



PRINCIPI MODERNIH TELEKOMUNIKACIJA

*Elektrotehnički fakultet
Katedra za telekomunikacije
Beograd, 2019/2020*

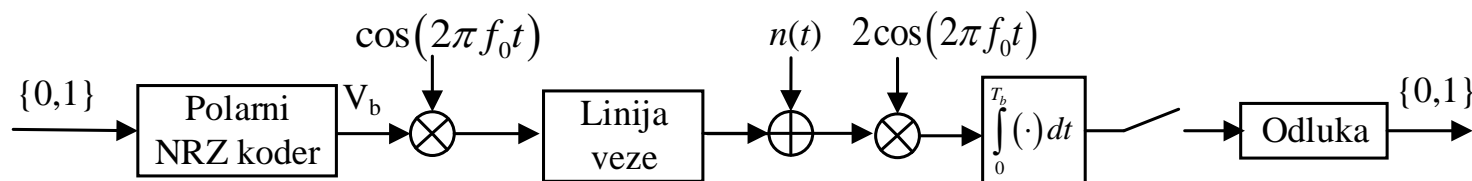
BPSK (1)

Binarni signal protoka $V_b=1\text{Mb/s}$ prenosi se primenom binarne fazne modulacije (BPSK). Blok šema sistema prikazana je na slici.

Srednja snaga signala na izlazu iz predajnika jednaka je $P_T=10\text{W}$.

Slabljenje linije veze jednako je $a=60\text{dB}$. Na ulazu u prijemnik osim korisnog signala, postoji i aditivni beli Gausov šum čija je spektralna gustina srednje snage jednaka $p_N=10^{-12}\text{W/Hz}$.

- Odrediti verovatnoću greške po bitu,
- Izračunati širinu opsega učestanosti B koju zauzima modulisani signal po kriterijumu “prve nule u spektru”.



Blok šema sistema za prenos primenom BPSK postupka modulacije

Pri izračunavanju verovatnoće greške koristiti aproksimaciju $erfc(x) \approx \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}}$

BPSK (2)

a) Verovatnoća greške po bitu određena je formulom $P_{e,b} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{p_N}}$
 E_b - energija signala po bitu

p_N - spektralna gustina srednje snage šuma na ulazu u prijemnik

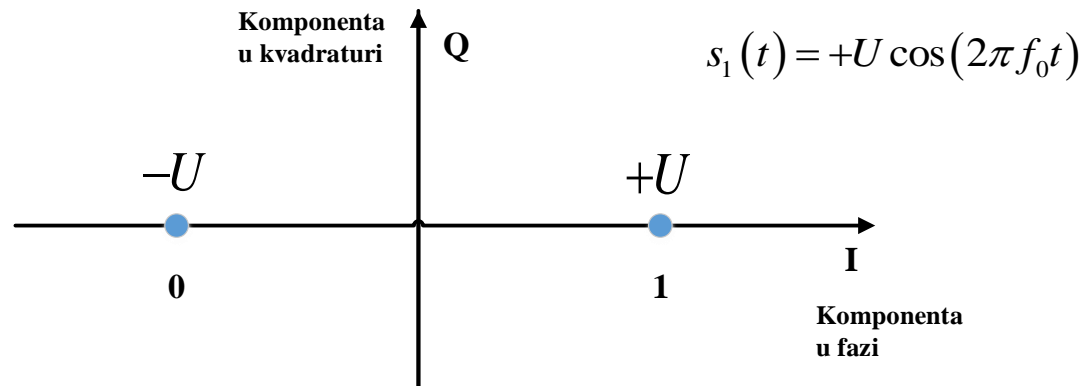
Energija signala po bitu može se odrediti kao proizvod srednje snage signala na ulazu u prijemnik P_R i dužine trajanja signalizacionog intervala T_b .

$$E_b = P_R T_b$$

Dužina trajanja signalizacionog intervala T_b određena je binarnim protokom

$$T_b = \frac{1}{V_b} = \frac{1}{1Mb/s} = 1\mu s$$

$$\begin{aligned} s_0(t) &= U \cos(2\pi f_0 t + \pi) \\ &= -U \cos(2\pi f_0 t) \end{aligned}$$



BPSK (3)

Slabljenje linije veze iznosi a [dB], pa je snaga signala na ulazu u prijemnik jednaka

$$P_R = P_T 10^{-a/10} = 10W \cdot 10^{-60/10} = 10\mu W$$

Energija signala po bitu je jednaka

$$E_b = \frac{P_T 10^{-a/10}}{V_b} \Rightarrow \frac{E_b}{p_N} = \frac{P_T 10^{-a/10}}{p_N V_b} = 10$$

Zamenom prethodno dobijenih vrednosti, verovatnoća greške po bitu je

$$P_{e,b} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{p_N}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{P_T 10^{-a/10}}{p_N V_b}} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{10} = 3.8721 \cdot 10^{-6}$$

b) Širina opsega učestanosti B koju zauzima modulisani signal po kriterijumu “prve nule u spektru” iznosi

$$B = 2V_b$$

Za binarni protok jednak $V_b=1\text{Mb/s}$, modulisani signal zauzima opseg $B=2\text{MHz}$ (po kriterijumu “prve nule u spektru”).

QPSK (1)

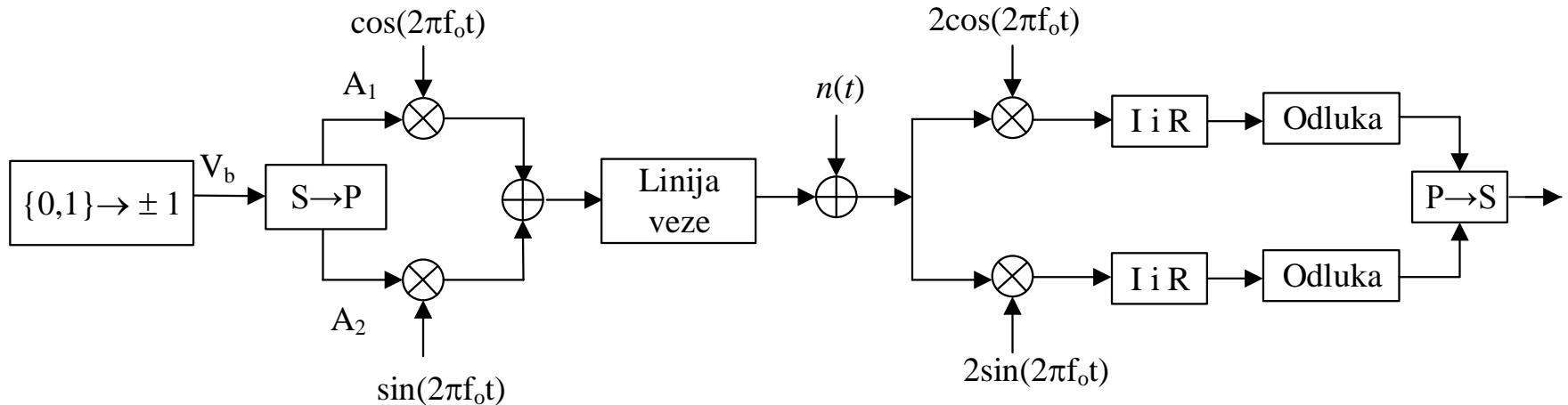
Binarni signal protoka $V_b=320\text{kb/s}$ prenosi se primenom QPSK modulacije. Blok šema sistema prikazana je na slici. Srednja snaga signala na izlazu iz predajnika je $P_T=4\text{W}$, a slabljenje linije veze iznosi $a=80\text{dB}$. Na ulazu u prijemnik osim korisnog signala postoji i aditivni beli Gausov šum, čija je spektralna gustina srednje snage jednaka $p_N=10^{-14} [\text{W/Hz}]$.

- Odrediti protok QPSK signala na izlazu iz predajnika,
- Odrediti širinu opsega učestanosti potrebnu za prenos signala, određenu po “kriterijumu prve nule u spektru”,
- Pod pretpostavkom da je primenjeno Grejevo kodiranje, odrediti vrednost verovatnoće greške po bitu.

Pri izračunavanju verovatnoće greške koristiti aproksimaciju

$$\text{erfc}(x) \approx \frac{e^{-x^2}}{x\sqrt{\pi}}$$

QPSK (2)



a) Blok šema QPSK modulatora sastoji se od dva BPSK modulatora sa nosiocima u “kvadraturi”. U sklopu serija u paralelu (blok označen sa $S \rightarrow P$) vrši se razdvajanje dolaznog binarnog signala u dva binarna toka. Binarni protok u granama modulatora (u tačkama A_1 i A_2) dvostruko je manji u odnosu na binarni protok signala na ulazu u modulator V_b .

$$V_{A1} = V_{A2} = V_b / 2 = 160 \text{ kb/s}$$

Protok QPSK signala na izlazu iz predajnika iznosi

$$V_{\text{QPSK}} = V_b / 2 = 160 \text{ ksim/s}$$

QPSK (3)

b) Širina opsega potrebna za prenos signala, određena po “kriterijumu prve nule u spektru” iznosi

$$B=2V_{\text{QPSK}}=320\text{kHz.}$$

U slučaju QPSK modulacije, kada je primenjeno Grejevo kodiranje, verovatnoća greške po bitu jednaka je

$$P_{e,b} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{p_N}}$$

Odnos E_b i p_N može se odrediti na osnovu datih parametara

$$\frac{E_b}{p_N} = \frac{P_R \cdot T_b}{p_N} = \frac{P_T \cdot 10^{-a/10}}{p_N V_b} = \frac{4 \cdot 10^{-80/10}}{10^{-14} \cdot 320000} = 12.5$$

pa je verovatnoća greške jednaka

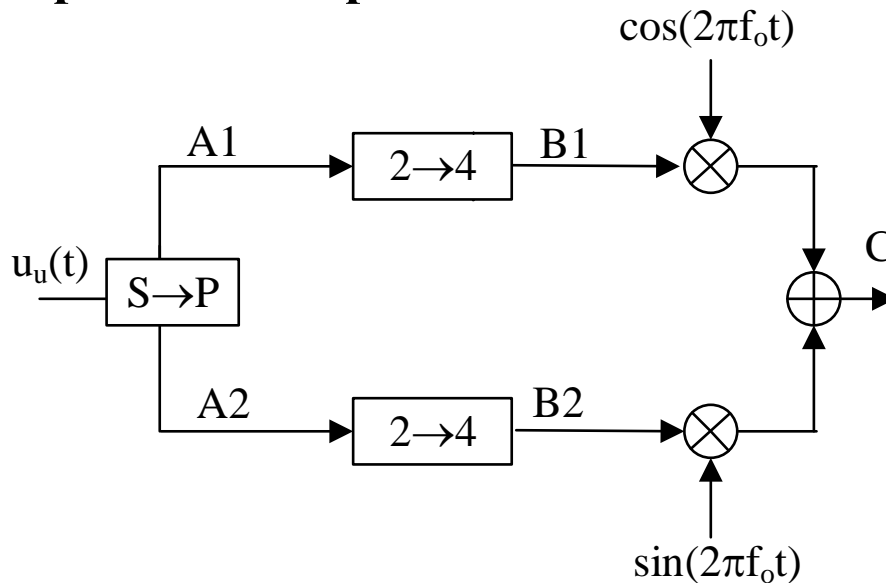
$$P_{e,b} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}(3.55) \approx \frac{1}{2} \frac{e^{-3.55^2}}{3.55\sqrt{\pi}} = 2.67 \cdot 10^{-7}$$

Predajnik 16-QAM signala (1)

Digitalni signal protoka V_b prenosi se 16-QAM modulacionim postupkom. Dolazni niz bita prvo dolazi u serijsko–paralelni konvertor (blok označen sa $S \rightarrow P$). Blokovi $2 \rightarrow 4$ predstavljaju konvertore binarnog u M -arni signal, pri čemu je $M=4$.

Ukoliko protok binarnog signala $u_u(t)$ iznosi $V_b=10\text{Mb/s}$ odrediti :

- Binarni protok u tačkama A1 i A2,
- Trajanje signalizacionog intervala u tačkama B1 i B2,
- Širinu opsega učestanosti B , koju zauzima modulisani signal (u tački C) po kriterijumu “prve nule u spektru”.



Predajnik 16-QAM signala (2)

U bloku za serijsko-paralelnu konverziju vrši se razdvajanje bita na dva paralelna toka. Povorku bita u gornjoj grani (tačka A1) čine neparni biti, a povorku bita u donjoj grani (tačka A2) čine parni biti, dolaznog toka binarnih signala $u_b(t)$.

Nakon serijsko-paralelne konverzije vremenski interval potreban za prenos jednog bita (i u donjoj i u gornjoj grani) je dvostruko veći u odnosu na dolazni binarni signal, pa je binarni protok u gornjoj i donjoj grani (tačke A1 i A2) dvostruko manji od protoka dolaznog binarnog signala

$$V_{A1} = V_{A2} = \frac{V_b}{2} = \frac{10Mb/s}{2} = 5Mb/s$$

Trajanje signalizacionog intervala u tačkama A1 i A2 je

$$T_{A1} = T_{A2} = 2T_b = 2 \cdot 0.1\mu s = 0.2\mu s$$

Broj nivoa M -arnog signala iznosi $M=4$, pa se jedan M -arni simbol formira od $n=\log_2 4=2$ bita dolaznih binarnih signala. Trajanje signalizacionog intervala u tačkama B₁ i B₂ je $n=2$ puta duže od trajanja signalizacionog intervala binarnog signala u tačkama A1 i A2

$$T_{B1} = T_{B2} = nT_{A1} = nT_{A2} = 2 \cdot 0.2\mu s = 0.4\mu s$$

Predajnik 16-QAM signala (3)

Digitalni protok u tačkama B1 i B2 je $n=2$ puta manji od V_{A1} i V_{A2} (protoka u svakoj od grana)

$$V_{B1} = V_{B2} = V_C = \frac{V_{A1}}{n} = \frac{V_b}{2n} = \frac{10Msimb/s}{4} = 2.5Msimb/s$$

Širina propusnog opsega učestanosti B koju zauzima modulisani signal (u tački C) po kriterijumu “prve nule u spektru” je

$$B = 2V_C = 5MHz$$

**Konstelacioni dijagram
16-QAM signala sa
Grejevim mapiranjem**

