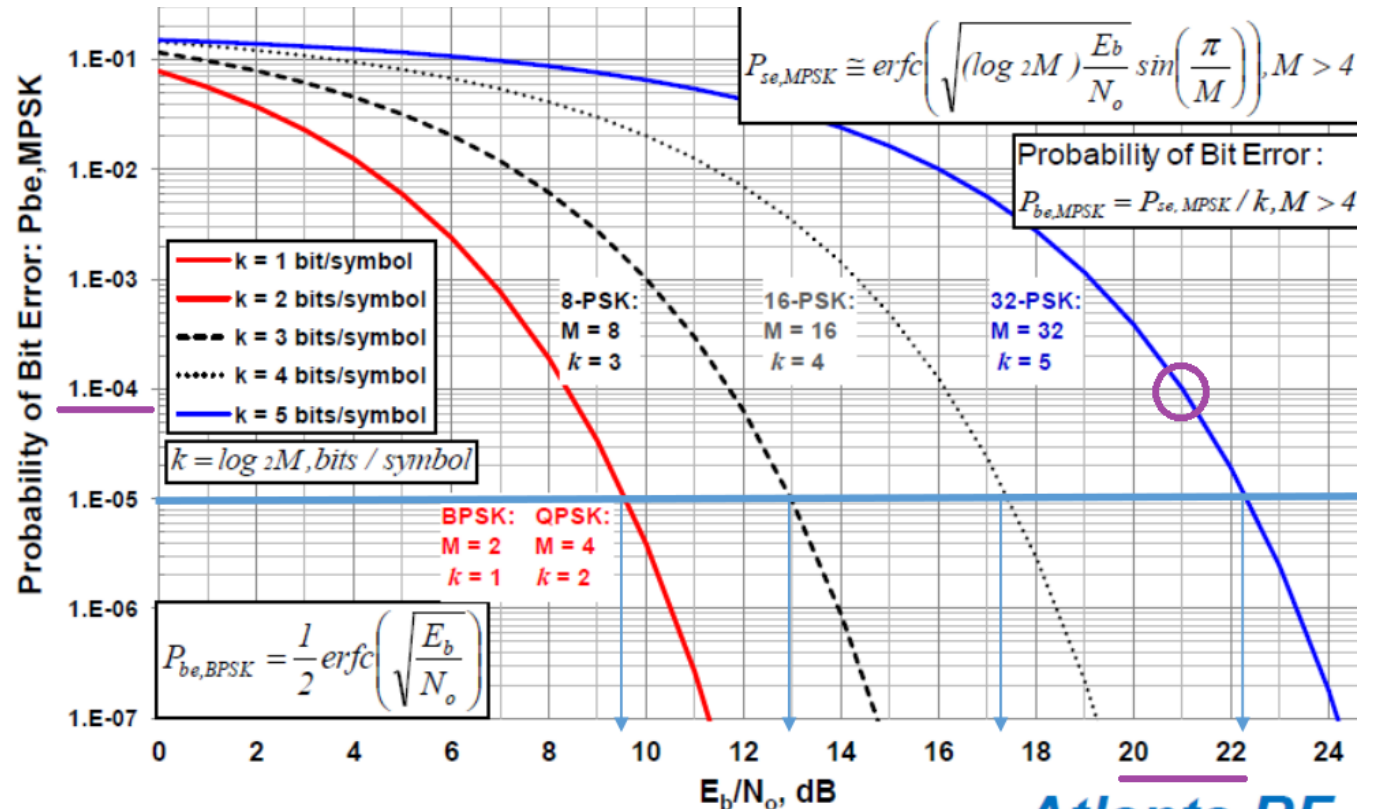
Z tabulky $x=3.5$

$$\sqrt{5 \sin^2 \left(\frac{\pi}{32} \right) \frac{2E_b}{N_0}} = 3.5$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{(3.5)^2}{10 \sin^2 \left(\frac{\pi}{32} \right)} = \frac{12.25}{10 \cdot 0.0096} = 127.604$$

$$\frac{E_b}{N_0} [dB] = 10 \log(127.604) = 21.0586$$

približne presne ako na obrázku



Problem 9

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 8-QAM (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v [dB] musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne $P_e = 1 \cdot 10^{-6}$ (BER = $1 \cdot 10^{-6}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrázku pre priebehy M-QAM.

$$\text{Pre M-QAM plati vzťah } P_{be} = \frac{4}{\log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{3k}{(M-1)} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

8-QAM: $M=8, k=3$

$$P_{be} = \frac{4}{3} Q \left(\sqrt{\frac{9 E_b}{7 N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{3}{4} P_{be} = 7.5 \cdot 10^{-7}$$

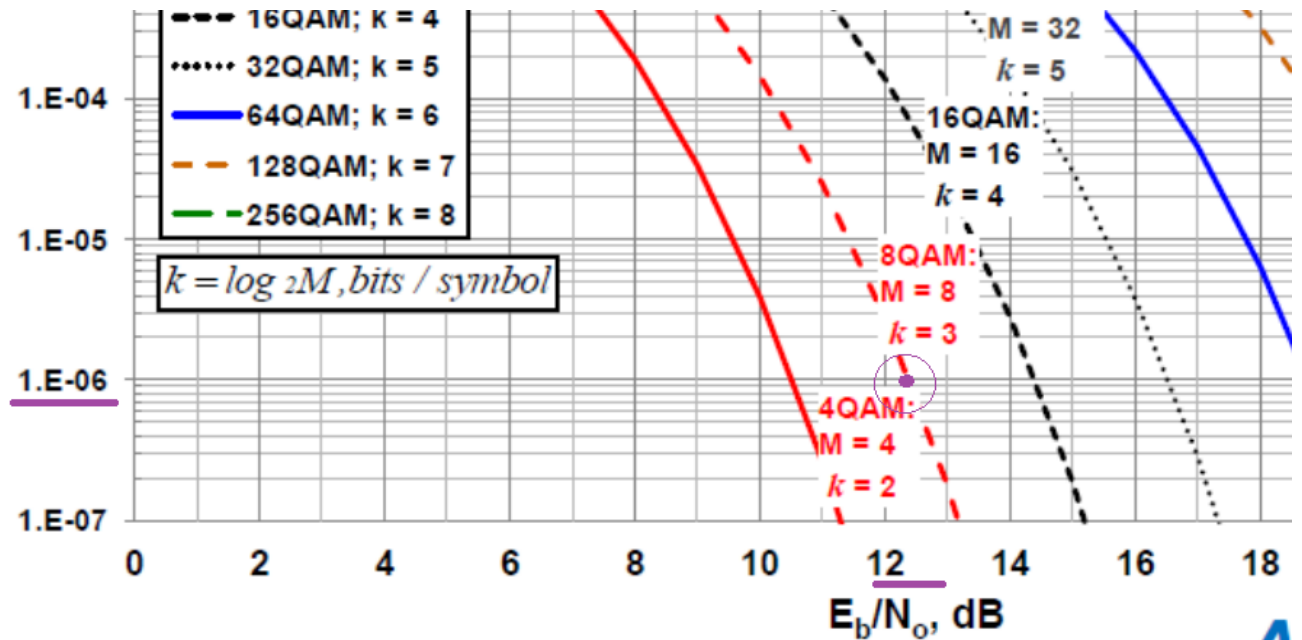
Z tabulky $x=4.8$

$$\sqrt{\frac{9 E_b}{7 N_0}} = 4.8$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{7 (4.8)^2}{9} = 17.92$$

$$\frac{E_b}{N_0} [\text{dB}] = 10 \log(17.92) = 12.5334$$

približne presne ako na obrázku



Problem 10

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 8-QAM (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v [dB] musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne

$P_e = 1 \cdot 10^{-4}$ (BER = $1 \cdot 10^{-4}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrazku pre priebehy M-QAM.

$$\text{Pre M-QAM plati vzťah } P_{be} = \frac{4}{\log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{3k}{M-1} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

8-QAM: $M=8, k=3$

$$P_{be} = \frac{4}{3} Q \left(\sqrt{\frac{9 E_b}{7 N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{3}{4} P_{be} = 7.5 \cdot 10^{-5}$$

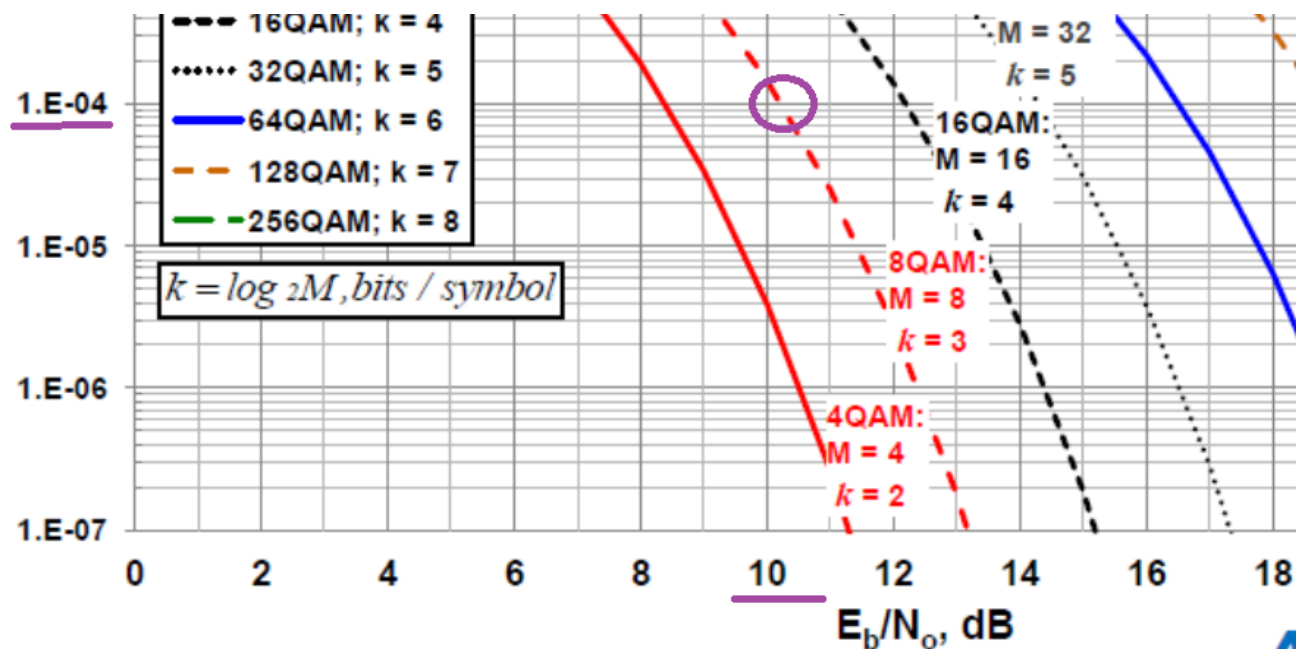
Z tabulky $x=3.75$

$$\sqrt{\frac{9 E_b}{7 N_0}} = 3.75$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{7 (3.75)^2}{9} = 10.9375$$

$$\frac{E_b}{N_0} [\text{dB}] = 10 \log(10.9375) = 10.3892$$

priblizne presne ako na obrázku



Problem 11

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 32-QAM (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v $[dB]$ musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne

$P_e = 1 \cdot 10^{-6}$ (BER = $1 \cdot 10^{-6}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrazku pre priebehy M-QAM.

$$\text{Pre M-QAM plati vzťah } P_{be} = \frac{4}{\log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{3k}{M-1} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

32-QAM: $M=32, k=5$

$$P_{be} = \frac{4}{5} Q \left(\sqrt{\frac{15 E_b}{31 N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{5}{4} P_{be} = 1.26 \cdot 10^{-6}$$

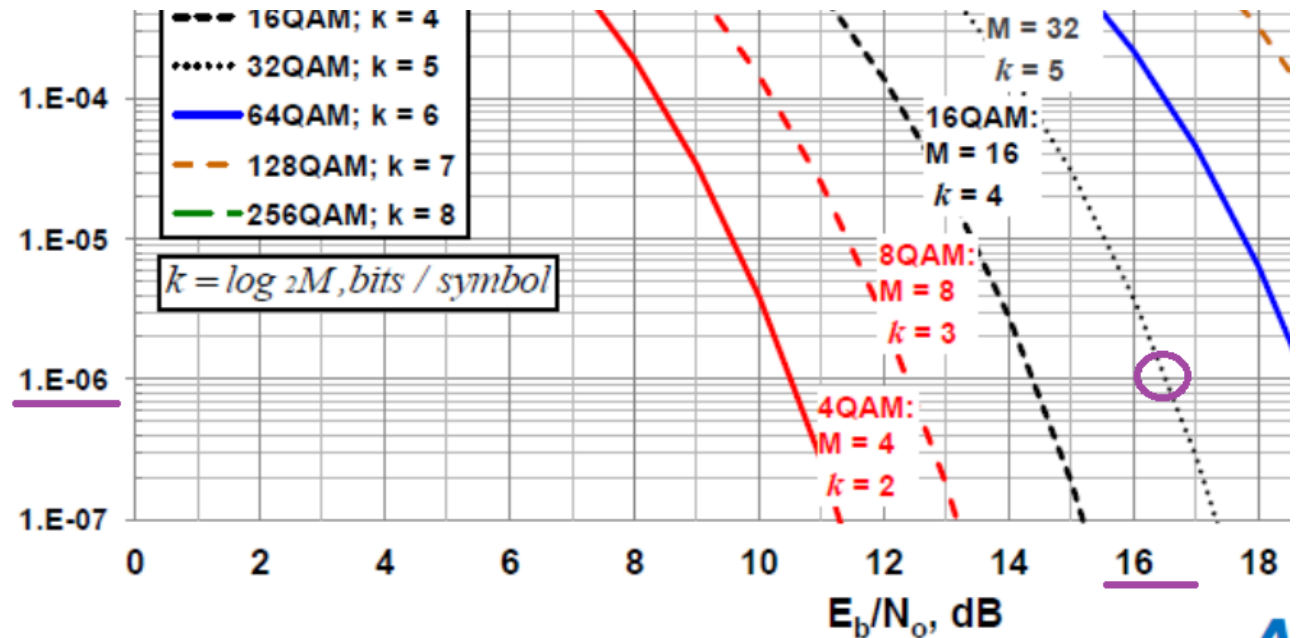
Z tabulky $x=4.7$

$$\sqrt{\frac{15 E_b}{31 N_0}} = 4.7$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{31 (4.7)^2}{15} = 45.6527$$

$$\frac{E_b}{N_0} [dB] = 10 \log(45.6527) = 16.5947$$

priblizne presne ako na obrázku



Problem 12

Predpokladajme prenos dat pomocou osemstavovej fazovej modulacie 32-QAM (coherent).

Aky pomer $[E_b/N_0]$ v $[dB]$ musime zabezpecit, aby bitova chybovost tejto modulacie bola minimalne

$P_e = 1 \cdot 10^{-4}$ (BER = $1 \cdot 10^{-4}$). Pre chybovost tejto modulacie pouzite vzťahy na poslednom slide.

Vysledok porovnajte s hodnotami na obrazku pre priebehy M-QAM.

$$\text{Pre M-QAM plati vzťah } P_{be} = \frac{4}{\log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{3k}{M-1} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

32-QAM: $M=32, k=5$

$$P_{be} = \frac{4}{5} Q \left(\sqrt{\frac{15 E_b}{31 N_0}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{5}{4} P_{be} = 1.26 \cdot 10^{-4}$$

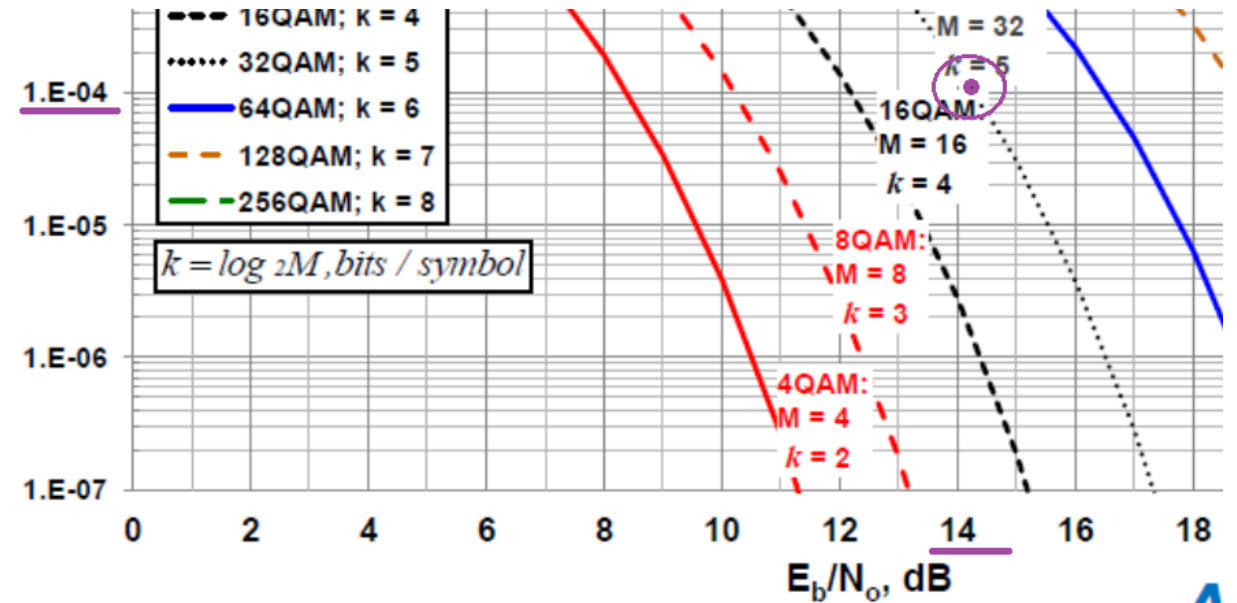
Z tabulky $x=3.65$

$$\sqrt{\frac{15 E_b}{31 N_0}} = 3.65$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{31 (3.65)^2}{15} = 27.5332$$

$$\frac{E_b}{N_0} [dB] = 10 \log(27.5332) = 14.3987$$

priblizne presne ako na obrázku



vzorec $P_e = Q(\sqrt{E_b/N_0})$ aj vzorec $P_e = Q(\sqrt{2E_b/N_0})$ je spravny!!!

Dolezite je z akych predpokladov vychadzame pri tvorbe constellation diagramu BASK.

Suvisi to s minimalnou Euklidovou vzdialenostou – d_{min} . Tao pouziva jeden vzorec Proakis (moje prednasky) ten druhy.

Otázka - preco obidva vzorce su spravne?

V súbore Tao považujú dva signala(on-off):

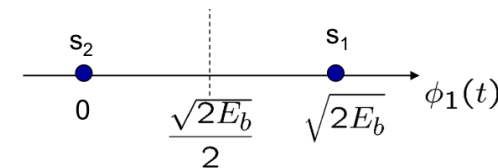
$$\text{"1"} \rightarrow s_1(t) = \sqrt{\frac{2E}{T_b}} \cos(2\pi f_c t)$$

$$\text{"0"} \rightarrow s_2(t) = 0 \quad 0 \leq t < T_b$$

Pretože $E_k = \int_{-\infty}^{\infty} [s_k(t)]^2 dt = \sum_{n=1}^N s_{kn}^2 = \|s_k\|^2$
 $\|s_k\| = \sqrt{E_k}$

Teda E_b (energy per bit) = $\frac{E_1(\text{energia pre } s_1) + E_2(\text{energia pre } s_2)}{2}$

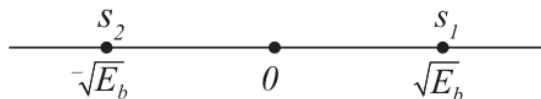
$E_1 = E, E_2 = 0 \rightarrow E_b = \frac{E+0}{2} \rightarrow$ Energia pre signal $s_1 = 2E_b$ a teda máme taky obrázok a Euklidova vzdialenosť je $d_{12} = \sqrt{2E_b} \rightarrow P_e = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right)$



V knihe Theory of Telecommunications Networks považujú dva signala(antipodal):

$$s_1(t) = g(t), s_2(t) = -g(t)$$

Ak predpokladáme že E je energia s_1 , teda energia s_2 tiež je E, a teda $E_b = E$, ale signály sú antipodal a teda máme taky obrázok



a Euklidova vzdialenosť je $d_{12} = 2\sqrt{E_b} \rightarrow P_e = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$