

OPASKE & FORMULE

ZBIRKA ZADATAKA SADRŽI SVE ZADATKE KOJI SU SE POJAVLJIVACI NA ISPITIMA/AUDITORNIM I LABOSIMA, TE IZ NEKIH ZBIRKI ZADATAKA, I TO DO GENERACIJE 2013/2014. TEORIJSKI ZADACI NISU RJEŠAVANI. POKUŠANO JE DATI NAGLASAK NA OBJAŠNjenjima, TE TOČNOSTI (ZADACI SU PROVERAVANI I TREBALI BI BITI 100% TOČNI), HVALA SVIM LJUDIMA KOJI SU ZADATKE PRENJEZLI MLADIM GENERACIJAMA, BEZ ČEGA ZBIRKE NE BI BILI... 😊

ISPOD SU DANE FORMULE PO GRADIVU (ZADACI SU GRUPIRANI U 4 CJELINE, 1. PREDAUJANJE, 2., 3. & OSTALA U 4. CJELINU, SAMO ZADACI U 4. CJELINI KOJI SU VEZANI UZ "BER", 55., 56. STRANA BI TREBALI BITI U 1. (U 2. CJELINI). SRETNO SVIMA S POČAGANjem ISPITA!!!

$$T_b = f_{vz} \times n \left[\frac{\text{bit}}{\text{s}} \right] \rightarrow \text{BRZINA PRIJENOSA BITA JE UMNOŽAK FREKVENCE VZORKOVANJA } (f_{vz}) \text{ I BROJA BITA DODJEJENIH SVAKOM VZORKU } (n)$$

$$T_b = \frac{1}{R_b} \left[\frac{\text{s}}{\text{bit}} \right] \rightarrow \text{TRAJANJE BITA JE RECIPROČNO BRZINI PRIJENOSA BITA}$$

$$R_s = \frac{R_b}{W} \left[\frac{\text{bit}}{\text{s}} \right] \rightarrow \text{BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA DOBI SE DJEJENJEM BRZINE PRIJENOSA BITA } (R_b) \text{ S BROJEM BITA PRIDJEJENIH POJEDINOM SIMBOLU } (W)$$

$$B = B_N(1+\alpha) \left[\frac{\text{Hz}}{\text{s}} \right] \rightarrow \text{FREKVENCija ŠIRINA POJASA } (B) \text{ DOBIVA SE PROŠIRENjem IDEALNE, NYQUISTOVE ŠIRINE } (B_N) \text{ S FAKTOROM ZAOBLJENJA } (\alpha)$$

$$B_N = \frac{R_s}{2} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{s}} \right] \rightarrow \text{ŠIRINA NYQUISTOVOG IDEALNOG FILTRA } (B_N) \text{ JEDNAKA JE POLOVICI BRZINE PRIJENOSA SIMBOLA}$$

$$f_{\max}(\text{korisni signal}) = \frac{f_{vz}}{2} \left[\frac{\text{Hz}}{\text{s}} \right] \rightarrow \text{FREKVENCija VZORKOVANJA } (f_{vz}) \text{ MORA BITI DUPLO. VEĆA OD NAJVĒĆE FREKVENCE SIGNALA } (f_{\max})$$

$$S.U. = \frac{R_b}{B} \left[\frac{\text{bit/s}}{\text{Hz}} \right] \rightarrow \text{SPEKTRALNA VOJNOKVOTOST } (S.U.) \text{ DOBI SE DJEJENJEM BRZINE PRIJENOSA BITA } (R_b) \text{ SA ŠIRINOM POJASA } (B)$$

$$A_{dB} \text{ ili } G_{dB} = 10 \log \frac{P_{izl}}{P_{ul}} = 20 \log \frac{U_{izl}}{U_{ul}} \left[\frac{dB}{dB} \right] \rightarrow \text{POJAČANje } (A \text{ ili } G) \text{ JE LOGARITAMSki OMjer SNAGA ili NAPONA NA izLAZU i ULAZU}$$

$$L_{dB} = 10 \log \frac{P_{ul}}{P_{izl}} = 20 \log \frac{U_{ul}}{U_{izl}} \left[\frac{dB}{dB} \right] \rightarrow \text{GUŠENje U DECIBELIMA } (L) \text{ JE LOGARITAMSki OMjer NAPONA/SNAGA NA ULAZU i izLAZU}$$

$$[dBW] \rightarrow 10 \log \frac{P}{1W} \quad [dBm] \rightarrow 10 \log \frac{P}{1mW} \rightarrow \text{DECIBEL NAD WATROM I MILIWATOM}$$

$$N_0 = kT \quad [W_s] \rightarrow \text{GUSTOĆA SNAGE TERMIČKOG ŠUMA } (N_0), k \rightarrow \text{BOLTZMANNOVU KONSTANTU } (1.3803 \cdot 10^{-23})$$

T → TEMPERATURA U KELVINIMA

$$N = kTB \quad [W] \rightarrow \text{SNAGA TERMIČKOG ŠUMA } (N) \quad k \rightarrow \text{BOLTZMANN } ; T \rightarrow \text{TEMPERATURA, KELVINI}$$

B → FREKVENCISKA ŠIRINA POJASA

$$C = B W \quad [\text{bit/s}] \rightarrow \text{KAPACITET KANALA } (C) \quad B \rightarrow \text{ŠIRINA FREKVENCISKOG POJASA}$$

(NYQUIST)

W → LOGARITAM BROJA NAPONSKIH RAZINA
KOJE SIGNAL MOŽE POPRIMITI

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [\text{bit/s}] \rightarrow \text{KAPACITET KANALA } (C) ; \text{ SHANNONOVU FORMULU, } B \rightarrow \text{ŠIRINA F. POJASA}$$

$\frac{S}{N} \rightarrow \text{OMJER SIGNALA I ŠUMA U ABSOLUTNOM IZNOSU (NE dB)}$

$$C = E_B \cdot R_B \quad [W] \rightarrow \text{SNAGA DIGITALNOG SIGNALA } (C) \text{ JE UMNOŽAK ENERGIJE BITA } (E_B)$$

I BRZINE PRYENOSA BITA (R_B)

$$L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad [\text{dB}] \rightarrow \text{GUŠENJE U DECIBELIMA U SLOBODNOM PROSTORU } (L)$$

$d \rightarrow \text{UDALJENOST } ; \lambda \rightarrow \text{VJERNA DULJINA}$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\text{m}] \rightarrow \text{VJERNA DULJINA EM-VJACA } ; c \rightarrow \text{BRZINA SVJETLOSTI } (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

$f \rightarrow \text{FREKVENCIJA}$

2. CJEVINA

$$U_{MAX} = U_p (1 + M_{AM}) \quad [V]$$

$$U_{MIN} = U_p (1 - M_{AM}) \quad \rightarrow \text{MAXIMALNA } (U_{MAX}) \text{ I MINIMALNA } (U_{MIN}) \text{ VRJEDNOST AM-SIGNALA}$$

$M_{AM} \rightarrow \text{INDEX MODULACIJE} ; U_p \rightarrow \text{PRYENOSNI SIGNAL}$

$$M_{AM} = \frac{U_M}{U_P} \quad \rightarrow \text{INDEX MODULACIJE } M_{AM} \text{ JE BROJ, } U_M \rightarrow \text{AMPLITUDA MODULACIJSKOG SIGNALA}$$

$U_P \rightarrow \text{PRYENOSNI SIGNAL}$

$$U_p = \frac{U_{MIN} + U_{MAX}}{2} \quad [V] \rightarrow \text{PRYENOSNI SIGNAL } (U_p) ; U_{MIN} \& U_{MAX} \rightarrow \text{MINIMALNA \& MAXIMALNA VRJEDNOST AMPLITUÐNO MODULIRANOG (AM) SIGNALA}$$

$$P_p = \frac{U_p^2}{2R} \quad [W] \rightarrow \text{SNAGA PRYENOSNOG SIGNALA KOD AM-MODULACIJE, I INACE } (P_p)$$

$U_p - \text{NAPON PRYJ. SIG.} ; R \rightarrow \text{OTPOR } [\Omega]$

$$P_M = P_p \left(\frac{M_{AM}}{2} \right)^2 \quad [W] \rightarrow \text{SNAGA UKUPNOG MODULACIJSKOG SIGNALA, AM } (P_M) ; P_p - \text{SNAGA PRYENOSNOG}$$

$M_{AM} \rightarrow \text{INDEX MODULACIJE}$

$$P_{AM} = P_p \left(1 + \frac{M_{AM1}}{2} + \frac{M_{AM2}}{2} + \dots \right)^2 \quad [W] \rightarrow \text{SNAGA UKUPNA, AM SIGNALA } (P_{AM}) ; P_p \rightarrow \text{PRYENOSNI}$$

$M_{AM1}, M_{AM2} \rightarrow \text{INDEX MODULACIJSKIH S. (KOLIKO IH VEC IMA)}$

$$V_{BL} = V_{BD} = V_p \frac{M_{AM}}{2} \quad [V] \rightarrow \text{NAPONI LIJEVE } (V_{BL}) \text{ I DESNE BOËNE KOMPONENTE } (V_{BD})$$

$V_p \rightarrow \text{PRYENOSNI} ; M_{AM} \rightarrow \text{INDEX MODULACIJE, AM}$

$$P_{FM} = P_p = \frac{U_{FM}^2}{2R} [W] \rightarrow SNAGA FM & PM SIGNALA (P_{FM}); P_p \rightarrow PRIJENOSNA SNAGA$$

R \rightarrow OTPOR; U_{FM} \rightarrow NAPON

$$B = 2(f_m + Df) [Hz] \rightarrow CARSONOV PRAVILO; FREKVENCija ŠIRINA REJASA FM (PM) SIGNALA (B)$$

f_m \rightarrow FREKVENCija MODULACIJSOG SIGNALA; Df \rightarrow DEVIJACIJA FREKVENCije

$$\mu_{FM} = \frac{\Delta\omega_{FM}}{\omega_m} = \frac{D\phi}{\omega_m} \rightarrow INDEX MODULACIJE FM/PM SIGNALA; \Delta\omega_{FM} \rightarrow DEVIJACIJA F.;$$

\omega_m \rightarrow MODULACIJSKA FREKVENCija; D\phi \rightarrow DEVIJACIJA FAZE

3. CJELINA

$$f_1 = f_p + Df \rightarrow KOD BFSK, FREKVENCije ZNAKA (PRIROĐENE) "0" \& "1";$$

f_p \rightarrow PRIJENOSNA FREKVENCija; Df \rightarrow DEVIJACIJA FREKVENCije

$$f_0 = f_p - Df [Hz]$$

$$f_1 - f_0 = 2Df [Hz] \rightarrow RAZMAK FREKVENCije ZA ZNAK "1" \& "0" KOD BFSK;$$

Df \rightarrow DEVIJACIJA FREKVENCije

$$f_p = \frac{f_1 + f_0}{2} [Hz] \rightarrow FREKVENCija PRIJENOSNOG SIGNALA NA ARITMETIČKOJ JE SREDINI$$

ZNAKA (FREKVENCija PRIROĐENOG ZNAKA) "1", "0"

$$\mu_{FSK} = 2DfT_s \rightarrow INDEX MODULACIJE PSK SIGNALA; Df \rightarrow DEVIJACIJA FREKVENCije;$$

T_s \rightarrow TRAJANje SIMBOLOA

$$B_{FSK} = 2(Df + \frac{1}{2T_b}) [Hz] \rightarrow CARSONOV PRAVILo, ŠIRINA ZAUZETOG FREKV. POJASA?$$

Df \rightarrow DEVIJACIJA F.; T_b \rightarrow TRAJANje BITA

$$B_N = R_s [Hz] \rightarrow KOD PSK \& QAM POSTUPANA NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA (B_N)$$

JEDNAKA JE BRZINI PRIJENOSA SIMBOLOA (R_s)

$$P_{Eb} = \frac{1}{2} e^{-E_e/N_0} \rightarrow VJEROJATNOST GRESKE BITA KOD DE-BPSK POSTUPNA (N_0);$$

E_e \rightarrow ENERGIJA BITA; N_0 \rightarrow GUSTOCa SNIAGE SUMA

$$f_1 = f_p + \frac{1}{4T_b} \quad f_0 = f_p - \frac{1}{4T_b} \rightarrow FREKVENCije ZNAKA "1" \& "0" KOD MSK$$

(f_1, f_0); T_b \rightarrow TRAJANje BITA (VISEKRATNICI $\frac{1}{2T_b}$)

OSTALO:

$$\Delta f = \frac{1}{T_0} = f_0 \rightarrow \text{RAZMAK PODNOSIČA, } \Delta f \text{ KOD OFDM}$$

$f_0 \rightarrow \text{OSNOVNA FREKVENCija; } T_0 \rightarrow \text{OSNOVNO TRAJANJE OFDM SIMBOCA}$

$$B_{OFDM} = N_{NETTO} \cdot \Delta f \rightarrow \text{ŠIRINA OFDM ZALETOG FREKV. POJASA (} B_{OFDM})$$

$N_{NETTO} \rightarrow \text{BROJ KORISNIH PODNOSIČA; } \Delta f \rightarrow \text{RAZMAK POTKANALA}$

$$T_{OFDM} = T_0 + T_{Z_1} \rightarrow \text{TRAJANJE OFDM SIMBOCA (} T_{OFDM}) ; T_0 \rightarrow \text{OSNOVNO TRAJANJE OFDM SIMBOCA}$$

$T_{Z_1} \rightarrow \text{TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA}$

$$R_s = R_{OFDM} \cdot N_{NETTO} \rightarrow \text{BRZINA PRYENOSA "OBICNAH SIMBOCA" (} R_s)$$

$R_{OFDM} \rightarrow \text{BRZINA PRYENOSA OFDM SIMBOCA, } N_{NETTO} \rightarrow \text{BROJ KORISNIH POTKANALA}$

$$\text{ADSL: } R_s = 4000 \text{ Bd; } B_{POTKANAL} = 4312.5 \text{ Hz; } N_{DOWNLOAD} = 223$$

$$N_{UPLOAD} = 25 \quad (\varnothing - 15) \text{ BITA/SIMBOL}$$

$$BER = \frac{\text{BROJ POGREŠNIH BITA}}{\text{OKUPNI BROJ BITA}}$$

1)

- 1. AUDITORNE, 1. ZADATAK \Rightarrow Europski prijenosni sustav E1 sastoji se od 32 kanala digitaliziranog govora, svaki po 64 kbit/s (uzorci $8 \text{ kHz} \times 8 \text{ bita} = 64 \text{ kbit/s}$). Potrebno je odrediti:

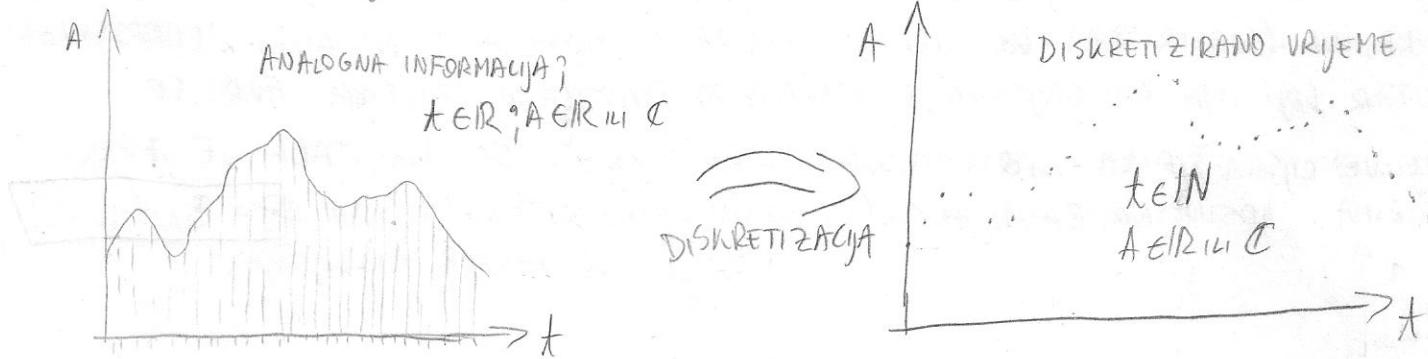
1. BRZINU PRIJENOSA BITA U E1 SUSTAVU!

2. TRAJANJE INTERVALA JEDNOG BITA!

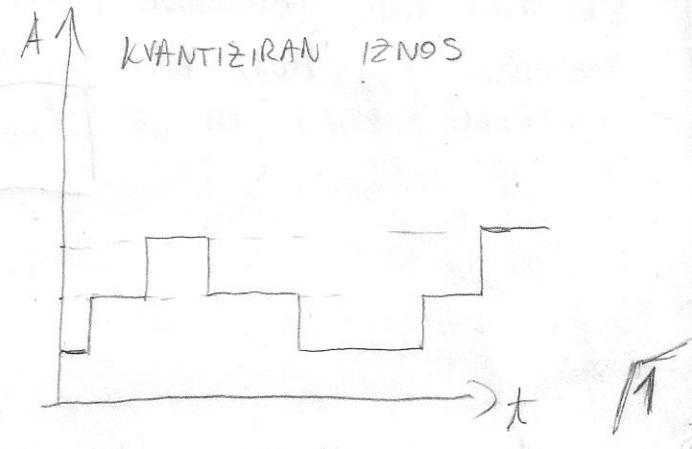
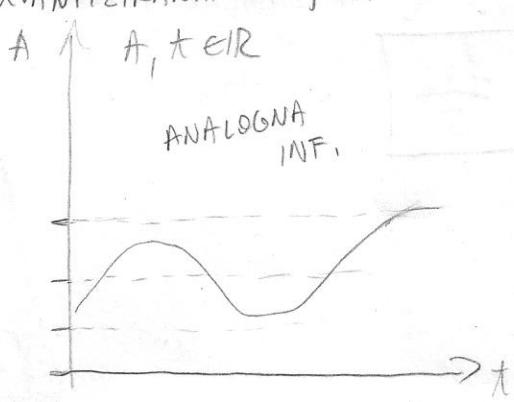
3. TEORIJSKI MINIMALNU ŠIRINU POJASA E1 SIGNALA!

4. ŠIRINU POJASA E1 SIGNALA AKO SE KORISTI NISKOPROPUSNI FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBLJENJEM I FAKTOROM ZAOBLJENJA $\alpha = 0.4$!

DIGITALIZACIJA ANALOGNE INFORMACIJE SE PROVODI U 2 SEGMENTA. JEDAN OD NJIH JE DISKRETIZACIJA PO VREMENU NEKOM FREKVENCIJOM UZORKOVANJA, f_{uz} . PRITOM SE POSTUJE NYQUISTOVO PRAVILO KOJE KAŽE DA ZA ISPRAVNU REKONSTRUKCIJU DIGITALNE INFORMACIJE f_{uz} MORI BITI BAREM DVOSTRUKO VEĆA OD MAXIMALNE FREKVENCE IZVORNOG SIGNALA (PRITOM SE ČESTO IZVORNI ANALOGNI SIGNAL FREKVENCJSKI OGRANIČAVA NA NEKU MAXIMALNU FREKVENCIJU FILTROM). DISKRETIZACIJA SE MOŽE SLIKOM ZORNOM PREDOČITI:



DRUGI SEGMENT ILI DIO DIGITALIZACIJE JE KVANTIZACIJA. PRI KVANTIZACIJI SE SVAKOM DISKRETNOM TRENUTKU PRIORUŽUJE ODREĐENI BROJ BITA(n) ZA PRIJENOS INFORMACIJE O TRENUTNOM IZNOSU SIGNALA (AMPLITUDI). PRI TOME SVAKI DISKRETNI TRENUTAK MOŽE NOSITI INFORMACIJU O IZNOSU KOJA JE JEDAN OD MOGUĆIH, KONAČNIH BROJEVA. NPR. AKO JE SVAKOM TRENUTKU PRIORUŽENO 8 BITA SVAKI TRENUTAK MOŽE PREDSTAVLJATI JEDAN OD 256 BROJEVA (2^8) (RAZINA) NPR. 0-255. U SLUČAJU 4 BITA, MOGUĆE JE PRIKAZATI $2^4 = 16$ BROJEVA, KONAČNI REZULTAT DIGITALIZACIJE JE SKUP PAROVA DISKRETIZRANIH VREMENA I PRIPADAJUĆIH KVANTIZIRANIH BROJEVA.



AKO SA R_e OZNAČIMO BRZINU PRIJENOSA BITA KAO OSNOVNE INFORMACIJE (OILI 1) U SEKUNDI (bit/s), TADA JE $R_b = f_{uz} \cdot X_M$

BROJ BITA PO DISKRETIZIRANOM DJELU VREMENA

FREKVENCija

UZORKOVANJA

TRAJANJE JEDNOG BITA, T_b

$$T_b = \frac{1}{f_{uz}}$$

NPR.

IZ BRZINE, R_e , MOŽEMO ODREDITI

TRAJANJE JEDNOG BITA, T_b

AKO SE PRENOSI 1000 bit/s, TADA JEDAN BIT ZAUZIMA TISUĆITI DIO SEKUNDE. NEOVISNO O DIGITALIZACIJI, PRI SLANJU KOMUNIKACIJSKIM KANALOM, POSLJE DIGITALIZACIJE, A PRIJE SLANJA DIGITALNA INFORMACIJA SE PRIKAZUJE U OBliku NIZA BINARNIH ZNAKOVA.

TADA, PRIJE SLANJA, NEOVISNO O DIGITALIZACIJI, INFORMACIJA SE PRIKAZUJE U NEKOM OD LINIJSKIH KODOVA. SLIČNO KAO KOD MODULACIJE, BITOVI SE GRUPIRAJU U SIMBOLE (NPR. KVATERNARNI LINIJSKI KOD - 2 BITA PO SIMBOLU). BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA (B_{aud} , B_d) SE PRITOM OZNAČAVA SA R_s . TRAJANJE JEDNOG SIMBOLA JE

ONDA, KAO I KOD TRAJANJA BITA, VEZANO UZ BRZINU R_s FORMULOM: $T_s = \frac{1}{R_s}$.

VEZA BRZINE PRIJENOSA SIMBOLA & BITA JE: $R_s = R_e \cdot \frac{W}{W}$, GDJE JE W BROJ BITA

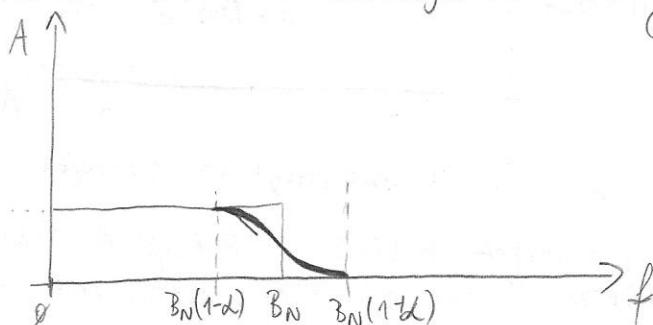
PRIDRUŽEN POJEDINOM SIMBOLU (BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA JE UVJEK \leq OD R_e)

PRI SLANJU KOMUNIKACIJSKIM KANALOM SIGNAL SE FILTRIRA. IDEALNI, NYQUISTOV FILTER Nije OSTVARIV U PRAKSI, NO AKO SE NA NJEGA SUPERPONIRA FUNKCIJA KOJA JE NEPARNA (SIMETRIČNA) OKO GRANICE FILTRA, INFORMACIJA SE NE GUBI. JEDNOSTAVAN FILTER koji ima ovo svojstvo je KOSINUSNO ZAOBLJENI FILTER, AKO SE

FREKVENCISKA ŠIRINA NYQUISTOVOG FILTRA OZNAČI SA B_N , TADA JE FREKVU.

ŠIRINA KOSINUSNO ZAOBLJENOG (ILI DRUGOG SIMETRIČNOG) FILTRA: $B = B_N(1+\alpha)$,

GDJE JE α FAKTOR ZAOBLJENJA.



UKOLICO NEMA MODULACIJE U PRIJENOSU, RADI SE O PRIJENOSU U OSNOVNUM POJASU, TE JE $B_N = \frac{R_s}{2}$, ŠTO SLYEDI IZ FREKVENCE UZORKOVANJA. ŠTO

SE TIČE PAK IZVORNOG SIGNALA, PRIJE DIGITALIZACIJE, PO NYQUISTOVOM

PRAVILU f_{uz} MORA BITI DVO STRUKO VEĆA (BAREM) OD MAKSIMALNE FREKVENCE IZVORNOG SIGNALA, PA JE $f_{MAX}(\text{IZVORNOG SIGNALA}) = \frac{f_{uz}}{2}$

① (1. AUDITORNE - 1. ZADATAK)

1. BRZINA PREJENOSA DOBIJE SE ZBRAJANJEM DOPRINOSA SVIH KANALA:

$$R_b = 32 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 2048 \text{ kbit/s}$$

(AKO SVAKI PRENESE U
SEKUNDU 64 kbit, ONDA IH
32 PRENESE 2048 kbit/s)

2. TRAJANJE BITA SE ODNOŠI NA CJEVNI SUSTAV PA JE:

$$T_b = \frac{1}{R_b} = 0.488 \mu\text{s}$$

(IDEALNIM)

3. MINIMALNA ŠIRINA POJASA DOBIJE SE NYQUISTOVIM FILTROM, A KAKO SE NIGDJE NE SPOMINJU MODULACIJE & LINIJSKI KODOVI TADA JE $R_s = R_b$:

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{2} = 1024 \text{ kHz} \rightarrow \text{PAZITI NA MJERNE JEDINICE!}$$

$$4. \text{ KAKO JE } \alpha = 0.4, \quad B = B_N(1+\alpha) = 1.4336 \text{ MHz}$$

KOSINUSNI FILTAR JE REALAN, STOGA ŠIRI OD NYQUISTOVOG, ZA FAKTOR α .

② (1. AUDITORNE - 2. ZADATAK)

BINARNI SE SIGNAL PRENOSI U OSNOVNUM POJASU FREKVENCIIA KOMUNIKACIJSKIM KANALOM ŠIRINE POJASA OD 75 kHz. TRAJANJE INTERVALA JEDNOG BITA IZNOSI 10 μs. POTREBNO JE ODREDITI FAKTOR ZAOBLJENJA NISKOPROPUSNOG FILTRA koji zadovoljava tje zahtjeve

$$B = 75 \text{ kHz}, \quad T_b = 10 \mu\text{s} \quad | \text{ SIGNAL JE BINARAN} \Rightarrow R_s = R_b \quad (\text{NEMA NI MODULACIJE})$$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{2} = \frac{1}{2T_b} = 50 \text{ kHz}$$

$$75 \text{ kHz} = B = B_N(1+\alpha) \Rightarrow 1+\alpha = \frac{B}{B_N}$$

ZADANO

$$\alpha = \frac{B}{B_N} - 1 = 0.5$$



(3) (1. AUDITORNE-3. ZADATAK): U POSTUPKU DISKRETIZACIJE AMPLITUDE UZORKTKA ANALOGNOG SIGNALA PROVODI SE Kwantizacija sa 128 mogućih razina, na kraj svake nove riječi dodaje se 1 sinkronizacijski bit, rezultirajući digitalni signal prenosi se kvaternarnim linijskim kodom komunikacijskim kanalom širine pojasa 12 kHz u kojem se koristi filter s faktorom zaobjeja $\lambda = 1$.

1. Odredite brzinu prijenosa bita kroz komunikacijski kanal (u bitovima u sekundi).

2. -na- frekvenciju uzorka analognog signala, koja je najviša moguća frekvencija analognog signala? ($N=128, B=12 \text{ kHz}, \lambda=1$)

1. Radi se o kvaternarnom linijskom kodu pa je $R_B = 2R_s$, jer se koristi 2 bita po simbolu.

$$B = B_N(1+\lambda) \Rightarrow B_N = \frac{B}{1+\lambda} = 6 \text{ kHz}$$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_B}{4} \Rightarrow R_B = 4 \cdot B_N = 24 \text{ bit/s}$$

2. $R_B = f_{uz} \cdot n$; $n = 8$ jer se koristi 128 razina (2^7) za što je potrebno 7 bita, ali piše u tekstu da se dodaje 1 zalihosni bit, pa je $n = 7 + 1 = 8$ (sinkronizacijski)

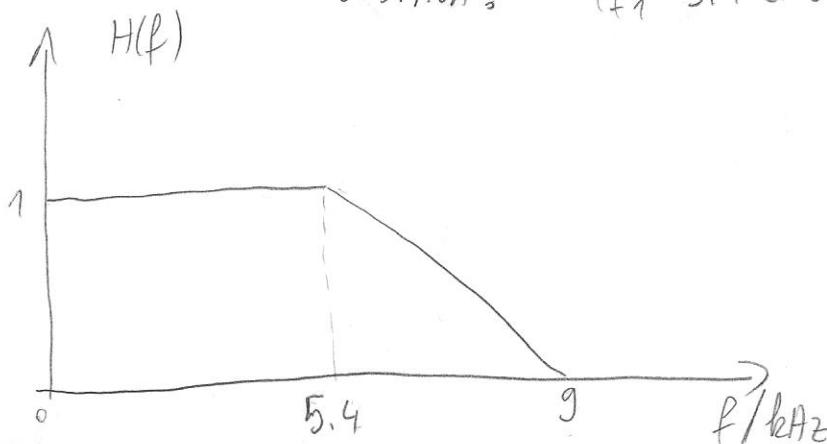
$$f_{uz} = \frac{R_B}{8} = 3 \text{ kHz}$$

Po Shannonovom teoremu uzorkovanja analognog signala:

$$f_{MAX} = \frac{f_{uz}}{2} = 1.5 \text{ kHz}$$

(4) (1. AUDITORNE-4. ZADATAK): Frekvencijska karakteristika filtra za oblikovanje impulsa binarnog linijskog koda u osnovnom pojusu frekvencija ima oblik nato na slici. 1. Kolika je najviša brzina prijenosa bita koo koje ne dolazi do smetnje među simbolima?

2. Kolika je spektralna vjerojatnost prijenosnog sustava? ($f_1 = 5.4 \text{ kHz}; f_2 = 9 \text{ kHz}$)

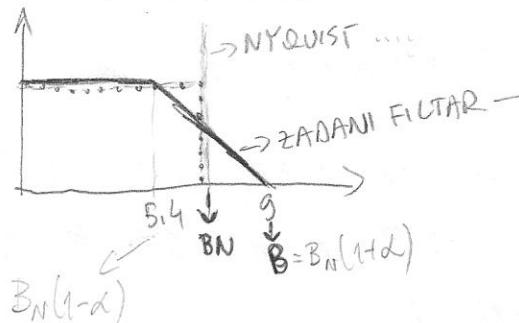


SPEKTRALNA UČINKOVITOST OZNAČAVA BRZINU PRIJENOSA BITA PO JEDINICI

ŠIRINE FREKVENCYJSKOG POJASA, PA JE:

$$\text{SPEKTRALNA UČINKOVITOST} = R_e / B$$

1. KAO ŠTO SE ZNA, FREKVENCYJSKA KARAKTERISTIKA FILTRA TREBA BITI SIMETRIČNA DOK GRANICE NYQUISTOVOG IDEALNOG FILTRA ZA OPTIMALAN PRIJENOS INFORMACIJE,



PA JE:

$$B_N = \frac{9+5.4}{2} = 7.2 \text{ kHz}$$

ARITMETIČKA
SREDINA
GRANICA

$$\left(\begin{array}{l} f_1 = 9 \text{ kHz} = B_N(1+d) \\ f_2 = 5.4 \text{ kHz} = B_N(1-d) \end{array} \right)$$

KAKO SE RADI O BINARNOM LINIJSKOM KODU, $R_e = R_s$.

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_e}{2} \Rightarrow R_e = 2B_N = 14.4 \text{ bit/s}$$

KADA BI R_e BIO VEĆI, DOŠLO BI DO INTER-SIMBOLNE INTERFERENCIJE JER BI FILTAR ODREZAO DIJO INFORMACIJE (STOGA MORA BITI $R_s \leq 2B_N$).

2. S. UČINKOVITOST = $\frac{R_e}{B} = \frac{14.4}{9} = 1.6 \text{ bit/s/Hz} \rightarrow$ PRIPAZITI NA JEDINICU!

(5) (1. AUDITORNE - 5. ZADATAK): OVAJ ZADATAK NEĆE BITI OBJAŠNJAVA JER VEĆ POSTOJI RJEŠENJE SA OBJAŠNJENJEM I TO U PRILOGU. ZADATAK JE IMAO SAMO OPISNE NARAVI JER UKYUĆUJE RAZVOJ U FOURIEROV RED PA SE I NE POJAVLJUJE NA ISPITIMA.

(6) (1. AUDITORNE - 6. ZADATAK): PREPOSTAVIMO DA SE SIGNAL SNAGE 10 mW I FREKVENCije 1000 Hz PRENOSI UPLETENOM PARICOM TE DA JE SNAGA NA PRIJAMNOM KRAJU 0.2 mW . KOLIKO JE GUŠENJE SIGNALA?

OMJERI SNAGA (I NAPONA) SE U KOMUNIKACIJAMA IZRĀŽAVAJU U LOGARITAMSUOM MJERILU (U DECIBELIMA, dB). ISTO SE RADI I U NEKIM DRUGIM ZNANSTVENIM PODRUČJIMA, NPR. AKUSTICI.

- OMJER SNAGE NA IZLAZU I ULAZU ZOVE SE POJAČANJE (ATTENJUACIJA):

$$A = \frac{P_{IZL}}{P_{UL}} \quad | A |_{dB} = 10 \log \frac{P_{IZL}}{P_{UL}}$$

AKO SE RADI O NAPONU:

$$A_{dB} = 20 \log \frac{V_{IZL}}{V_{UL}}$$

(JER JE KVADRAT NAPONA SNAGA)

- OMJER SNAGE NA ULAZU I IZLAZU ZOVE SE GUŠENJE (LOSS):

$$L = \frac{P_{UL}}{P_{IZL}} \quad | L |_{dB} = 10 \log \frac{P_{UL}}{P_{IZL}}$$

$$| NAPON: L_{dB} = 20 \log \frac{V_{UL}}{V_{IZL}}$$

$$P = V^2 / R$$

DECIBELI SE KORISTE ZBOG VELIKIH OPSEGA SNAGE (RAZLINE U MW), KOJE U LOGARITAMSOM MJERILU IZNOSI STOTINE DECIBELA, ISTO TAKO SE UZASTOPNA POJAČANJA I GUŠENJA LAKŠE RAČUNAJU, UER SE U DECIBELIMA TI IZNOSI U MJESTO MNÖŽENJA ZBRAJAJU (I 00021 MAJU).

$$dBW = 10 \log \frac{P}{1W} \quad dBm = 10 \log \frac{P}{1mW}$$

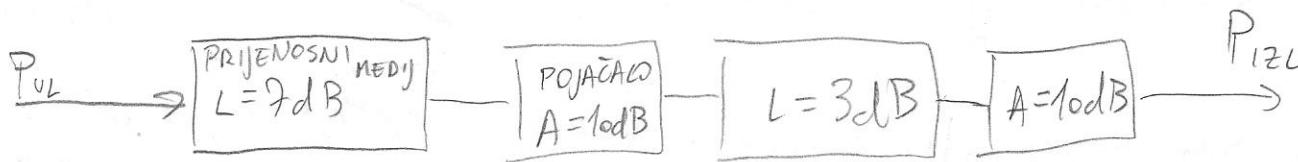
$$L = \frac{P_{UL}}{P_{IZL}} = \frac{10}{0.2} = 50 \quad L_{dB} = 10 \log(50) \approx 17 \text{ dB}$$

U OVOM ZADATKU FREKVENCIJA JE NEVAŽAN PODATAK.

⑦ (1. AUDITORNE - 7. ZADATAK): PREPOSTAVIMO DA JE NA ULAZU U POJAČALO SIGNAL SNAGE 10mW, A NA IZLAZU IZ POJAČALA SIGNAL SNAGE 20 mW, KOLIKO JE POJAČANJE SIGNALA?

$$A = \frac{P_{IZL}}{P_{UL}} = \frac{20}{10} = 2 \quad A_{dB} = 3 \text{ dB}$$

⑧ (1. AUDITORNE - 8. ZADATAK): ODREDITI OMjer IZLAZNE I ULAZNE SNAGE U KOMUNIKACIJSKOM SUSTAVU PRIKAZANOM NA SLICI.



$$\frac{PIZL}{PUL} = \text{POJAČANJE} = A$$

ZADATAK SE MOŽE RJEŠITI RAČUNANjem DIO PO DIO, ŠTO JE SPORJE, NO KAKO SU ZADANI dB, NAJLAKŠE JE SAMO POZBRAJATI DOPRINOSE POJAČANJA I GUŠENJA U dB, TE GUŠENJIMA DATI NEGATIVAN PREDZNAK, A POJAČANJIMA POZITIVAN (DA SE TRAŽI GUŠENJE, PREDZNAKE BI OBRNULI):

$$A_{dB} = \frac{PIZL}{PUL} = -7 + 10 - 3 + 10 \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

⑨ (1. AUDITORNE - 9. ZADATAK): KOLIKO JE GUSTOĆA SNAGE TERMičKOG ŠUMA NA TEMPERATURI $T = 17^\circ\text{C}$?

IDEALNI TERMIČKI ŠUM IMA UNIFORMNU (JEDNOLIKU) RASPODJELU U FREKVENCIJSKOM DOMENI. STOGA JE GOSTOĆA SNAGE TERMIČKOG ŠUMA (PO JEDINICI FREKVENCE):

$$N_0 = \frac{kT}{W/Hz}; \text{ gdje je } k \text{ BOLTZMANNOVА KONSTANTА, a } T \text{ TEMPERATURA U KELVINIMA. (} k = 1.3803 \cdot 10^{-23} \text{)}$$

SNAGA ŠUMA DOBIJE SE MNOŽENjem GOSTOĆE SNAGE TERMIČKOG ŠUMA SA ZADANOM FREKVENCIJSKOM ŠIRINOM (KOLIKO ŠUMA UREDAJ 'UZIMA'):

$$N = kTB$$

$$N_0 = kT = 4 \cdot 10^{-21} W/Hz$$

(10) (1. AUDITORNE - 10. ZADATAK): koliki je termički šum na temperaturi $T=290\text{ K}$ uz širinu pojasa 10 MHz ?

$$N = kTB = -133.97 \text{ dBW}$$

KAPACITET KOMUNIKACIJSKOG KANALA JE NAJVEĆA BRZINA KOJU TAJ KANAL MOŽE IMATI. NYQUISTOVA FORMULA ZA KAPACITET KIJE: $C = 2BW$, GOJE JE 'B' FREKU. ŠIRINA POJASA, A "W" LOGARITAM BROJA NAPONSKIH RAZINA KOJE SIGNAL MOŽE POBRIMITI (ODNOSNO PROJ BITA POTREBNIH ZA PRIKAZ SVIH RAZINA). $W = \log_2 M$; 'M' JE BROJ DISKRETNIH RAZINA, NPR. $M = 1024 \Rightarrow W = 10$.

U UVJETIMA BIJELOG ŠUMA NAJVEĆU TEORIJSKI MOGUĆU BRZINU POUZDANOG PRIJENOSA ODREDOIO JE SHANNON: $C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$; GOJE JE S/N ODNOS SIGNAL/ŠUM (SIGNAL/NOISE) U ABSOLUTNOM IZNOSU (NE U dB!).

(11) (1. AUDITORNE - 11. ZADATAK): a) Ako se u širini pojasa 2.2 MHz prenosi diskretni binarni signal koliki je tada kapacitet kanala C?
b) Koliki je kapacitet ako se istim kanalom prenosi signal s 16 diskretnih razina?

a) BINARNI SIGNAL $\rightarrow 2$ RAZINA $\rightarrow W = 1$

$$C = 2B \cdot 1 = 4.4 \text{ Mbit/s}$$

b) 16 RAZINA $\rightarrow W = \log_2 16 = 4$

$$C = 2BW = 17.6 \text{ Mbit/s}$$



(12) (1. AUDITORNE - 12. ZADATAK): AKO SE U KANALU, KOJI SE NALAZI IZMEĐU 2.2675 GHz & 2.2725 GHz PRENOSI SIGNAL ZA KOJI JE OČEKIVAN S/N PRIBUŽNO 12.6 dB, KOLIKI JE KAPACITET KANALA?

$$S/N \text{ AUF ABSOLUTNOM IZNOSU: } S/N_{dB} = 10 \log \frac{S}{N} \Rightarrow S/N = 10^{\frac{12.6}{10}} = 18.2$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = (2.2725 \cdot 10^9 - 2.2675 \cdot 10^9) \cdot \log_2 (18.2) = 21.3 \text{ Mbit/s}$$

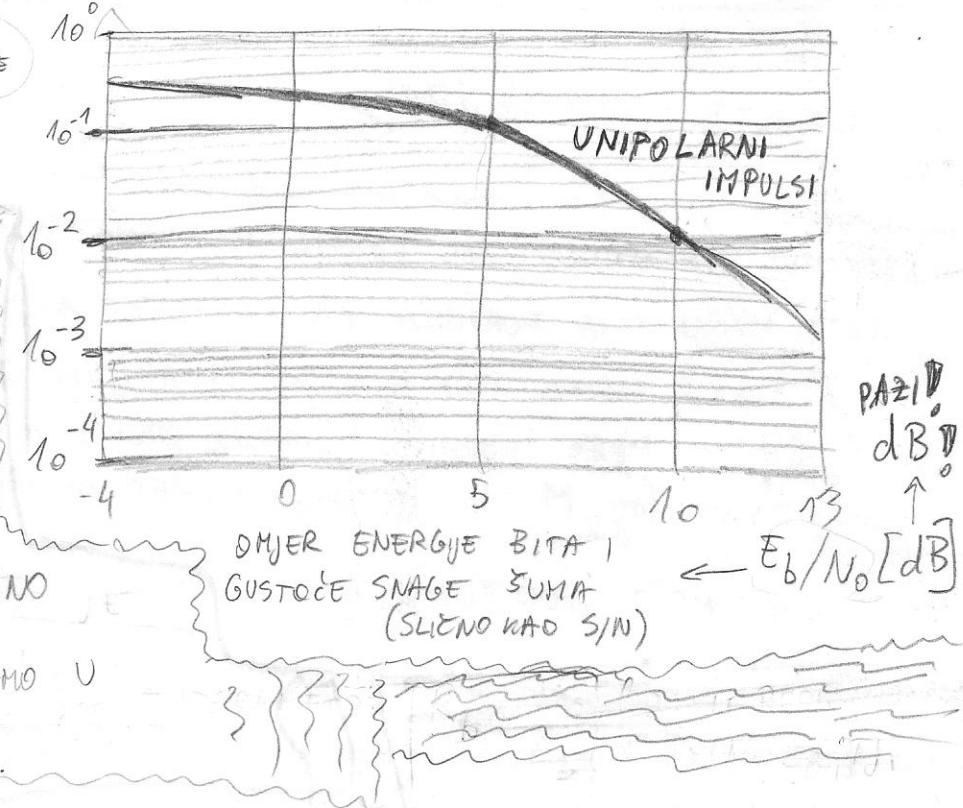
(13) (1. AUDITORNE - 13. ZADATAK): VJEROJATNOST POGREŠNE DETEKCIJE SIMBOLA U BINARNO SIMETRIČNOM KANALU PRIKAZANA JE NA SLICI. PRI PRYENOSU BINARNOG SIGNALA BRZINE 14400 bit/s UNIPOLARNIM NRZ LINIJSKIM KODOM POSTIGNUTA JE VJEROJATNOST POGREŠKE 0.1, KOLIKA JE NAJVISA BRZINA DIGITALNOG SIGNALA KOjom BI SE MOGLA POSTIĆI VJEROJATNOST POGREŠKE OD 0.01?

OMJER E_b/N_0 SE KORISTI U DIGITALnim KOMUNIKACIJAMA (KAO I C/N - CARRIER/NOISE - OMJER SNAGE NOSIOCA I ŽUMA)

UMJESTO S/N KOJI NEMA TU

SMISLA, AKO JE C SNAGA NOSIOCA, TADA JE $C = \frac{E_b}{N_0}$, ODNOŠNO

$C = E_b \cdot R_b$. S/N SE KORISTI SAMO U ANALOGnim KOMUNIKACIJAMA.



$$R_{b1} = 14400 \text{ bit/s}; P_e = 0.1 \Rightarrow \frac{E_{b1}}{N_0} = 3.16 \text{ (očitano s grafa)}$$

$$P_e = 0.01 \Rightarrow \frac{E_{b2}}{N_0} = 10 \text{ dB} = 10 \text{ (kao nije drukčije napomenuto, pretpostavlja se da su snage } c_1 \text{ u prvom slučaju i } c_2 \text{ u drugom slučaju jednake, kao i pripadajući } B \text{ i } N_0 \text{ (} N_0 = N_0 \text{))},$$

$$\text{koristenjem } C = E_b \cdot R_b;$$

$$\frac{c_1}{R_{b1} \cdot 3.16} = \frac{c_2}{R_{b2} \cdot 10} \Rightarrow R_{b2} = 0.316 \cdot R_{b1} = 4550.4 \text{ bit/s}$$

$$\frac{c_1}{R_{b1} \cdot 3.16} = \frac{c_2}{R_{b2} \cdot 10} \Rightarrow R_{b2} = 0.316 \cdot R_{b1} = 4550.4 \text{ bit/s}$$

(14) (1. AUDITORNE - 14. ZADATAK): ZA NIŽE NAVEDENI IZVORNI BINARNI NIZ NAPISITE

BINARNI NIZ NASTAO DIFERENCIJALNIM KODIRANjem ZNAKA "0" i "1".

- JEDNOSTAVNO, DIFERENCIJALNIM KODIRANjem NEKE ZNAMENKE, NA POJAVU TE ZNAMENKE U IZVORNOM NIZU, TRENUtNI NIZ MJENJA SVOJE STANJE, DOK SE NA OSTALE ZNAMENKE NE MJENJA. (NPR. "DIF. KODIRANI 1" POJAVOM JEDINICE MIJENJA SVOJE STANJE)

IZVORNI NIZ	1 0 1 1 0 0 0 1 0 0
NIZ S DIF. KODIRANIM "1"	0 1 1 0 0 0 1 0 0
NIZ S DIF. KODIRANOM "0"	1 0 1 1 0 0 0 1 0 0

PJEŠEME: a) $\xrightarrow{\text{POČETNA ZNAMENKA}} 0 | 1 1 0 1 1 1 0 0 0 \xrightarrow{\text{NA ZNAK "1". MIJENJA SE PRETHODNO STANJE, NA "0", ONO OSTAJE ISTO}}$
b) $\xrightarrow{\text{ISTO, SAMO OBRNUTO}} 0 | 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 \xrightarrow{\text{(12)}}$

ZADACI KOJI SE ODNOSE NA 1. Prelozavje (do modulacije),
ALI SU IZVAN AUDITORNIH - SA ISPITA DRUGIH ZBIRKI

(5. ZADATAK - ZI KOMSUS; 2007-08): KOLIKA JE SPEKTRALNA VĒINKOVITOST U OSNOVNUm POJASU FREKVENCIJA UZ ZAOBYENJE KARAKTERISTIKE OD 0.25?

$$\alpha = 0.25 \quad \text{OSNOVNI POJAS, TE SE NE SPOMINJU KODEVI} \Rightarrow R_s = R_b$$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{2} \Rightarrow R_b = 2B_N$$

$$B = B_N(1+\alpha)$$

$$S.U. = \frac{R_b}{B} = \frac{2B_N}{B_N(1+\alpha)} = \frac{2}{1.25} = 1.6 \text{ bit/s}$$

(10. ZADATAK - ZI KOMSUS-2008-09): ZADANA JE SNAGA NA ULAZU U MEDIJ, $P_{UL} = 2 \text{ mW}$

KOLIKO JE TO dBm?

$$P_{dBm} = 10 \log \frac{P}{1 \text{ mW}} = 10 \log 2 \approx 3 \text{ dBm}$$

↓
DECIBEL NAD
MILIWATOM

(12. ZADATAK - 21 - KOMSUS - 2008-09): SIGNAL JE KVANTIZIRAN U 256 RAZINA

I PRENOSI SE KVATERNARNIM LINIJSKIM KODOM, KORISTI SE FILTAR S FAKTOROM ZAOBLJENJA $\alpha = 0.5$, A SIGNAL SE PRENOSI U POJASU ŠIRINE 12 kHz . IZRAČUNATI R_b !

$$\alpha = 0.5; B = 12 \text{ kHz}$$

$$B = B_N(1+\alpha) \Rightarrow B_N = \frac{B}{1+\alpha} = 8 \text{ kHz}$$

$$R_s = 2B_N = 16 \text{ kbit/s}$$

KAO JE KORIŠTEN KVATERNARNI LINIJSKI KOD TADA JE $R_b = 2 \cdot R_s$, dok je podatak o 256 RAZINA SUVIŠAN.

$$R_b = 2 \cdot R_s = 32 \text{ kbit/s}$$

(6. ZADATAK - 1. MI - 2009-10): KVATERNARNIM DIGITALNIM SIGNALOM U Ž

ŠIRINU POJASA OD 31.25 kHz I TRAJANJE BITA $16 \mu\text{s}$ PRENOSE SE INFORMACIJE. ODREDI FAKTOR ZAOBLJENJA FILTRA!

$$B = 31.25 \text{ kHz}; T_b = 16 \mu\text{s}$$

KVATERNARNI (2 BITA PO SIMBOLU) $\Rightarrow R_b = 2R_s$

$$R_b = \frac{1}{T_b} = 62.5 \text{ kbit/s}$$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{4} = 15.625 \text{ kHz}$$

$$B = B_N(1+\alpha) \Rightarrow \alpha = \frac{B}{B_N} - 1 = 1$$

(14. ZADATAK - 1. MI - 2009-10): TV ZRAĆI 1000 W , koliko je to dBm?

$$P_{10} \text{ dBm} = 10 \log \frac{1000 \text{ W}}{1 \text{ mW}} \approx 60 \text{ dBm}$$

(1.1. TSM - 22 - 2002): ZA PRIJENOSNI SUSTAV PREMA SHEMI ZADANO JE: $P_1 = 7 \text{ dBm}$

$P_2 = 3 \text{ W}$, IZRAZITI P_1 U [W], P_2 U [dBm] I IZRAČUNATI POJAČANJE

'G' PRIJENOSNOG SUSTAVA KAO FAKTOR I U dB. $P_1 \rightarrow \boxed{G} \rightarrow P_2$

$$P_{10} \text{ dBm} = 10 \log \frac{P_1}{1 \text{ mW}} \Rightarrow P_1 = 10^{\frac{7}{10}} = 5.01 \text{ mW} = 5.01 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

$$P_2 \text{ dBm} = 10 \log \frac{3 \text{ W}}{1 \text{ mW}} = 34.47 \text{ dBm}$$

$$G = \frac{P_2}{P_1} = 598.8 \quad G \text{ dB} = 10 \log G = 27.97 \text{ dB}$$

(1.2. TSM-22-2002): ISTO KAO U 1.1. TSM-22-2002, ZADANO?

a) $P_1 = -20 \text{ dBm}$; $P_2 = 10 \text{ mW}$

b) $P_1 = -4 \text{ dBm}$; $P_2 = 0.1 \text{ mW}$

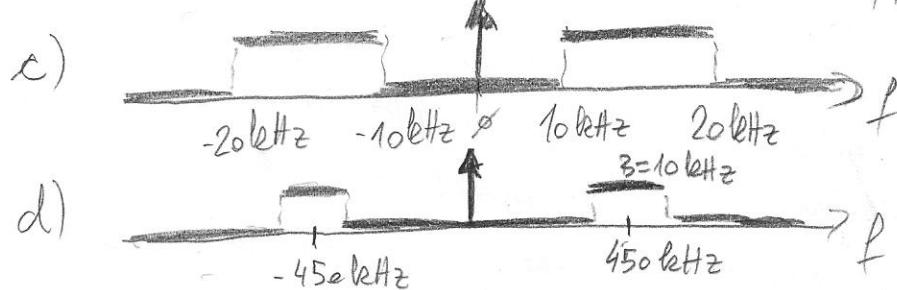
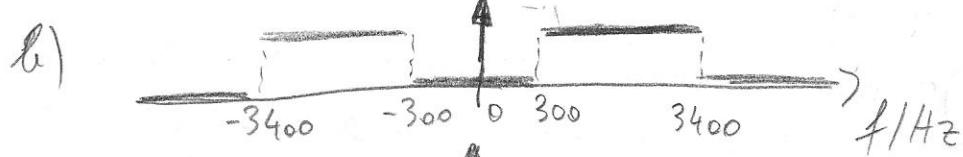
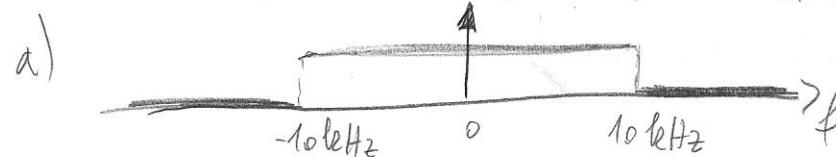
a) $P_1 = 10 \mu\text{W} = 10^{-5} \text{ W}$; $P_2 = 4 \text{ dBm}$; $G = 10^6 = 60 \text{ dB}$

b) $P_1 = 0.4 \text{ mW} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ W}$; $P_2 = 2 \text{ dBm}$; $G = 250 = 24 \text{ dB}$

(1.3. TSM-22-2002): ISTO KAO 1.1. TSM-22-2002, ZADANO I RJEŠENJA:

$P_1 [\text{dBm}]$	$P_2 [\text{W}]$	$P_1 [\text{W}]$	$P_2 [\text{dBm}]$	G	$G [\text{dB}]$
10	1	0.01	30	100	20
-5	0.01	0.000316	10	31.623	15
-7	0.001	0.0002	0	5.012	4
3	10	0.002	40	5011.9	37
6	20	0.004	43.01	5023.77	37
30	0.0001	1	-10	0.0001	-40
-40	1	0.000001	30	10^7	70

(1.4. TSM-22-2002): ODREDITI FREKVENCiju uzorkovanja (SEMPURANje) za signale zadanih spektara?



JEDNOSTAVNO, KAKO SE ZNA DA f_{uz} MORA BITI BAR DUPLO VECA OD

MAKSIMALNE FREKVENCije POČETNOG SIGNALA IZLAZI:

a) $f_{\text{uz}} \geq 20 \text{ kHz}$, b) $f_{\text{uz}} \geq 6800 \text{ Hz}$, c) $f_{\text{uz}} \geq 40 \text{ kHz}$,

d) $f_{\text{uz}} \geq 910 \text{ kHz}$; JER JE ŠIRINA 10 kHz , SA SVAKE STRANE 0.5 kHz , PA JE $f_{\text{max}} = 455 \text{ kHz}$.

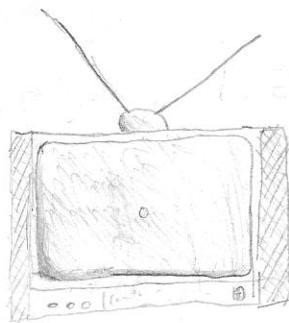
(1.7 - TSM - 22 - 2002): ODREĐITI NAJMANJO ŠIRINU FREKVENCJSKOG POJASA ZA PRIJENOS SIGNALA MONOKROMATSKE VGA VIDEO TERMINALA SJEDECIH KARAKTERISTIKA:

- BROJ SLIKA U SEKUNDI - 75
- VODORAVNA RAZLUČIVOST - 800 TOČICA
- VERTIKALNA RAZLUČIVOST - 600 REDAKA (LINIJA)

PRETPOSTAVLJA SE DA JEDNA TOČICA MOŽE SAMO SVIJETLITI ILI NE (STANJE "1" ili "0"). STOGA, BRZINA $R_s = 800 \cdot 600 \cdot 75 = 36 \cdot 10^6 \text{ bit/s}$

JER JE MONOKROMATSKI SIGNAL! \rightarrow PA JE $1 \text{ BIT} = 1 \text{ PIXEL}$

IZNOS U BROJ
JEDNOJ SЛИCI
(PIXELI) SЛИKA
SEKUNDI



KAKO JE $1 \text{ PIXEL} = 1 \text{ BIT}$ (SAMO 2 STANJA), $R_s = R_b$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{2} = 18 \text{ MHz}$$

(1.8. - TSM - 22 - 2002): U LOKALNOJ MREŽI (LAN) BRZINA PRIJENOSA JE 100 Mbit/s, A SIGNAL JE BINARNI, BIPOLARNI. ODREĐITI MINIMALNU ŠIRINU FREKVENCJSKOG POJASA KABELSKOG PRIJENOSNOG SUSTAVA.

BINARNI SUSTAV $\rightarrow R_s = R_b = 100 \text{ Mbit/s}$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{2} = 50 \text{ MHz}$$

TEORIJSKA MINIMALNA ŠIRINA FREKV. POJASA (NYQUIST)

(2.9. - TSM - 22 - 2002): IZVOR INFORMACIJE JE GOVORNIK KOJEM JE GOVORNJI SIGNAL OGRANIČEN NA FREKVENCJSKI POJAS OD 300 Hz DO 4 kHz. AMPLITUDE SU KVANTIZIRANE S $N=256$ RAZINA VRJEDNOSTI, UZORKOVANJE A/D PRETVARAĐA JE S MINIMALNOM MOGUĆOM FREKVENCIJOM, A KODIRANJE BINARNO. ODREĐITI IZDAŠNOST IZVORA INFORMACIJE!

IZDAŠNOST INFORMACIJE OZNAČAVA KOLIKO INFORMACIJE IZVOR DAJE (bit/s), ŠTO ZNAĆI DA JE TO UPRAVO R_b . MAXIMALNA FREKV. IZVORNOG SIGNALA JE 4 kHz, $f_{MAX} = 4 \text{ kHz}$, TE JE UZORKOVANJE S $N=256$ RAZINA $\Rightarrow n = \log_2 256 = 8$.

f_{uz} JE MINIMALNA MOGUĆA $\rightarrow f_{uz} = 2f_{MAX} = 8 \text{ kHz}$. R_b TADA IZNOSI:

$$R_b = f_{uz} \cdot n = 8000 \cdot 8 = 64 \text{ kbit/s}$$

- (1. ZADATAK - 21-2011-12): ŠIRINA SPENUTRA JE 200 LETIZ, STANDARNA TEMPERATURA 20°C ,

TE JE $N_0 = 4 \cdot 10^{-15}$ Ws, KOLINA JE UVODNA SNAGA SUMA U STANDARDNIM UVJETIMA?

$$N = kTB = 8.1 \cdot 10^{-16} W = -151 dBW$$

→ LLI - No. B

(3. ZADATAK - 21-2011-12): KOMUNIKACIJSKI SUSTAV MORA IMATI BRZINU 10 Mb/s, IMA MO

KANAL S B=25 MHz, A FAUTOR ZAOBYJENIA JE 0,25.

- a) KOLIKA JE NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA?
b) KOLIKA JE OSTVARIVA BREZINA SIMBOLA?

$$d) B = B_N(1+\alpha) \Rightarrow B_N = \frac{B}{1+\alpha} = 20 \text{ MHz}$$

h) UKOLIKO SE PRETPOSTAVI PRYJENOS U OSNOVНОM POJASU (BEZ MODULACIJE), TADA JE: $B_N = \frac{R_S}{2} \Rightarrow R_S = 2B_N = 40 \text{ MBd}$ → $1 \text{ Bd} = 1 \text{ BAUD} = 1 \text{ SIMBOL/SEKUNDA}$
 (SIMBOL U SEKUNDI)



(2. ZADATAK - ŽIMSKI ISPITNI ROK-2011-12): ZBOG PREKIDA U KOMUNIKACIJI UŽ ROKOVANOG

PONUĆEM OPTIČKOG KABELA, KOMUNIKACIJA SE ODVIJA ZEMALJSKOM MIKROVALNOM
VEZOM. PRIMJENA I ODAŠILJACKA ANTENA PROMJERA 3m UDALJENOSTI 15.kem RADE
NA FREKVENCIJI OD 35 GHz.

- a) KOLIKO JE GUŠENJE SIGNALA U SLOBODNOM PROSTORU?

b) PRI KOJU VRSTI KOMUNIKACIJE OD NAVEDENIH (MIKROVALNOJ I LI OPTICNOJ) JE GUSENJE
VEĆE PREPOSTAVLJAJUĆI PRIBLIŽNO JEDNAKU VDAYENOST DOAŠILJAČA 1

ZA NAJJEDNOSTAVNIJI SLUČAJ RADJENOG PRYJENOSA KORISTI SE FRISOVA FORMULA
KOJA VRJEDI U SLOBODNOM PROSTORU, I NE UZIMA U OBZIR MEDIJ, PREPREKE,

REFLEKSIJE EM-VALA I SL. : $L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \{ dB \} \rightarrow \text{GUŠENJE (LOSS)}$

VALJNA DULJINA EM-VALA JE $\lambda = \underline{\underline{c}}$; c je BRZINA SVJETLOSTI, $3 \cdot 10^8$ m/s

$$l = 8.57 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

E.m BREZINA SVJET
f.m FREKVENCIJA

$$a) \text{ UVRSTAVANJEM} \quad L = 10 \log \left(\frac{4\pi \cdot 15 \cdot 10^3}{8,57 \cdot 10^{-3}} \right)^2 = 146,85 \text{ dB}$$

a) SVJETLOVOD JE IMAJE NAJBREJI MEDJU, I TAKO GUŠENJE U OBZI SLUČAJA OVISE O UDALJENOSTI, SVJETLOVOD ĆE OPĆENITO UVJEK BITI BREJI, ZA ISTU UDALJENOST (ZNAJI, SLOBODNI PROSTOR VIŠE GUŠI).

(17. ZADATAK - ŽIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12) : 12 KONCERTNE DVORANE VATROSLAV LISINSKI OBAVLJA SE RADIODIFUZIJA KONCERTA UZ POMOC IMPULSNO KODNE MODULACIJE. ZVUCNO PODRUČJE OD 20 Hz DO 20 kHz OZORKUJE SE $f_s = 44.1 \text{ kHz}$ S 14 BITA/UZORKU. KOLIKA JE BRZINA PRIJENOSA PODATAKA?

$$R_a = f_{uz} \cdot n = 44.1 \cdot 14 = 617.4 \text{ kbit/s}$$

(19. ZADATAK - ŽIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12) : U ISM FREKVENCIJSNOM POJASU DOPUSTEN JE RAD WLAN MREŽA BEZ POTREBE ZA PRIBAVLJANjem DOZVOLE AKO EFektivna izotropna izraćena snaga uređaja (EIRP) ne prelazi 100 mW. Ako bi povećao dojem korisnik se oblušio na ograničenje te je prekoradio dozvoljenu snagu 8 puta, ako je gošenje kanala od pristupne točke do prijemnika 8 dB , odredi snagu u dBm na mjestu prijema!

$$P_{ul} = 8 \cdot 100 \text{ mW} \rightarrow \text{ULAZNA SNAGA U KANAL} ; \text{ODAŠILJAC}$$

$$P_{ul}/\text{dBm} = 10 \log 800 = 29 \text{ dBm}$$

$$L = 8 \text{ dB} = 10^8 = \frac{P_{ul}}{P_{iz}} \dots \text{GOŠENJE}$$

$$P_{iz} \text{ SNAGA NA IZCAZU KANALA (PRIJEMNIK)} : P_{iz}/\text{dBm} = P_{ul}/\text{dBm} - L/\text{dB} = -51 \text{ dBm}$$

(11. ZADATAK - JESSENSKI ISPITNI ROK - 2011/12) : UREĐAJ U ČELIJI ODAŠILJE SNAGOM 100W, ČELIJAIMA RADIJUS 100m. Izračunati snagu na polovici radijusa uz zadatu frekvenciju odašijanja od 1800 MHz.

$$L = 10 \log \left(\frac{4 \pi d}{\lambda} \right)^2 = \frac{P_{ul}}{P_{izL}} \rightarrow \text{ODAŠILJAC}$$

$$P_{izL} = P_{ul} \cdot L^{-1}$$

$$d = 50 \text{ m} \quad (\text{POLA RADIJUSA})$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1800 \cdot 10^6} = 0.167 \text{ m}$$

$$L = 71.53 \text{ dB}$$

$$P_{ul}/\text{dBW} = 20 \text{ dBW}$$

$$P_{izL}/\text{dBW} = P_{ul}/\text{dBW} - L/\text{dB} = -51.53 \text{ dBW}$$



U KRATKIM CRTAMA, KAKO BI SE INFORMACIJA PREBACILA U DRUGO FREKVENCJSKO PODRUČJE, KORISTE SE RAZNE MODULACIJE. U OVOME DIJELU GLEDAJU SE ANALOGNI PRYENOSNI & MODULACIJSKI SIGNAL. PRYENOSNOM SIGNALU MODULACIJSKI SIGNAL (KORISNA INFORMACIJA) MIJENJA AMPLITUDU, FAZU, FREKVU U VREMENU, I TO U NAJJEDNOSTAVNIJEM SLUČaju SINUSnim SIGNALOM (AM, PM, FM MODULACIJA).

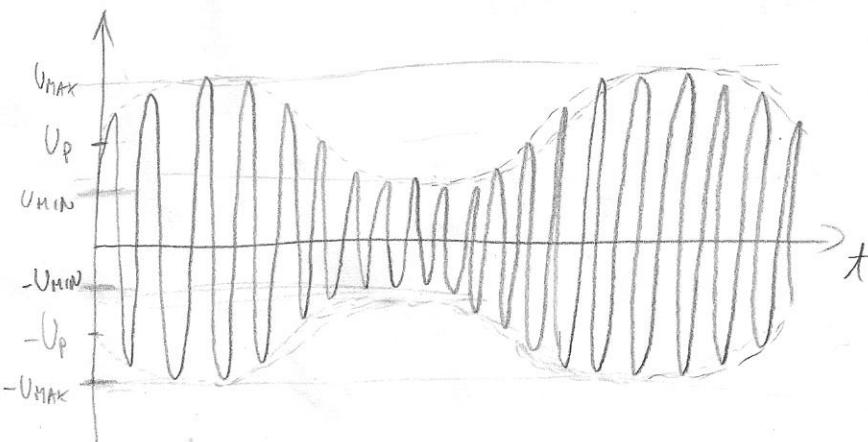
KOD AM-MODULACIJE, POSTUPAK SE FORMULOM MOŽE U VREMENSKEJ DOMENI PRIKAZATI OVAKO:

$$u_{AM}(t) = U_p (1 + m_{AM} \cos \omega_m t) \cos \omega_p t. \quad U_p \text{ JE AMPLITUDA PRYENOSNOG SIGNALA},$$

DOK SU ω_p I ω_m FREKVENCE PRYENOSNOG (MODULACIJSKOG SIGNALA). m_{AM} JE indeks MODULACIJE I GOVORI koliko je AMPLITUDA MODULACIJSKOG SIGNALA manja od PRYENOSNOG S.

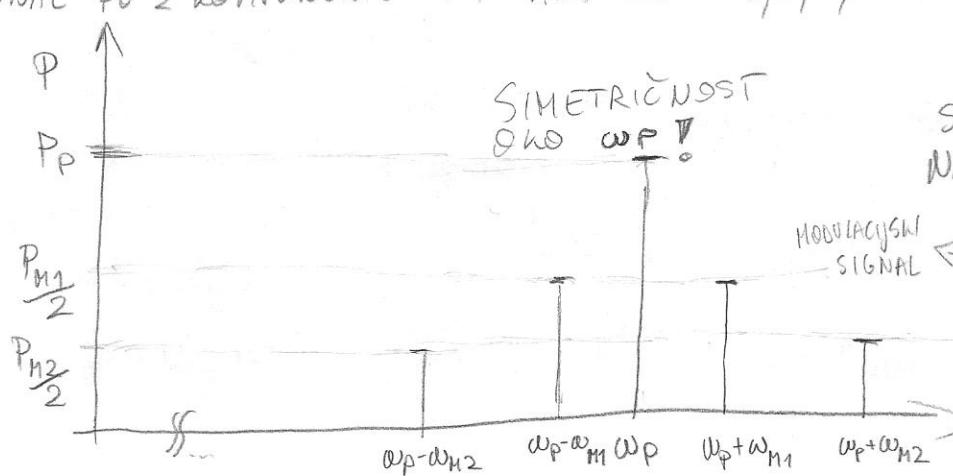
$$m_{AM} = \frac{U_m}{U_p}$$

(TOČNije $m_{AM} = \frac{U_m}{U_p}$, ali ISTA STVAR). U VREMENSKOJ DOMENI AM-MODULACIJA IZGLEDA KAO NA SLUCI:



$$\begin{aligned} U_{MAX} &= U_p (1 + m_{AM}) \\ U_{MIN} &= U_p (1 - m_{AM}) \\ U_p &= \frac{U_{MIN} + U_{MAX}}{2} \end{aligned}$$

ŠTO SE TIČE SPETRA, JAVLJA SE KOMPONENTA FREKVENCE ω_p , TE $\omega_p \pm \omega_m$, ZNAĆI 3 KOMPONENTE (UKOLIKO SE MODULACIJA OBavlja JEDNIM SINUSOM-1 TONOM). AKO SE RADI O MODULACIJI S VIŠE SINUSA DODAJU SE ZA SVAKI SINUSNI MODULACIJSKI SIGNAL PO 2 KOMPONENTE PA TADA BUDU 3, 5, 7, 9... KOMPONENTI U SPETRUMU,



VOĆITI DA SE SNAGA MODULACIJSKOG SIGNALA DJELI NA 2 KOMPONENTE, NA POLA, A SNAGA JE:

$$P_M = P_p \left(\frac{M_{AM}}{2} \right)^2$$

PA JE UNAPRNA SNAGA

AM-MODULIRANOG SIGNALA?

$$P_{AM} = P_p \left[1 + \frac{M_{AM1}^2}{2} + \frac{M_{AM2}^2}{2} + \dots \right]$$

AKO SE POUZAJUJE SPETAR NAPONA, BOČNE (LEVA I DESNA) KOMPONENTA SU:

$$V_{BL} = V_{BD} = V_p \frac{M_{AM}}{2}$$

(VOĆITI DA JE NAPON KORIJEN SNAGE)

POVEZANOST NAPONA I SNAGE:

$$P_p = \frac{V_p^2}{2R}$$

DVOJAKA JE U NAZIVNIKU ZBOG INTEGRIRANJA KOSINUSA PRI DOBIVANJU SNAGE

OVO JE UKRATKO, DETALJNIJE JE OBJAŠNJENO NA SLAJDOVIMA, U KNJIZI... ☺

1. (2. AUDITORNE - 1. ZADATAK): NA IZLAZNE PRIKLJUČKE AM MODULATORA PRIKLJUČEN JE INSTRUMENT ZA MJERENJE SNAGE ULAZNOG OTPORA 50Ω , KAO NEMA MODULACIJE. MJERILO SNAGE POKAZUJE SNAGU PRJENOSNOG SIGNALA OD 100 W . KAO SE MODULATORU PRIVODE SINUSNI MODULACIJSKI SIGNAL FREKVENCIJE 1 kHz , NARASTE SNAGA IZLAZNOG SIGNALA MODULATORA NA 118 W . ODREDITI:

1. INDEKS MODULACIJE AM-SIGNALA!

2. NAJVEĆU TRENUTNU AMPLITUDU AM-SIGNALA!

3. SNAGU KOJU POGLAZUJE MJERAS SNAGE KAO SE MODULACIJSKOM SIGNALU

DODAJEŠ JEDNA KOMPONENTA FREKVENCIJE 1.6 kHz KOJA MODULIRA AMPLITUĐU PRJENOSNOG SIGNALA S INDEKSEM MODULACIJE $M_{AM} = 0.4$!

4. ISKUCIRATI SPEKTAR SNAGE AM-SIGNALA POD 3. S NAZNAĐENIM RAZINAMA POJEDINIH KOMPONENTA!

$$P_p = 100\text{ W}; R = 50\Omega; P_m = 118\text{ W}; f_m = 1\text{ kHz}$$

1. KAKO POSTOJI SAMO JEDAN MODULACIJSKI SIGNAL?

$$P_{AM} = P_p \left(1 + \frac{M_{AM}^2}{2}\right) \Rightarrow M_{AM} = \sqrt{\frac{(P_{AM} - P_p)}{P_p} \cdot 2} = 0.6$$

UKUPNA
SNAGA (118 W) SNAGA PRJ. SIG. (100 W)

$$2. P_p = \frac{U_p^2}{2R} \Rightarrow U_p = \sqrt{P_p \cdot 2R} = 100\text{ V} \rightarrow \text{NAPON PRJENOSNOG SIGNALA}$$

$$\text{AMPLITUĐA (TRENUTNA) ZNAČI NAPON: } U_{MAX} = U_p (1 + M_{AM}) = 160\text{ V}$$

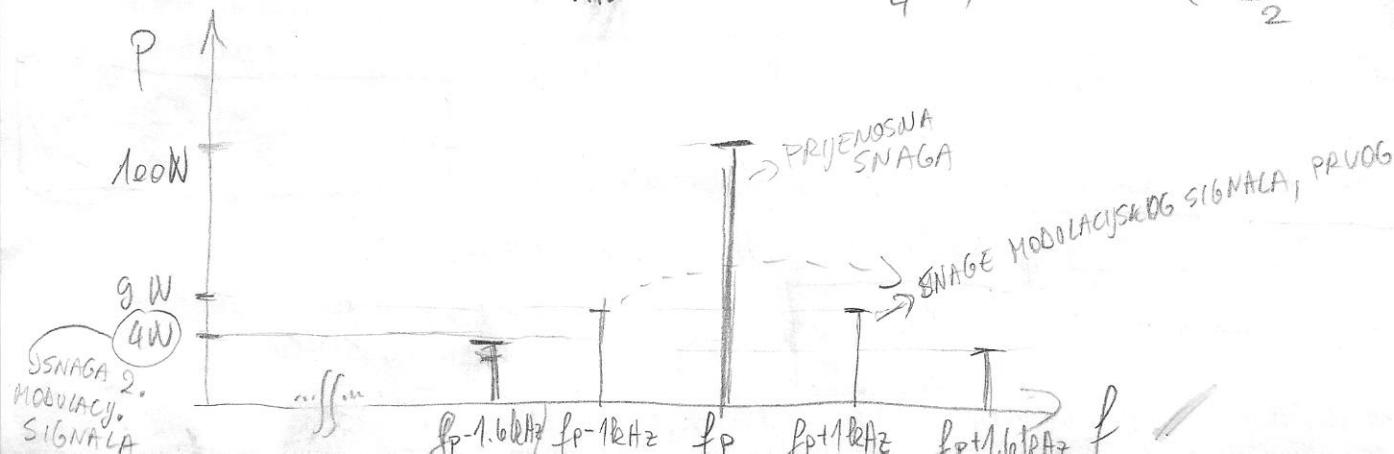
$$3. M_{AM1} = 0.4; f_{m1} = 1.6\text{ kHz} \rightarrow \text{DODAN JE DRUGI MODULACIJSKI SIGNAL}$$

$$\text{NOVA SNAGA AM-MODULIRANOG SIGNALA JE: } P_{AM1} = P_p \left(1 + \frac{M_{AM}^2}{2} + \frac{M_{AM1}^2}{2}\right) = 126\text{ W}$$

4. SPEKTAR ĆE IMATI SIGNAL FREKVI f_p I PO DUJE KOMPONENTE S LIJEVA I DESNA UDALJENE ZA f_m & f_{m1} (ZA PRVU & DRUGU KOMPONENTU MODULACIJSKOG SIG.).

$$\text{SNAGE PRVAKA STUPACA SU } P_{ML} = P_{MD} = P_p \left(\frac{M_{AM}^2}{4}\right) = 9\text{ W} \rightarrow \text{STO SE HOŽE, U GLAVI: } \frac{(118-100)}{2} = 9\text{ W}$$

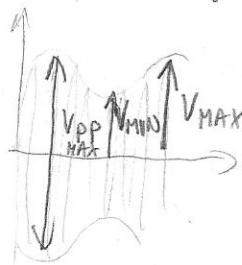
$$\text{SNAGE DRUGIH STUPACA: } P_{ML1} = P_{MD1} = P_p \left(\frac{M_{AM1}^2}{4}\right) = 4\text{ W} \quad \left(\frac{126-118}{2} = 4\text{ W}\right)$$



- (2) (2. AUDITORNE - 2. ZADATAK): UZ POMOC PRIKAZA SINUSNO MODULIRANOG AM-SIGNALA NA ZASLONU OSCILOSKOFA IZMERENO JE:
- NAJMANJA AMPLITUDA AM-SIGNALA: $80 V_{pp}$
 - NAJVEĆA AMPL. AM-SIGNALA: $160 V_{pp}$
 - FREKVENCija PRJENOSNOG SIGNALA: 512 kHz
 - FREKVENCija MODULACIJSKOG SIGNALA: 4 kHz
- ODREDITI:
- VELICINU INDEKSA MODULACIJE
 - SADRŽAJ SPECTRA MODULIRANOG SIGNALA
 - SNAGU AM-SIGNALA NA OTPORNIKU VRJEDNOSTI 50Ω

1. V_{pp} ZNAČI VOLTI PEAK-TO-PEAK, ŠTO ZNAČI OD VRHA DO VRHA (NAJVEĆE POZITIVNE VRJEDNOSTI DO NAJMANJE NEGATIVNE VRJEDNOSTI). TAKO JE ONDA $U_{\min} = \frac{80 V_{pp}}{2} = 40 \text{ V}$, A

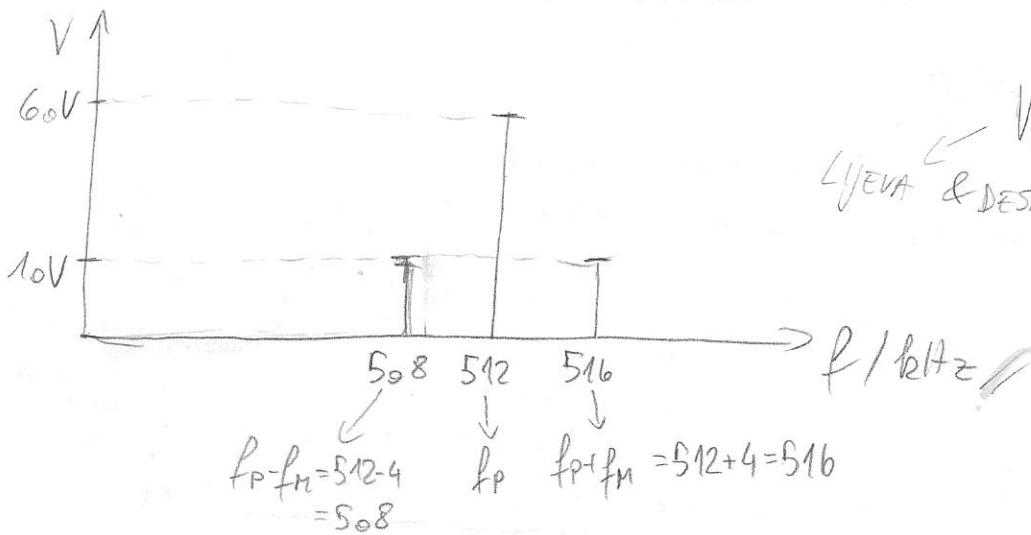
$$U_{\max} = \frac{160 V_{pp}}{2} = 80 \text{ V.}$$



$$V_p \text{ JE ARITMETIČKA SREDINA } V_{\min} \text{ &} \\ V_{\max}: V_p = \frac{U_{\min} + U_{\max}}{2} = 60 \text{ V}$$

$$U_{\max} = V_p (1 + M_{AM}) \Rightarrow M_{AM} = \frac{U_{\max}}{V_p} - 1 = 0.33$$

2. AKO SE PREPOSTAVI DA SE TRAŽI SPECTAR NAPONA:



$$3. R = 50 \Omega \Rightarrow P_{AM} = P_p \left(1 + \frac{M_{AM}^2}{2} \right)$$

$$P_p = \frac{V_p^2}{2R} = 36 \text{ W} \Rightarrow P_{AM} = 38 \text{ W} \quad (\text{UKUPNA SNAGA AM-SIGNALA})$$

- (3) (2. AUDITORNE - 3. ZADATAK): U KOHERENTNOM POSTUPAKU DEMODULACIJE AM-SIGNALA FAZA LOKALNOG SIGNALA U DEMODULATORU (POMOĆNI SIGNAL) ODSTUPA OD FAZE PRJENOSNOG SIGNALA ZA 60° . ZA KOLIKO DECIBELA SE SMANJI RAZINA DEMODULIRANOG SIGNALA ZBOG TOG ODSTUPANJA FAZE?

UZ DETEKCIJU OVOJNICE KAO NEKOHERENTNI POSTUPAK DEMODULACIJE AM-SIGNALA, KORISTI SE I KOHERENTNI POSTUPAK DEMODULACIJE (ŠTO ZNAČI UZ POMOC SIGNALA BLISKOM IZVRNOM). KOD AM-SIGNALA KOHERENTNA DEMODULACIJA SE PROVODI MNÖŽENjem AM-SIGNALA POMOĆnim SIGNALOM, IDEALNO ISTIM PRJENOSNOM SIGNALU.

DA POSLUJETKU, NAKON OBRADE DOBIVA SE SIGNAL OBILKA
GOJE JE Δf RAZLICA U FAZI POMOĆNOG I PRJENOSNOG SIGNALA

$$u_{\text{KONAČNO}} = k_1 u_m(t) \cos(\Delta f t)$$

$$u_{\text{POTRIZNO}} = [u_{PM} + k_2 u_m(t)] \cos \omega_p t$$

RJEŠENJE JE JEDNOSTAVNO, UKOLIKO POSTOJI RAZLICA U FAZI, A OSTALE GRESKE SU

ZANEMARENES PO FORMULI

$$u_{\text{KONAČNO}} = k_1 u_m(t) \cos(\Delta f), \text{ UTJECAJ FAZE}$$

(TJ. RAZLICE FAZE) NA RAZINU DEMODULIRANOG SIGNALA JE:

$$\cos \Delta f = \cos 60^\circ = \frac{1}{2} = R$$

V DECIBELIMA (KAKO SE RADI O NAPONU STAVJA SE $20 \log \dots$):

$$\text{RAZINA } R = 20 \log \cos \Delta f = 20 \log \frac{1}{2} \approx -6 \text{ dB}$$

④ (2. AUDITORNE-4. ZADATAK): RADIO FUZJSKI FM-ODAŠILJAC RADI U SYEDECIM UVJETIMA:

• FREKVENCija PRJENOSNOG SIGNALA: 100 MHz

• SNAGA MODULIRANOG SIGNALA NA 50Ω : 2.45 kW

• FREKVENCija MODULACIJSKOG SIGNALA: 15 kHz

• DEVIJACIJA FREKVENCije FM-SIGNALA: $\Delta f = 75 \text{ kHz}$
ODREDITI:



1. VELICINU INDEKSA MODULACIJE

2. ŠIRINU ZAUZETOGA POJASA FREKVENCije

3. EFektivnu vrijednost napona prjenosnog signalaa!

4. DA LI SE RADI O ŠIROKOPOJASNOJ ILL USKOPOJASNOJ MODULACIJI FREKVENCije?

KOD FM-MODULACIJE MODULACIJSKI ANALOGNI SIGNAL MODULIRA FREKVENCiju PRJENOSNOG SIGNALA. VAŽNO JE VOĆITI DA SE DODAVANjem MODULACIJSKOG SIGNALA, SNAGA IDEALNO NE MIJENJA TO JE ZATO ŠTO SE NE MIJENJA AMPLITUDA PRJENOSNOG SIGNALA, VEĆ FREKVENCija (FM-SIGNALA) PA SE U SPEKTRU DOGABA SAMO PRERASPODJECA SNAGE (VEĆ POSTOJEĆEG PRJENOSNOG SIGNALA);

$$\frac{U_{FM}^2}{2R} = P_p = P_{FM}$$

(ISKUSTVENOM) FORMULOM, CARSONOVIM PRAVILOM:

$$B = 2(f_m + \Delta f)$$

f_m FREKVENCija MODULACIJSKOG SIGNALA, A Δf DEVIJACIJA FREKVENCije. CARSONOVIM PRAVILOM UZIMAJU SE SVE KOMPONENTE ČIJA JE RAZINA (NAPONSKA) VEĆA OD 10% RAZINE MODULIRANOG SIGNALA, ODNOŠNO 1% VEĆA UKOLIKO SE RADI O SNAGAMA. CARSONOV PRAVILO SE KORISTI JER SE MATEMATIČKI NE MOŽE ODREDITI ŠIRINA POJASA IZ RAZLOGA ŠTO JE SPEKTAR (AKO SE UZIMAJU SVE KOMPONENTE) BESKONACAN, A PUNO KOMPONENTI SE JAUJU JER SE RADI O KOSINUSU KOSINUSA, ŠTO SE PRIKAZUJE JACOBIEVIM FUNKCIJAMA.

$$u_{FM}(t) = U_p \cos \left[\omega_p t + \frac{\Delta \omega_{FM}}{\omega_m} \sin \omega_m t \right], \text{ GDE JE } \omega_m \text{ FREKVENCija MODULACIJSKOG SIGNALA, } \omega_p \text{ PRJENOSNOG, A } \Delta \omega_{FM} \text{ DEVIJACIJA FREKVENCije (KOLIKO SE MAXIMALNO MIJENJA FREKVENCija FM-SIGNALA, DOK } \omega_m \text{ GOVORI O BRZINI TOG MIJENJANJA). INDEKS MODULACIJE FM-SIGNALA MOŽE BITI I VEĆI OD 1 (ZA RAZLIKU OD AM-MODULACIJE KOD KOJE SE TADA DOGADA PREMODULACIJA.}$$

MJ

$$M_{FM} = \frac{\Delta \omega_{FM}}{\omega_n} = \Delta \phi_{FM}$$

... INDEKS MODULACIJE M_{FM} JEDNAK JE I DEVIJACIJI FAZE.

ONO ŠTO JE JOŠ BITNO JE DA SE, KAO ŠTO JE SPOMENUTO, FREKVENCija MIJENJA PROMJENOM MODULACIJSKOG SIGNALA: $\omega(t)_{FM} = \omega_p + \underbrace{k_F U_m}_{\Delta \omega_{FM}} \cos \omega_m t$, DAKLE FREKVENCija OVISI O NAPONU MODULACIJSKOG SIGNALA.

$$1. M_{FM} = \frac{\Delta f}{f_m} = 5$$



$$2. CARSONOVIM PRAVILOM: B = 2(f_m + \Delta f) = 180 \text{ kHz}$$

3. MODULACIJOM(FM) SNAGA SE NE MIJENJA, VEĆ RASPODJELOJE NA DRUGE FREKVENCE, ZATO:

$$P_{FM} = P_p = \frac{U_{FM}^2}{2R} \Rightarrow U_{FM} = \sqrt{P_{FM} \cdot 2R} = 495 \text{ V}$$

KAO SE RADI O VRŠNOJ VRJEDNOSTI (KAO U SVIM DOŠADAŠNJIM RAZMATRANJIMA & FORMULAMA), EFektivna vrjednost, jer se radi o sinusnom signalu, je:

$$U_{FM, \text{EFF.}} = \frac{U_{FM}}{\sqrt{2}} = 350 \text{ V}$$

4. UKOLIKO JE $M_{FM} > 0.4$ RADI SE O ŠIROKOPOJASNOJ MODULACIJI FREKVENCE, INACE SE RADI O USKOPOJASNOJ MODULACIJI FREKVENCE.

Rje.: ŠIROKOPOJASNA

(5) (2. AUDITORNE - 5. ZADATKA) ZA PRIJENOS SIGNALA GOVORA U VHF PODRUČJU ODREĐENA JE ŠIRINA KANALA OD 25 kHz. IZ MEĐU FREKVENCIJSKIM MODULIRANIM SIGNALIMA SUSJEONIH KANALA OSTAVLJA SE RADI OSIGURANJA POJAS ŠIRINE 9 kHz. SIGNAL GOVORA ZAUZIMA POJAS 300 Hz DO 3000 Hz. ODREDITI:

- Najveću dozvoljenu devijaciju frekvencije FM-signalata kod koje se mogu prenositi sive komponente FM-signalata čija je razina veća od 10% razine moduliranog signala?
- U kojem području vrijednost i se onda nalazi indeks modulacije?
- U kojem se području mijenja devijacija frekvencije moduliranog signala ako se on dobiva uz pomoć modulatora i faze kojim se ostvaruje devijacija faze u iznosu od 2 radijana?

PRVO JE VAŽNO UOČITI DA JE KORISNI DIJ POJASA $25-9 = 16 \text{ kHz}$. TO JE ZBOG NAVEDENOG SIGURNOSNOG POJASA (KANALI SU INACE JEDAN DO DRUGOGA, PA SE DIJ UMANJUJE RADI SIGURNOSTI). DRUGO, MODULACIJSKI SIGNAL NIJE SAMO JEDAN SINUS, VEĆ MOŽE ZAUZETI BLOK KOJU FREKVENCIJU IZ MEĐU $f_{m,\min} = 300 \text{ Hz}$ i $f_{m,\max} = 3000 \text{ Hz}$ (SIGNAL GOVORA JE OVDJE KORISNA INFORMACIJA, DAKLE MODULACIJSKI SIGNAL). DAKLE MOŽEMO RECI DA KORISNI MODULACIJSKI SIGNAL MOŽE IMATI KOMPONENTE IZ $\epsilon(300 \text{ Hz}, 3000 \text{ Hz})$.

1. KAKO U ZADATKU PIŠE 'SVE KOMPONENTE', UZIMA SE KAO FM UPRAVO $f_{M,MAX}$ KAO NAJVEĆA MOGUĆA FREKV. 10% RAZINA ČAK UPUČUJE NA UPOTREBU CARSONOVOG PRAVILA.

$$B = 16 \text{ kHz} = 2(f_M + \Delta f) \Rightarrow \Delta f = 8 \text{ kHz} - f_M = 5 \text{ kHz} \\ \downarrow \\ f_{M,MAX} = 3 \text{ kHz}$$

2. DAKLE, AKO SE UZME Δf IZ '1.' TE SE f_M NAUZI IZMEĐU 300 i 3000 Hz:

$$M_{FM} = \frac{\Delta f}{f_M} \Rightarrow M_{FM1} = \frac{\Delta f}{f_{M,MAX}} = \frac{5}{3} = 1.67$$

$$M_{FM2} = \frac{\Delta f}{f_{M,MIN}} = \frac{5000}{300} = 16.67$$

$$M_{FM} \in \langle 1.67, 16.67 \rangle //$$

3. VIŠE SE NE RADI O FM-MODULACIJI, NEGO O PM-MODULACIJI. FORMULE SU

$$\text{ISTE}, \quad M_{PM} = M_{FM} = \Delta \phi_{PM} = \frac{\Delta w_{PM}}{\omega_m}$$

DEVIJACIJA

FAZE

$$\Delta \phi_{PM} = \frac{\Delta w_{PM}}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (\Delta f = \Delta \phi_{PM} \cdot f_M)$$



$$\Delta f_{MIN} = 2 \cdot f_{M,MIN} = 600 \text{ Hz} //$$

$$\Delta f_{MAX} = 2f_{M,MAX} = 6000 \text{ Hz} //$$

(2. AUDITORNE, 6. ZAD.)

6. MODULACIJA FREKVENCIJE KORISTILA SE ZA EMITIRANJE TV-SIGNALA SA RAPIDODIFUZJSKOG SATELITA ZA IZRAVNI PrijAM (PBS, DIRECT BROADCASTING SATELLITE).

DEVIJACIJA FREKVENCIJE IZNOSILA JE 6.75 MHz PRI FREKVENCIJI MODULACIJSKOG SIGNALA OD 1.5 MHz, PARAMETRI MODULIRANOG SIGNALA SU:

- PRI FREKVENCIJI MODULACIJSKOG SIGNALA OD 1.5 MHz DEVIJACIJA FREKVENCIJE FM-SIGNALA IZNOSI 6.75 MHz.

- MODULACIJSKI SIGNAL TV SLIKE ZAUZIMA POJAS FREKVENCIJA OD 0 MHz DO 5 MHz

- U ODAŠILJAČU SE KORISTI SKLOP ZA AKCENTUACIJU koji IZDIZE RAZINU KOMPONENTE NAJVIŠE MODULACIJSKE FREKVENCIJE OD 5 MHz ZA 2 dB U OBNOŠU NA REFERENTNU RAZINU NA 1.5 MHz.

ODREDITI:

1. ŠIRINU POJASA POTREBNU ZA PRIJENOS MODULIRANOG SIGNALA koji UKUĆUJE SVE KOMPONENTE SVAJE JE RAZINA VISA OD 10% RAZINE PRIJENOSNOG SIGNALA, A KAO JE AKCENTUACIJA ISKLJUČENA

2. ISTO KAO POD '1.', ALI UZ UVEĆUJENU AKCENTUACIJU

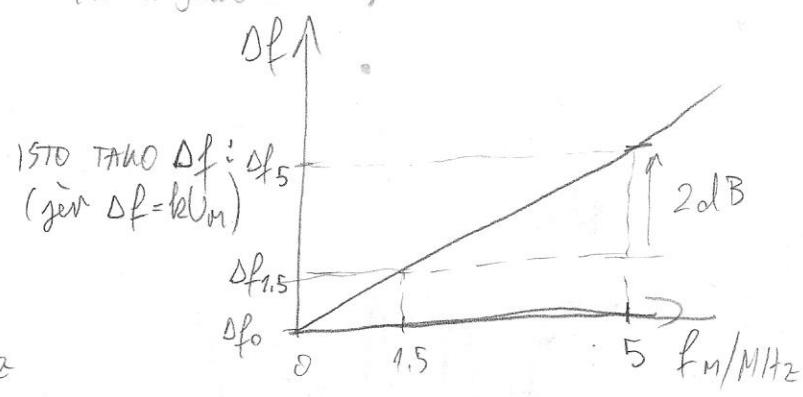
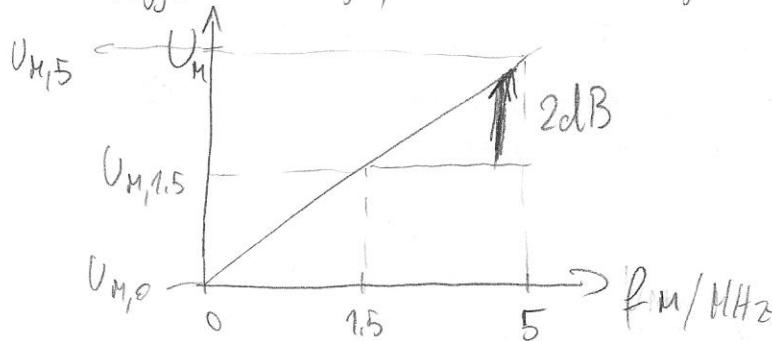
1. $\Delta f_{1.5} = 6.75 \text{ MHz}$? $f_{M,0} = 0 \text{ MHz}$, $f_{M,5} = 5 \text{ kHz}$ \Rightarrow MODULACIJSKI SIGNAL
KAO PIŠE SVE KOMPONENTE UZIMA SE $f_{M,5}$, A AKCENTUACIJA ISKLJUČENA \Rightarrow
ZNAĆI DA SU RAZINE MODULACIJSKOG SIGNALA JEDNAKE ZA SVE MODULACIJSKE
FREKVENCE, A TO ZNAJI DA SU IM I Δf JEDNAKE (JER $\Delta f = kU_m$).

CARSON: $B = 2(f_M + \Delta f) = 2(f_{M,5} + \Delta f_{1.5}) = 23.5 \text{ MHz}$

SVE SU JEDNAKI!

2. UZ UVEĆUJENU AKCENTUACIJU, NISU SVE KOMPONENTE JEDNAKE, PRETPOSTAVLJAJU SE
(MODULACIJSKOG SIGNALA)

NAJJEĐENOSTAVNIJA, LINEARNA FUNKCIJA:



KAKO JE $V_{M,5}$ ZA 2 dB VEĆI OD $V_{M,1.5}$, TAKO JE I MOG Δf

Zatog $\log \frac{V_{M,5}}{V_{M,1.5}} = 2 \text{ dB} = 20 \log \frac{\Delta f_5 / f_0}{\Delta f_{1.5} / f_0} \Rightarrow \Delta f_5 = \Delta f_{1.5} \cdot 10^{0.1}$
 $= 8.5 \text{ MHz}$

ZATIM SE U CARSONOVOM PRAVILU UZIMAJU Δf_5 I $f_{M,5}$, JER PIŠE

'SVE KOMPONENTE' : $B = 2(f_{M,5} + \Delta f_5) = 27 \text{ MHz}$

7. (2. AUDITORNE - 7. ZAD.) : OVAJ ZADATAK JE POGLAĆE NARAVI, UZ UPOTREBU MATLABA ISL.,
PA SE RJEŠENJE NALAZI U PRILOGU

ZADACI KOJI SE NA 2. PREDAVANJE (DO DISK.
MODULACIJA)
ALI SU IZVAN AUDITORNIH - S ISPITA ILI ZBIRKE

(1.2.1.-1. LABOS, 1. ZAD.) NACRTAJTE VACNI OBLIK AMPLITUDNO MODULIRANOG SIGNALA U VREMENSKOM PODRUČJU AKO JE:

PRIJENOSNI SIGNAL: $u_p = 3 \cos(2000\pi t)$ [V]

MODULACIJSKI S.: $u_m = \sin(200\pi t)$ [V]

NAPISITE MATEMATIČKI IZRAZ koji OPISUJE OVAJ AM-SIGNAL.

$$M_{AM} = \frac{U_m}{U_p} = \frac{1}{3}$$

$U_m = 1$ → AMPLITUDE
 $U_p = 3$

$$u_{AM}(t) = u_p (1 + M_{AM} \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

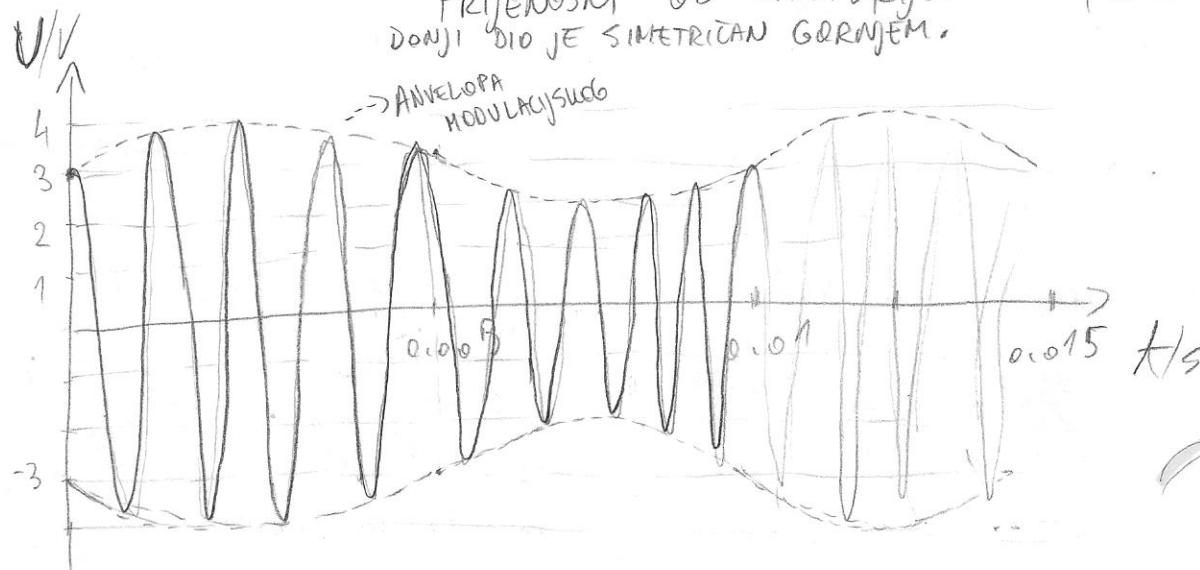
$$u_{AM}(t) = 3(1 + 0.3 \sin 200\pi t) \cos(2000\pi t)$$

$$\omega_m = 200\pi = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T_m = 0.01 s \rightarrow \text{PERIODA MODULAC. \& PRIJ. SIGNALA}$$

$$\omega_p = 2000\pi \Rightarrow T_p = 0.001 s$$

KAO JE $u_m = \sin 200\pi t$, Tj. SINUS, ON POČINJE OD NULE, DOK PRIJENOSNI OD MAX. VRJEDNOSTI (u $t=0$) DONJI DIO JE SIMETRIČAN GORNjem.

SKICA:



(1.2.2.-1. LABOS, 2. ZAD.): SLIKA (DOLE) PRIKAZUJE SPEKTAR SNAGE AMPLITUDNO MODULIRANOG SIGNALA a) KOLIKO JE PUTA RAZINA BOĆNIH KOMPONENTI NIŽA OD RAZINE KOMPONENTE PRIJENOSNOG SIGNALA? b) KOLIKO IZNOSI INDEKS MODULACIJE?

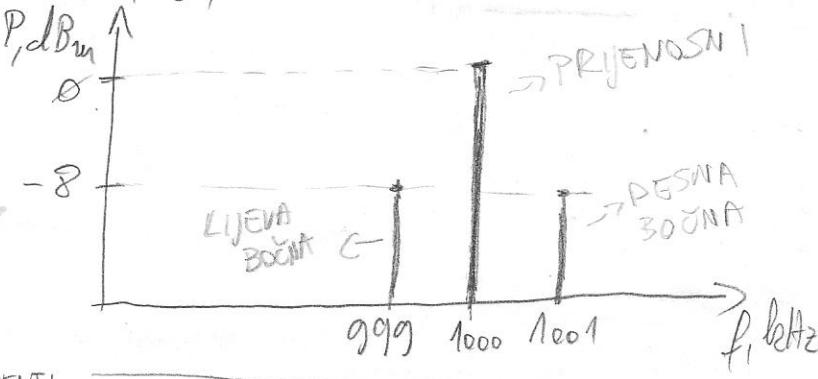
a) $10 \text{ dBm} = 10^0 \text{ mW} = 1 \text{ mW}$

$-8 \text{ dBm} = 10^{-0.8} \text{ mW} = 0.158 \text{ mW}$

$P_{M1} = P_{M0} = 0.158 P_p \Rightarrow \frac{P_{M1}}{P_p} = 0.158$

b) $P_{M1} = P_p \left(\frac{M_{AM}}{4} \right)^2 = P_{MD} \Rightarrow \text{IZNOSI BOĆNIH KOMPONENTI}$

$M_{AM} = \sqrt{\frac{4P_{M1}}{P_p}} = 0.795$



(TSM-72-2002-5.1 ZAD.) : ODREDITI UKUPNU SNAGU AM SIGNALA NA TERETU OTPORTA
 $R=50\Omega$, AKO JE AMPLITUADA NOSEČEG SIGNALA $A_0=10V$, FREKVENCija 100kHz ,
 MODULACIJSKI SIGNAL SINUSNI; $f_M=1\text{kHz}$, KOEFICIENT AMPLITUDNE MODULACIJE
 $M_{AM}=0.9$, NACRTATI SPEKTAR.

$$A_0 = V_p = 10V \quad ; \quad f_p = 100\text{kHz} \quad ; \quad f_m = 1\text{kHz} \quad ; \quad M_{AM} = 0.9$$

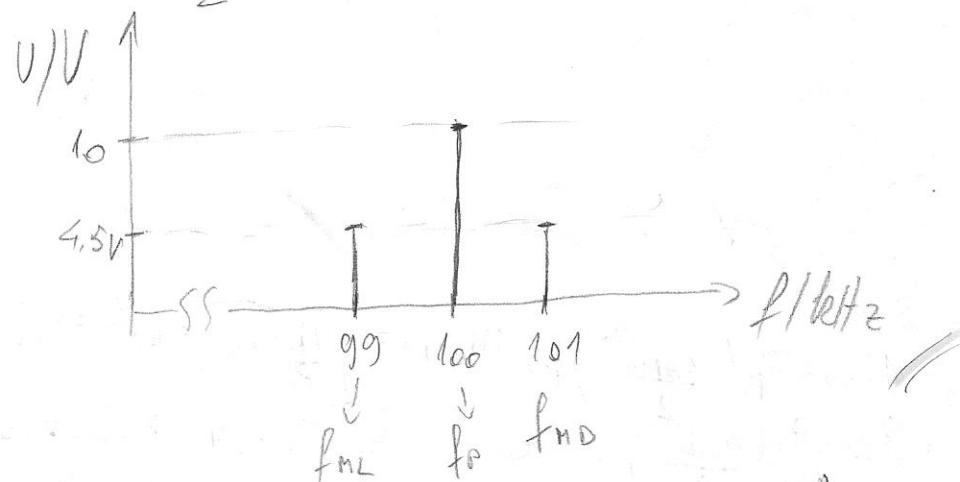
PRYJENOSNI

$$P_p = \frac{V_p^2}{2R} = 1\text{W} \rightarrow \begin{matrix} \text{SNAGA} \\ \text{PRYJENOSNOG S.} \end{matrix}$$

$$P_{AM} = P_p \left(1 + \frac{M_{AM}^2}{2} \right) = 1.405\text{W} \rightarrow \begin{matrix} \text{UKUPNA AM} \\ \text{SNAGA} \end{matrix}$$

PREPOSTAVLJA SE DA SE TREBA NACRTATI SPEKTAR AMPLITUDA (NAPON) :

$$V_{ML} = V_{MD} = V_p \cdot \frac{M_{AM}}{2} = 4.5V \rightarrow \text{BOĆNE KOMPONENTE}$$



(1.MI-2009/10.-1.ZADATAK) UJEONO I ZADONJI ZAD, Iz z1-2008/09):

SNAGA PRYJENOSNOG SIGNALA KOJI AM SIGNALA IZNOSI 100W, DEK JE
 INDEKS MODULACIJE 80%, KOLINA JE UKUPNA SNAGA AM-SIGNALA?

$$M_{AM} = 80\% = 0.8 \quad ; \quad P_p = 100\text{W}$$

$$P_{AM} = P_p \left(1 + \frac{M_{AM}^2}{2} \right) = 132\text{W}$$

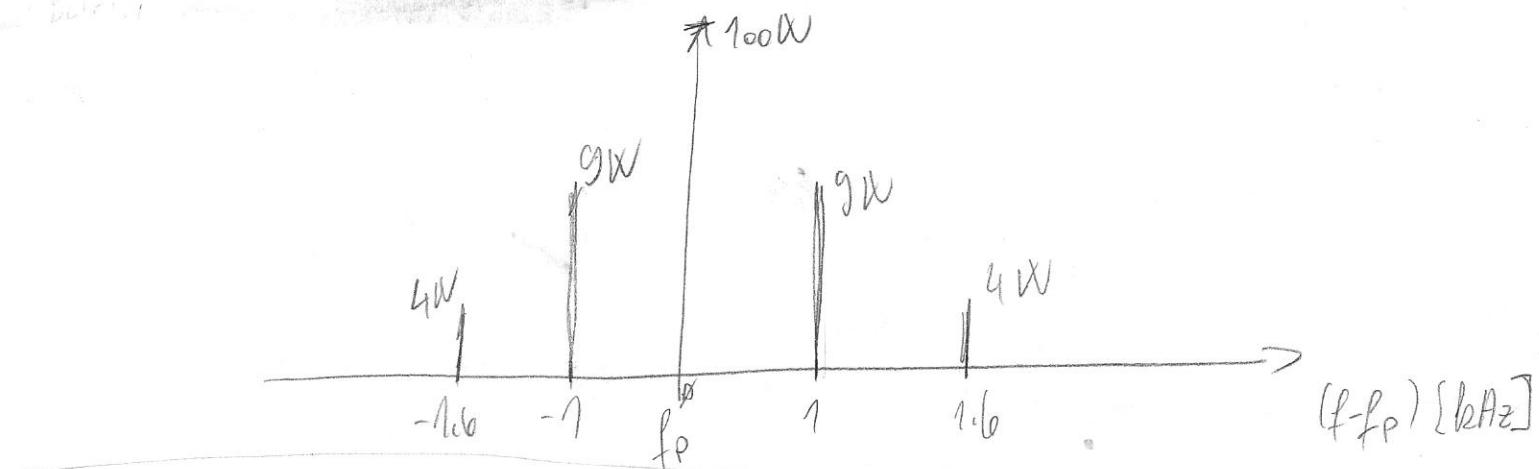
(1.MI-2009/10-7.ZADATAK) 3 SIGNALA SE MODULIRA FREKVENCIJOM MODULACIJOM
 UZ INDEKS MODULACIJE 0.3. SIGNAL GOVORA ZAUZIMA FREKU. PODRUČJE IZMEĐU
 300Hz i 3000Hz . ODREDI ŠIRINU POJASA FM-SIGNALA KOJA ĆE PRENJETI SVE
 SIGNALE!

$$M_{FM} = \frac{\Delta f}{f_M} \quad \text{UZIMAMO } f_M = 3000\text{Hz}, \text{ DA PRENESEMO SVE KOMBINACIJE SIGNALA}$$

$$\Delta f = M_{FM} \cdot f_M = 900\text{Hz}$$

CARSON: $B = 2(f_m + \Delta f) = 7.8\text{kHz}$

(1. MI - 2009/10 - 8. ZADATAK): PRI AM-MODULACIJI KORISTI SE MJEĐILO SNAGE
OTPORA 50Ω , A SPEKTAR (DOBIVENI) JE NA DONJOJ SLICI, ODREDITI A) PRIMENOM
PRIJENOSNOG SIGNALA? b) AMPLITUDE KOMPONENTI MODULACIJSKOG SIGNALA?



$$P_p = 100 \text{ W} \rightarrow \text{PRIMENSKI}$$

$$P_{M1L} = P_{M1D} = 9 \text{ W} \rightarrow \text{PRVE BOČNE KOMPONENTE}$$

$$P_{M2L} = P_{M2D} = 4 \text{ W} \rightarrow \text{DRUGE BOČNE KOMPONENTE}$$

$$\text{a)} P_p = \frac{V_p^2}{2R} \Rightarrow V_p = \sqrt{P_p \cdot 2R} = 100 \text{ V}$$

$$\text{b)} P_{M1} = 18 \text{ W} = P_p \left(\frac{M_{AM1}}{2} \right)^2 \Rightarrow M_{AM1} = \sqrt{\frac{P_{M1}}{P_p} \cdot 2} = 0.6 \Rightarrow V_{M1} = V_p \cdot M_{AM1} = 60 \text{ V}$$

$$P_{M2} = 8 \text{ W} = P_p \left(\frac{M_{AM2}}{2} \right)^2 \Rightarrow M_{AM2} = \sqrt{\frac{P_{M2}}{P_p} \cdot 2} = 0.4 \Rightarrow V_{M2} = V_p \cdot M_{AM2} = 40 \text{ V}$$

JER SE TRAŽE KOMPONENTE MODULACIJSKOG SIGNALA (V_{M1} & V_{M2}), A NE KOMPONENTE SPEKTRA NAPONA.

(1. MI - 2009/10 - 10. ZADATAK): KOJINA JE DEVIJACIJA FREKVENCE FAZNO MODULIRANOG SIGNALA S DEVIJACIJOM FAZE OD 1.4 RADJANA, PRI FREKVENCIJI MODULACIJSKOG SIGNALA OD 2 kHz ?

$$\Delta\phi = 1.4 \text{ rad}, f_m = 2 \text{ kHz}$$

$$M_{PM} = \Delta\phi = \frac{\Delta f}{f_m} \Rightarrow \Delta f = \Delta\phi \cdot f_m = 2.8 \text{ kHz}$$

(ISTE FORMULE KAO I FM)

(1.MI-2011/12-8.ZAD.) : MODULIRANI SIGNAL IZ POJASA (300-3400Hz) MODULIRA FREKV. VISOKOFREKVENTNOG SIGNALA, DEVIJACIJA FREKVENCIJE JE 2000Hz.

- a) ŠIRINA POJASA DOBIVENOG SIGNALA JE? b) INDEKS MODULACIJE =?
- c) JE CI TO ŠIROKOPOJASNA I LI USKOPOJASNA MODULACIJA F.?

a) $B = 2(f_M + \Delta f) = 10.8 \text{ kHz}$

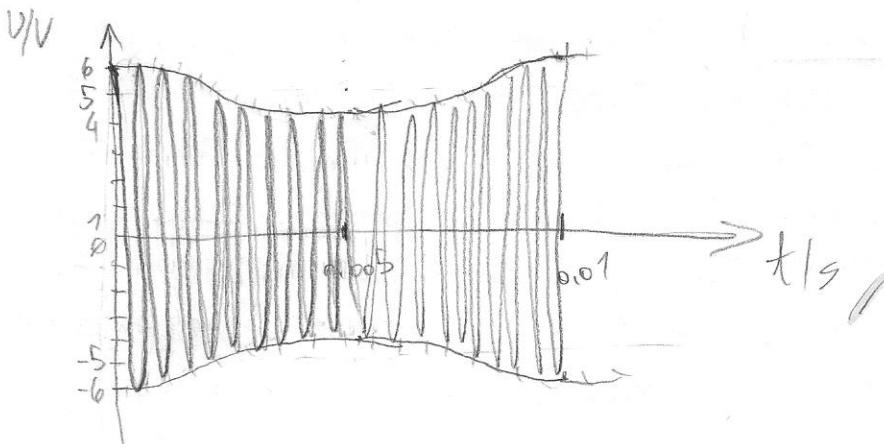
↓
IZIMAMO MAXIMALNU (3400Hz)

b) $M_{FM} = \frac{\Delta f}{f_M} = 0.59$
↓ ISTO MAX.

c) ŠIROKOPOJASNA, JER JE $M_{FM} > 0.4$

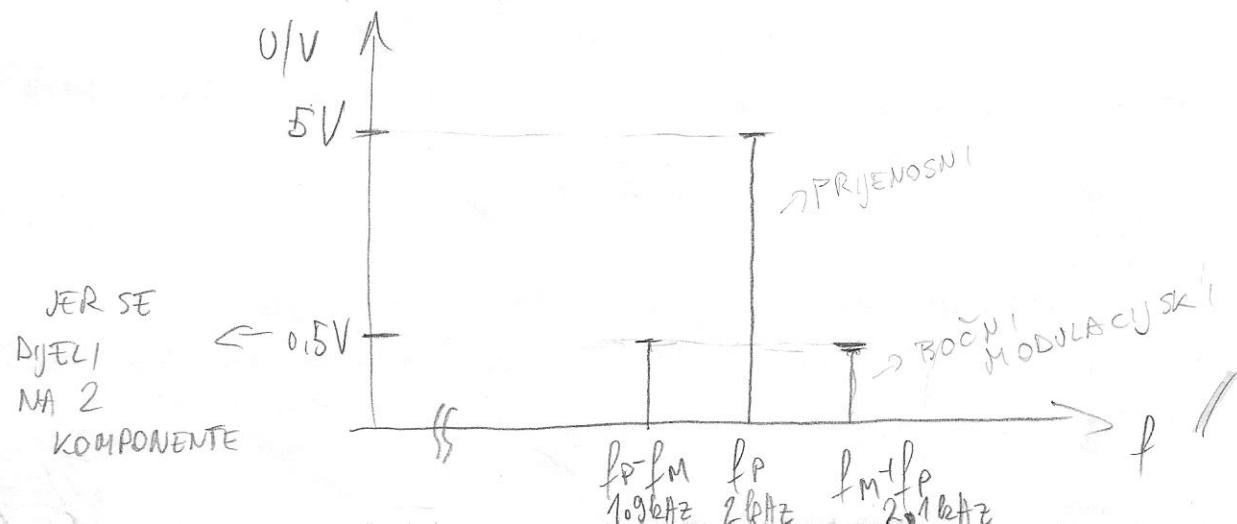
(1.MI-2011/12-1. ZAD.) : $U_p = 5 \cos(4000\pi t)$; $U_m = \cos(200\pi t)$; NACRTATI MODULIRANI SIGNAL, SPEKTAR I NAĆI INDEKS MODULACIJE!

$U_p = 5V$ $M_{AM} = \frac{U_m}{U_p} = 0.2$ $\omega_p = 4000\pi \Rightarrow T_p = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$
 $U_m = 1V$ $\omega_m = 200\pi \Rightarrow T_m = 0.01 \text{ s}$



OBA MU COS
PA POČINUJU IZ
MAKSIMALNE VRJEDNOSTI

SPEKTAR: $f_p = 2000 \text{ Hz}$ ($\omega_p = 2\pi f_p$)
(NAPON)
 $f_m = 100 \text{ Hz}$



(21-2011/12-8.zad.) NAJMANJA AMPLITUDA AM-SIGNALA JE $40V_{pp}$, NAJVEĆA $80V_{pp}$)

FREKVENCIJA PRJENOSNOG SIGNALA JE $100kHz$, A MODULACIJSKOG $10kHz$. ODREDI;

- a) indeks modulacije
- b) snagu AM-signalata na otporniku od 5Ω
- c) spektar snage (isto je $R=50\Omega$)

a) $V_{min} = \frac{40}{2} = 20V$ (jer je V_{pp} - PEAK TO PEAK)

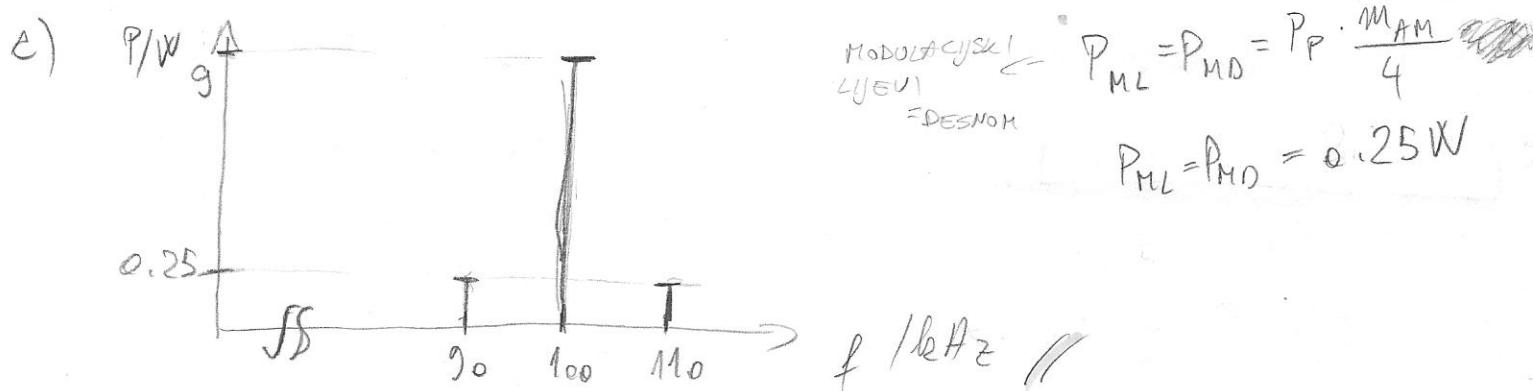
$$V_{MAX} = 40V$$

$$V_p = \frac{V_{min} + V_{MAX}}{2} = 30V$$

$$V_{MAX} = V_p(1 + m_{AM}) \Rightarrow m_{AM} = \frac{V_{MAX}}{V_p} - 1 = 0.33$$

b) $P_p = \frac{V_p^2}{2R} = 9W$
PRJENOSNA S.

$$P_{AM} = P_p \left(1 + \frac{m_{AM}^2}{2} \right) = 9.5W$$



(ZIMSKI ISPITNI ROK-2011/12-25.zad.): MODULACIJA FREKVENCIJE OSTVARUJE SE OPOTREBOM MODULATORA FAZE. DEVIJACIJA FAZE IZNOSI 2 rad. AKO GOVORNI MODULACIJSKI SIGNAL ZAVZIMA POJAS $300Hz - 3400Hz$, U KOJIM GRANICAMA JE SE NALAZITI. DEVIJACIJA FREKVENCIJE? KOLIKA JE MINIMALNA FREKVENCIJA UZORKOVANJA GOVORNOG SIGNALA? ODREDI ŠIRINU POJASA POTREBNU ZA PRJENOS GOVORA AKO SE KORISTI FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBJEJEMEM OD 0.25.

MODULACIJA FAZE & FREKV. SU SKORO IDENTIČNE, A FORMULE SU ISTE...

$$\Delta\phi = 2 \text{ rad} = m_{PM} = m_{FM} = \frac{\Delta f}{f_m}; \quad f_m \in (300, 3400) Hz$$

$$\Delta f_{min} = f_{m,min} \cdot 2 = 600Hz$$

$$\Delta f_{max} = f_{m,max} \cdot 2 = 6800Hz$$

MINIMALNA FREKV. UZORKOVANJA ODREDNA JE NYQUISTOM PRAVILOM UZORKOVANJA:

$$f_u \geq 2f_{m,max} \Rightarrow f_u = 6800Hz$$

\downarrow
KORISNI SIGNAL

UKOLIKO SE KORISTI NAVEDENA MODULACIJA, ŠIRINA POJASA ODREDNA JE CARSONOVIM PRAVILOM, TE SE TA ŠIRINA U OVOJ SLUČAJU PROŠIRUJE ZA 25% ($\lambda = 0.25$)

$$B = B(1+0.25) = 2(f_m + \Delta f)(1+25) = 25.5 kHz$$

(CARSON ODREĐUJE MINIMALNU POTREBNU

3)

(ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011./12. - 26. ZAD.)

KOD FM SIGNALA FREKVENCIJA PRIJENOŠNOG SIGNALA JE 100 MHz, MODULACIJSKOG S16. 15 kHz, DOK JE DEVIJACIJA FREKVENCIJE MODULACIJSKOG SIGNALA 75 kHz. ODREDITI SNAGU DISIPIRANU NA OTPORU OD 50 Ω. AMPLITUDA SINUSNOG PRIJENOŠNOG SIGNALA JE 100 V, A MODULACIJSKOG S16. 8 V.

$$\Delta f = 75 \text{ kHz} \\ f_m = 15 \text{ kHz} \quad M_F = \frac{\Delta f}{f_m} = 5 > 0.4, \text{ PALETA SUGERA VEĆOM U PREGLEDU}$$

$$P_p = \frac{V_p^2}{2R} = 100 \text{ W}$$

$P_{FM} = P_p = 100 \text{ W}$, JER FM MODULACIJA NE MIJENJA SNAGU

GRADIVO 3. PREDAVANJA
- DISKRETNE MODULACIJE

3. Auditorne

ŠTO SE TIČE DISKRETNIH MODULACIJA, RADI SE O ANALOGNOM PRIJENOŠNOM SIGNALU, DOK JE MODULACIJSKI SIGNAL DISKRETAN. KOD FSK MODULACIJE, ZA RAZLIKU OD FM-MODULACIJE, FREKVENCija POPRIMA JEDNO OD DISKRETNIH STANJA. UGLAVNOM SE NE KORISTE FSK POSTUPCI SA VIŠE OD 3 BITA PO SIMBOLU, KAO NI PSK POSTUPCI S VIŠE BITA PO SIMBOLU, VEĆ SE ONDA KORISTI QAM MODULACIJA ZBOG BOJIH OSOBINA. KOD BFSK POSTUPKA VRJEDNOSTI MODULACIJSKOG SIGNALA "0" PRIDAJE SE NIŽA FREKVENCija, A ZNAKU "1" VIŠA, TE SU ONE UDAYENE ZA ZA DVOSTRUKU VRJEDNOST DEVIJACIJE FREKVENCIJE, DOK JE PRIJENOŠNA FREKVENCija NA ARITMETIČKOJ SREDINI TIH DVaju FREKVENCIJA (ZA ZNAK "1" SE f_p DODAJE Δf ,

DON SE ZA ZNAK "0" ODOZIMA $f_p - \Delta f$):

$$f_1 = f_p + \Delta f \quad ; \quad f_0 = f_p - \Delta f$$

$$f_1 - f_0 = 2\Delta f \quad ; \quad f_p = \frac{f_1 + f_0}{2}$$

ŠTO SE TIČE INDEKSA MODULACIJE, KORISTI

SE FORMULA KOJA JE ISTA KAO I KOD FM-MODULACIJE:

$$M_{FSK} = \frac{\Delta f}{f_m} = 2\Delta f T_s$$

$f_m = \frac{1}{2T_B}$ IJ. $f_m = \frac{1}{2T_s}$ KOD M-FSK, IZLAZI IZ POVEZANOSTI

f_m (MAXIMALNE FREKV. SIGNALA IJ. INFORMACIJE-MODULACIJSKOG SIGNALA) S FREKVENCIJOM UZORKOVANJA

I BRZINOM PRIJENOŠA BITA (1. AUDITORNE). ŠTO SE TIČE ZAUZETOSTI POJASA, KORISTI

SE CARSONOVU PRAVILO IZ FM-MODULACIJE:

$$B = 2(\Delta f + f_m) = 2(\Delta f + \frac{1}{2T_a})$$

SREDINA POJASA JE NA f_p .

① (3. AUDITORNE-1, ZAD.) : DIGITALNI PODACI BRZINE 1200 bit/s PRENOSE SE POMOĆU

BFSK MODEMA ANALOGNIM TELEFONSKIM KANALOM koji omogućuje prijenos govornog signala u pojusu od 300 Hz do 3400 Hz. Znaku "0" pridružena je diskretna frekvencija od 300 Hz, a znaku "1" frekvencija 2100 Hz. Odrediti:

1. frekvenciju prijenosnog signala!
2. veličinu devijacije frekvencije!
3. veličinu indeksa modulacije
4. granične frekvencije zauzetog pojasa frekvencija unutar govornog kanala!

INFORMACIJA O KANALU I MOGUĆNOSTI PRIJENOSA 300Hz-3400Hz JE NEPOTREBNA (JEDINO ZA PROVERU REZULTATA, DA VRJEDNOSTI BODU UNUTAR TE GRANICE).

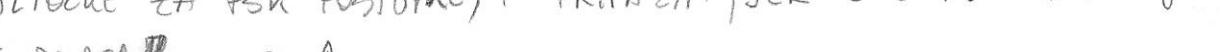
$$f_0 = 1300 \text{ Hz}, f_1 = 2100 \text{ Hz}, R_B = 1200 \text{ bits}$$

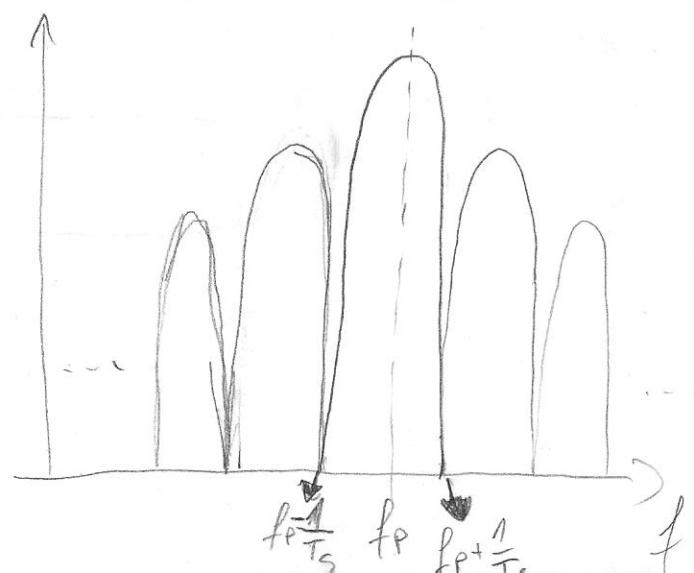
$$1. f_p = \frac{f_0 + f_1}{2} = 1700 \text{ Hz}$$

$$2. f_1 - f_0 = 2\Delta f \Rightarrow \Delta f = \frac{f_1 - f_0}{2} = 400 \text{ Hz}$$

$$3. M_F = \frac{\Delta f}{f_M} = 2\Delta f T_B = \frac{400 \cdot 2}{1200} = 0.67$$

4. $B = 2(Df + f_n) = 2(Df + \frac{1}{2T_a}) = 2$ Hz. KAKO JE f_p NA SREDINI
POJASA, ZNACI DA SU GRANIČNE frekv.: $f_{\min} = f_p - \frac{B}{2} = 700$ Hz
 $f_{\max} = f_p + \frac{B}{2} = 2700$ Hz //

KOD PSK POSTUPAKA, FAZA POPRIMA DISKRETE VRJEDNOSTI, ŠTO SE PRIKAZUJE U DIJAGRAMU STANJA (KONSTELACIJSKU DIJAGRAM), IDEALNA, NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA JE $B_N \geq R_s$, T.J. $B_N = R_s$ (MINIMALNO MOGUĆA ŠIRINA). U SPECTRU, ČESTO SE PRIKAZUJE OVOJNICA SNAGE (ISPOD KOJE JE DŽOMBUS °). VAŽNO JE UOČITI PRVE NULTOČKE ZA PSK POSTUPKE, I PRIFAZITI, JER SNE NE OZNAČAVAJU ŠIRINU ZAUZETOG POJASA! 



② (3. AUDITORNE-2.ZAD.) ŠI MODULACIJSKI POSTUPAK QPSK KORISTI SE ZA PRIJENOS PODATAKA BRZINOM 8.448 Mbit/s . PRIJENOSNA FREKV. IZNOSI 2.4 GHz . ODREDITI GRANICE POJASA FREKVENCija ŠTO GA ZAUZIMA QPSK-SIGNAL KAO SE ZA FILTRIRANje KORISTI: 1. IDEALNI NYQUISTOV FILTAR
2. FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBYEJENJEM FAKTORA 0.3 !

1. $B_N = R_s$; KAD SE RADI Q QPSK POSTUPKU, KORISTE SE 2 BITA/SIMBOL (W=2), PA JE $R_s = \frac{R_b}{W} = \frac{R_b}{2}$

NYQUIST

$$B_N = 4.224 \text{ MHz} ; \text{ OPET, SREDINA POJASA JE NA } f_p, \text{ PA?}$$

$$f_{\min} = f_p - \frac{B_N}{2} = 2397.89 \text{ MHz}$$

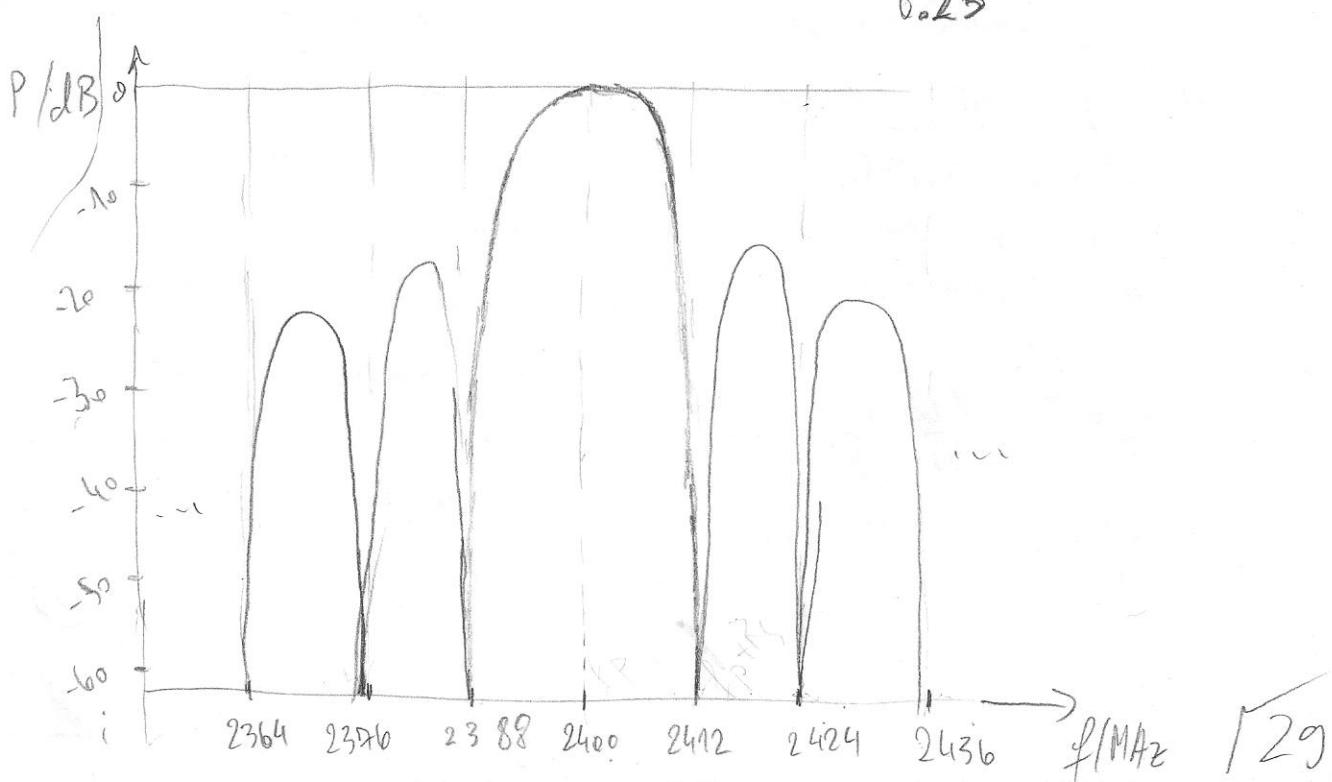
$$f_{\max} = 2402.112 \text{ MHz}$$

2. $B = B_N(1+\alpha) = 5.4912 \text{ MHz}$

$$f_{\min} = 2397.2544 \text{ MHz}$$

$$f_{\max} = 2402.7456 \text{ MHz}$$

③ (3. AUDITORNE-3.ZAD.): ANALIZOM SPECTRA IZMEREN JE SPECTRUM SNAGE 8-PSK SIGNALA KAO NA SLICI. ODREDITI: 1. BRZINU PRIJENOSA BITA
2. SPECTRALNU DEINKOVTOST AKO SE UPOTRIEBI FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBYEJENJEM FAKTORA 0.25



1.8-PSK POSTUPAK OZNAČAVA 3BITA/SIMBOL, $W=3$ ($\log_2 8$). PREKVENCija

PRIJ. SIGNALA SE ODJELJA SA SLINE? $f_p = 2400 \text{ MHz}$, DOK JE PRVA

DESNA NOLTOČKA:

$$f_p + \frac{1}{T_s} = 2412 \text{ MHz} \Rightarrow \frac{1}{T_s} = 12 \text{ MHz} \Rightarrow R_s = 12 \text{ MBd}$$

$B_d = \text{BAUD}$

(SIMBOL U SEKUNDI)

$$R_b = W \cdot R_s = 3 R_s = 36 \text{ Mbit/s}$$

2. SPETRALNA VĒINKOVITOST: S.U. = $\frac{R_b}{B} = \frac{R_b}{B_N(1+\alpha)}$, S TIM DA JE

KOD PSK SIGNALA, KAO ŠTO JE SPOMENUTO $B_N = R_s$, PA?

$$S.U. = \frac{R_b}{B_N(1+\alpha)} = \frac{R_b}{R_s(1+\alpha)} = \frac{3}{1.25} = 2.4 \text{ bit/s/Hz}$$

OPASNA: KADA NE BI BILO α , Tj. DA SE KORISTI IDEALNI FILTAR

$$S.U. \text{ BI BILA } \frac{R_b}{R_s} = 3$$

4. (3. AUDITORNE-4. ZADATAK) 3 DIGITALNI PODACI PRENOSE SE BREZINOM OD
19200 bit/s koristeći QPSK POSTUPAK I KOSINUSNI FILTAR S
FAKTOROM ZAOBLJENJA 0,5. SNAGA MODULIRANOG SIGNALA NA ULAZU U
PRIJAMNIK IZNOSI 1mW, A GUSTOĆA SNAGE ŠUMA JE $6 \cdot 10^{-15} \text{ W/s}$.
1. KOLIKI JE OMJER SNAGE SIGNALA I ŠUMA U POJASU MODULIRANOG SIGNALA?
2. KOLIKI JE OMJER ENERGije SIMBOLA I GUSTOĆE SNAGE ŠUMA?

1. QPSK $\Rightarrow 2 \text{ BITA/SIMBOL} \Rightarrow W=2 \Rightarrow N_o = 6 \cdot 10^{-15} \text{ W/s}$

OMJER SNAGE PRIJENOŠNOG SIGNALA (SNAGE DISKRETNIO-MODULIRANOG SIGNALA, C):
SNAGE ŠUMA (NOISE) JE: $\frac{C}{N} ; N = N_o B \Rightarrow$ FREKV. POJAS
 \downarrow
GUSTOĆA SNAGE ŠUMA

$$B_N = R_s = \frac{R_b}{W} = \frac{R_b}{2} = 9600 \text{ Hz}$$

$$B = B_N(1+\alpha) = 14400 \text{ Hz} ; N = N_o B = 8.64 \cdot 10^{-11} \text{ W} ; C = 1 \text{ mW} \text{ (ZADATKO)}$$

$$\frac{C}{N} = 11.57$$



130

2. ENERGIJA SIMBOLA ĆE SE DOBITI IZ SNAGE ~~SNAGE~~ (SNAGA JE ENERGIJA VRIJEME).

SNAGA ~~SNAGE~~ JE UPRAVO SNAGA KOJA JE ZADANA (SNAGA MODOLIRANOG SIGNALA), TE JE POTREBNO POMNOŽITI S TRAJANjem SIMBOOLA DA BI SE DOBILA ENERGIJA:

$$E_S = C \cdot T_S = C \cdot 2T_a = C \cdot \frac{2}{R_a} = 1,042 \text{ Ws ili Joula}$$

QPSK (W=2)

$$\frac{E_S}{N_0} = 17,36$$

5. (3. AUDITORNE - 5. ZADATAK): KOMUNIKACIJSKIM SUSTAVOM koji koristi DIFERENCIJALNI BPSK-POSTUPAK PRENOSE SE PODACI BRZINOM 2.048 Mbit/s . GOSTOĆA SNAGE ŠUMA U PRIJENOSNOM KANALU IZNOSI $4 \cdot 10^{-15} \text{ Ws}$. KOLIKA MORA BITI IZLAZNA SNAGA ODAŠILJAČA DA SE OSTVARI VJEROJATNOST POGREŠKE OD 10^{-5} , AKO SE NA PRIJENOSNOJ STAZI OD ODAŠILJAČA DO PRJEHNIKA SNAGA SIGNALA PRIGOŠTI 9 dB ?

KOD DBSK POSTUPKA (DIFERENCIJALNOG BPSK) VJEROJATNOST POGREŠKE BITA JE:

$$P_{\text{err}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_a}{N_0}}$$

E_a ... ENERGIJA BITA

N_0 ... GOSTOĆA SNAGE ŠUMA

DA BI DOBILI SNAGU NA PRIJEMNOJ STRANI, PRVO RACUNAMO ENERGIJU BITA:

$$P_{\text{err}} = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_a}{N_0}} \Rightarrow [\ln(2P_{\text{err}})] \cdot N_0 = -E_a$$

$$E_a = 4,33 \cdot 10^{-14} \text{ J } (\text{ili Ws})$$

$$\text{SNAGA} \rightarrow C_{\text{PRIJEM}} = \frac{E_a}{T_a} = E_a \cdot R_a = 8,86 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

C_{IZLAZ} MORA TADA BITI 9 dB VEĆI OD PRIJEMA DA BI SE KOMPENZIRAO GUŠENJE ($L = 9 \text{ dB}$):

$$C_{\text{IZLAZ}} = C_{\text{PRIJEM}} + 9 \text{ dB} \Rightarrow C_{\text{IZLAZ}} = C_{\text{PRIJEM}} \cdot 10^{\frac{9}{10}} = 88,6 \text{ W}$$



(6) (3. AUDITORNE - 6. ZADATAK): BINARNI SLYED PODATAKA 0 0 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1
PRIVODI SE MSK-MODULATORU, SKICIRATI TIJEK PROMJENA FAZE NASTALOGA MODULIRANOG SIGNALA AKO JE POČETNA FAZA MODULIRANOG SIGNALA U TRENUOTKU $t=0$ BILA JEDNAKA $\phi_0=0$.

KOD MSK MODULACIJE INDEXS MODULACIJE JE $M_F=0.5$, INACE SU KOD DISKRETNIH POSTUPAKA (UZ IZNIMKE) PROMJENE FAZE $\pm \pi M_F$. KOD MSK POSTUPKA ONE IZNOSU UPRAVO $\pm \frac{\pi}{2}$ (POZITIVNO ZA "1", NEG. ZA "0") U INTERVALU JEDNOG BITA $(\Delta f = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{t}{T_B})$.

POZNAVAJUCI TEORIJU, ZADATAK JE JEDNOSTAVAN Σ :



(7) (3. AUDITORNE - 7. ZADATAK): KOMUNIKACIJSKIM SUSTAVOM POTREBNO JE PREMIJETI PODATKE BRZINE 140 Mbit/s KANALOM ŠIRINE POJASA 30 MHz. FAKTOR ZAOBLJENJA KOSINUSNOG FILTRA IZNOSI 0.25. POTREBNO JE ODABRATI MODULACIJSKI POSTUPAK KOJIM SE POSTIŽE NAJVEĆA OTPORNOST NA ŽUM.

PRETPOSTAVLJA SE PSK ILI QAM POSTUPAK JER JE PREHALO PODATAKA ZA FSK/PSK.
ASK. $R_e = 140 \text{ Mbit/s}$; $B = 30 \text{ MHz}$; $\alpha = 0.25$

$$S/N = \frac{R_e}{B} = 4.67 ; B = B_N(1+\alpha), \text{ i } B_N = R_S \text{ KOD PSK \& QAM}$$

$$\frac{R_e}{R_S(1+\alpha)} = 4.67 \Rightarrow \frac{R_e}{R_S} = 5.83 \Rightarrow \text{ZNAČI DA SE KORISTI NAJMANJE 5 BITA/SIMBOLU}$$

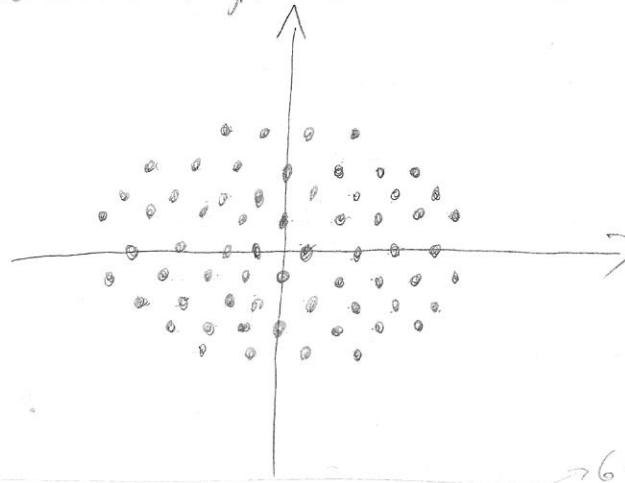
DA BI UGORACI TOLIKU BRZINU U TOLIKU POJAS, TAJ BROJ (5.83) ČEMO ZAKRUŽITI NA PRVI NAJVEĆI. KADA BI ZAKRUŽILI NA MANJI, ŠIRINA POJASA NAM NE BI BILA DOVOLJNA ZA BRZINU KOJA JE ZADANA. ČIM JE VEĆA SPETRALNA UČINKOVITOST, VEĆA JE BRZINA PRJENOSA BITA KOJU MOŽEMO "UGURATI" U ISTU ŠIRINU POJASA (A OVA SE POUČAVA POVEĆANjem BROJA BITA PO SIMBOLU). NEGATIVNA STRANA JE POUČANA OSJETLJIVOST NA GRESKE. RJEŠENJE: $[64-QAM] (2^6=64 \Rightarrow \text{QAM JE BOGAT OD PSK})$

8. (3. AUDITORNE - 8. ZADATAK): ZA PRIMER NIZA BINARNIH ZNAKOVA NAPISITE VRIJEDNOST I RELATIVNE FAZE DE-BPSK SIGNALA! 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0;
 $\phi_0 = \varnothing$.

FAZA DE-BPSK SIGNALA SE KOD ZNAKA "1" NE MUENJA (OSTAJE ISTA KAKVA JE I BILA) DOK SE KOD ZNAKA "0" UVECA ZA π RADIJANA

BINARNI NIZ	1 0 1 1 0 0 0 1 0 0
FAZA DE-BPSK SIGNALA, ϕ_{p}	$\varnothing \pi \pi \pi \pi \varnothing \pi \varnothing \pi \pi \varnothing$ \downarrow $\pi + \pi = 2\pi = \varnothing$

9. (3. AUDITORNE - 9. ZADATAK): KOLIKA JE IDEALNA SPEKTRALNA OCINKOVITOST MOVLJACIJSKOG POSTUPKA S DJAGRAMOM STANJA PREMA SLICI?



→ 64 STANJA!

BROJANjem TOČICA DOLAZIMO DO BROJE 64, PA SE OČITO RADI O 64-QAM POSTUPKU. IDEALNA S.U. ZNAČI DA JE $B = B_N$ (IDEALNI FILTAR)

$$\text{PA JE } S.U. = \frac{R_B}{B} = \frac{R_B}{B_N} = \frac{R_B}{R_S} = 6$$

$$B_N = R_S$$

$$\rightarrow 6 \text{ BITA/SIMBOL (64-QAM)}$$

$$\text{jav je } W = 6 = \log_2 64$$

10. (3. AUDITORNE - 10. ZADATAK): OVO JE ZADATAK VIŠE POUZDNE HARAUI 02 KORIŠTENJE FOURIEROVE ANALIZE, PA JE SADJ U PRILOGU; 11. A 12. ZADATAK SPADAJU U SJ. CJELINU (ISTO SU DIO 3. AUDITORNIH, A VIJE GRADIVO OFDM, 4. PREDAVA NJE).

ZADACI koji SE ODNOSE NA 3. PREDAVANJE,

ALI SU IZVAN AUDITORNIAH - S ISPITA I SL.

(2. LABOS - 9.3.1. ZAD.) : ODREDI RELATIVNU FAZU $\pi/4$ -DQPSK SIGNALA ZA SVJEDEC! SLJED BINARNIH ŽNAKOVA: 11 0011 011010. POČETNA FAZA (PRIJE OVOG SVJEDA) JE $\pi/4$.

PROMJENA FAZE $\pi/4$ -DQPSK SIGNALA JE KAO SLJEDI (PAZITI, JER SE RADI Q-QPSK SIGNALU - 2 BITA/SIMBOL, PA 2 BITA OZNAČAVAJU 1 SIMBOL):

$$"00" \rightarrow +\frac{\pi}{4} ? \quad "01" \rightarrow -\frac{\pi}{4} ? \quad "11" \rightarrow -\frac{3\pi}{4} ? \quad "10" \rightarrow +\frac{3\pi}{4}$$

SVJED	111	010	1	1	0	1111011101
REL FAZA: $\pi/4$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{2}$	$-\frac{\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{9\pi}{4}$

(2. LABOS, 2.3.2. ZAD.) : DIGITALNIM ODAŠILJAČEM IZLAZNE SNAGE 100W POSTIŽE 58 VJEROJATNOST POGREŠKE BITA $P_{eB} = 10^{-5}$ PRI UPORABI BPSK MODUL. POSTUPKA.

a) KOLIKA MORA BITI IZLAZNA SNAGA ODAŠILJAČA ZA OSTVARIVANJE JEDNAKE VJEROJATNOSTI POGREŠKE BITA (10^{-5}), AKO SE KORISTE MODULACIJSKI POSTUPCI:

- 1) QPSK 2) 8-PSK 3) 16-PSK

b) KOLIKA JE DOVOJNA IZLAZNA SNAGA ODAŠILJAČA ZA OSTVARIVANJE VJEROJATNOSTI POGREŠKE BITA $P_{eB} = 10^{-4}$ AKO SE KORISTE MOD. POSTUPCI?

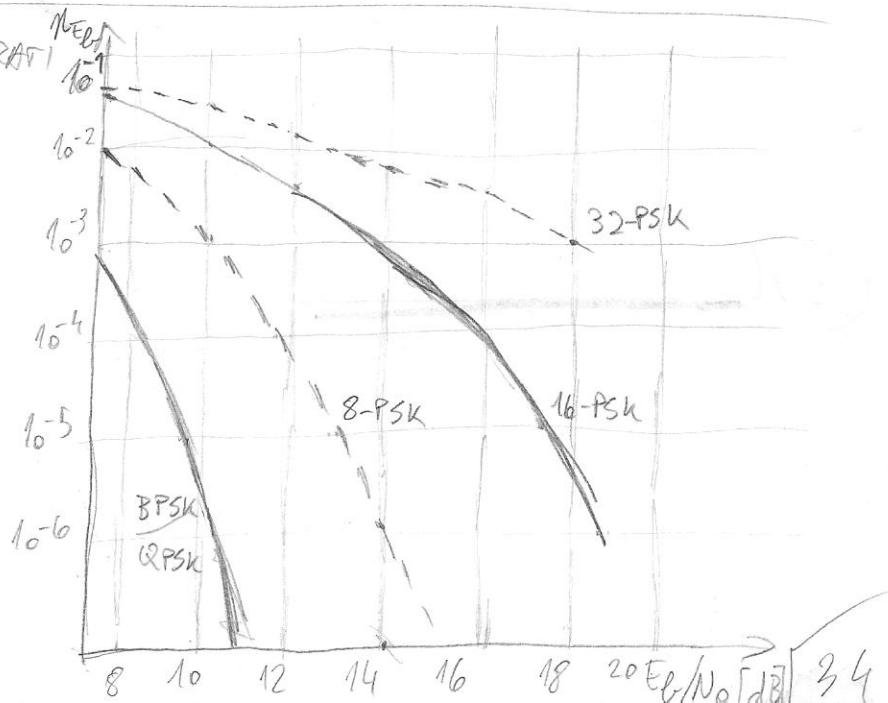
- 1) BPSK 2) QPSK 3) 8-PSK 4) 16-PSK

ZA RJEŠENJE JE NOŽNO KONZULTIRATI TABLICU(GRAF) SA SLAJDOVA,

KOJA JE OVOJE

PRECRTANA ZDESNA:

ZBOG KORIŠTENJA GRAMEVA KODA KOD PRIDRUŽIVANJA BITA SIMBOLIMA (PAROVA ŽNAKOVA STANJIMA), QPSK IMA ISTU P_{eB} KAO I BPSK, JER POGREŠKA PRAZIVA PROMJENU SAMO JEONOG OD ŽNAKA PRIDRUŽENOG SIMBOLU.



a) IZ GRAFA SE PРИБУЖНО ЧИТАЈУ ВРЈЕДНОСТИ E_b/N_0 ?

$$\text{BPSK} \rightarrow 9.8 \text{ dB}$$

$$\text{QPSK} \rightarrow 9.8 \text{ dB}$$

$$8\text{-PSK} \rightarrow 13 \text{ dB}$$

$$16\text{-PSK} \rightarrow 17.2 \text{ dB}$$

1) SNAGA JE ISTA JER JE $\mu_{EC} = 10^{-5}$ KOD BPSK & QPSK (100 W)

2) E_b/N_0 JE KOD BPSK 9.8 dB, DOK JE KOD 8-PSK 13 dB, TJ. 3.2 dB RAZLUKE

TO ZNAĐI DA ~~NE~~ ENERGIJA BITA MORA BITI 3.2 dB VEĆA OD GOSTOĆE ŠUMA KOD 8-PSK NEGO KOD BPSK DA BI SE DOBILA ISTA $\mu_{EC} = 10^{-5}$.

ISTO VRJEDI I ZA PRIPADNE SNAGE?

$$10 \log \frac{P_{12,8\text{-PSK}}}{P_{12,\text{BPSK}}} = 3.2 \text{ dB} \Rightarrow P_{12,8\text{-PSK}} = P_{12,\text{BPSK}} \cdot 10^{0.32} = 208.93 \text{ W}$$

3) ISTO KAO POD 2), SAMO ŠTO JE $\Delta P = 7.4 \text{ dB}$

$$10 \log \frac{P_{12,16\text{-PSK}}}{P_{12,\text{BPSK}}} = 7.4 \Rightarrow P_{12,16\text{-PSK}} = 549.54 \text{ W}$$

b) OZNAĐI LI SE S P'_{BPSK} SNAGA OD 100 W (Za c) DIJELA ($\mu_{EC} = 10^{-5}$ PRI BPSK),

TE ISTO TAKO $P'_{\text{QPSK}}, P'_{\text{8-PSK}}, P'_{\text{16-PSK}}$ ZA PRIPADNE SNAGE (Za $\mu_{EC} = 10^{-5}$)

OČITANJEM IZ GRAFA SE RAČUNAJU RAZLUKE OD $\mu_{EC} = 10^{-4}$ DO $\mu_{EC} = 10^{-5}$ ZA

ZADANE POSTUPKE (RAZLUKE OD c) DIJELA DO NOVOG); $E_b/N_0(\text{BPSK}) = 8.8$

$$E_b/N_0(\text{QPSK}) = 8.8, E_b/N_0(\text{8-PSK}) = 11.8, E_b/N_0(\text{16-PSK}) = 15.8$$

$$1) 10 \log \left(\frac{P_{12,\text{BPSK}}}{P'_{\text{BPSK}}} \right) = -1 \text{ dB} \Rightarrow P_{12,\text{BPSK}} = P'_{\text{BPSK}} \cdot 10^{-0.1} = 79.43 \text{ W}$$

2) ISTO KAO KOD 1), QPSK, BPSK IMaju ISTU $\mu_{EC} \Rightarrow P_{12,\text{QPSK}} = 79.43 \text{ W}$

$$3) ISTIM NAČINOM: 10 \log \left(\frac{P_{12,8\text{-PSK}}}{P_{12,\text{BPSK}}} \right) = 3 \text{ dB} \Rightarrow P_{12,8\text{-PSK}} \approx 158.49 \text{ W}$$

$$4) 10 \log \left(\frac{P_{12,16\text{-PSK}}}{P_{12,\text{BPSK}}} \right) = 7 \text{ dB} \Rightarrow P_{12,16\text{-PSK}} \approx 398.1 \text{ W}$$



- (3. LABOS - 3.3.1. ZAD.) : DIGITALNI PODACI BRZINE 320 bit/s PRENOSE SE U FREKU, POJASU OD 948,1 MHz DO 948,5 MHz MODULAC. POSTUPKOM MSK.
- KOJE SE frekv. koriste za prijenos znaka "0", tj. znaka "1"?
 - DA LI SE ISTE FREKU. MOGU KORISTITI ZA PRIJENOS DIGITALNIH PODATAKA BRZINE 64 bit/s? OBRAZOZI!
 - KOLIKA JE NAJVEĆA MOGUĆA UKUPNA PROMJENA FAZE MSK-SIGNALA TJEKOM INTERVALA U TRAJANju 3 BINARNA ZNAKA (3T)? OBRAZOZI!
 - KOLIKA JE MINIMALNO POTREBNA ENERGIJA BITA MSK-SIGNALA kojom se postiže vjerojatnost pogreške bita od 10^{-4} kad gustoća snage ŠUMA iznosi $3 \cdot 10^{-15} W s^2$.
 - Za koliko W_s je potrebno povećati energiju bita GMSK-SIGNALA pri smanjenju normirane širine pojasa niskopropusnog gaussovog filtra s $B \cdot T = 0,25$ na $B \cdot T = 0,2$, a da se zadrži jednaka vjerojatnost pogreške bita od 10^{-4} ?

MSK POSTUPAK JE PODVRSTABFSK POSTUPKA, KADA JE $M_F = 0,5$. ONIMA DOBRE OSOBINE (S.I....), A UVJETI SU DA JE PRIJENOSNA FREKVENCija f_p , NEPARNI VIŠEKRATNIK $\frac{1}{4T_B}$, A f_0 & f_1 VIŠEKRATNICI $\frac{1}{2T_B}$. $f_1 - f_0 = 2\Delta f = \frac{1}{2T_B}$.

$f_1 = f_p + \frac{1}{4T_B}$ | $f_0 = f_p - \frac{1}{4T_B}$ | PROMJENA FAZE UNUTAR TRAJAJU INTERVALA JEDNOG BITA JE $\pm \frac{\pi}{2}$. PRVE NULTOČKE U SPEKTRU, ONU PRIJENOSNOG SIGNALA SU $|f_p - \frac{3R_b}{4}|$.



a) UKOLIKO SE OZME DA JE $f_p = \frac{f_G + f_D}{2} = \frac{948,5 + 948,1}{2} = 948,3$ MHz,

Nije ispunjen uvjet da je $f_p = \text{NEPARNI VIŠEKRATNIK } \frac{R_b}{4}$. ISPADA?

$$\frac{f_p}{R_b/4} = 11853,75 \text{. ZAOKRUŽIVANjem NA NAJBLIŽE NEPARNE VIŠEKRATNIKE DOBIJE SE : } f_{p,1} = 11853 \cdot 8_0 = 948,24 \text{ MHz; } f_{p,2} = 11855 \cdot 8_0 = 948,4 \text{ MHz.}$$

OSTALI VIŠEKRATNICI NE DOLAZE U OBZIR, JER BI TADA FREKVENCE ZA PRIJENOS "0" i "1" IZLAZILE IZVAN OPSEGА ($< 948,1, 948,5 >$). PRIPADNE FREKVENCE ZA "0" & "1" SU:

$$f_{0,1} = f_{p,1} - \frac{R_b}{4} = 94824_0 - 8_0 = 948160 \text{ kHz; } f_{1,1} = f_{p,1} + \frac{R_b}{4} = 948320 \text{ kHz}$$

$$f_{0,2} = f_{p,2} - \frac{R_b}{4} = 948320 \text{ kHz; } f_{1,2} = f_{p,2} + \frac{R_b}{4} = 948480 \text{ kHz}$$

h) IAKO SE MOŽE DOVODITI U PITANJE TOČNA POSTAVLJENOST ZADATKA ZBOG VEĆEG OBIMA RAČUNANJA a) DIJELA ZADATKA, UŽME LI SE DA JE ZADATAK TOČNO POSTAVLJEN, RJEŠENJE b) DIJELA SCIJEDI:

POTREBNO JE PROVJERITI ZADEVOVJAVAJU LI IZRAČUNATE FREKVENCE VJETE ($f_p = \text{NEPARNI VIŠEKRATNIK } \frac{1}{4T_a}$ ali $f_0 \& f_1 = k \cdot \frac{1}{2T_a}$? NEIN); (UZ $R_a = 64 \text{ kohm}$)

$$\frac{f_{p,1}}{R_a/4} = 59265 \text{ Hz}$$

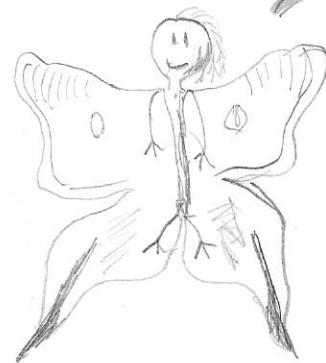
$\Rightarrow 16 \text{ kHz}$

$$\frac{f_{p,2}}{R_a/4} = 59275 \text{ Hz}$$

ODGOVOR: MOŽE!

$$\frac{f_{0,1}}{R_a/2} = 29630 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_{0,2}}{R_a/2} = 29635 \text{ Hz}$$



$$\frac{f_{1,1}}{R_a/2} = 29635 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_{1,2}}{R_a/2} = 29640 \text{ Hz}$$

c) AKO JE U JEDNOM T_a MAX, PROMJENA FAZE $= \pm \frac{\pi}{2}$, TADA JE U $3T_a$

$$\Delta\phi_{\text{MAX}} = \pm \frac{3\pi}{2}$$

d) OČITAVJEM SA SLAJDOVA (GRAF) $E_a/N_0 = 9 \text{ dB}$ (ZA $n_{EB} = 10^{-4}$)

$$N_0 = 3 \cdot 10^{-15} \text{ Ws}$$

$$E_a = 10^{0.9} \cdot N_0 = 10^{0.9} \cdot 3 \cdot 10^{-15} = 2.38 \cdot 10^{-14} \text{ Ws}$$

$= 9 \text{ dB}$

e) PSK JE SLUČAJ GMSK POSTUPKA UZ $B \cdot T_a = 0.0$. PONOVNO SE OČITAVAJU VRJEDNOSTI S GRAFA (SA SLAJDOVA): $E_a/N_0 \Big|_{B \cdot T_a = 0.25} = 1.0 \text{ dB}$; $E_a/N_0 \Big|_{B \cdot T_a = 0.2} = 11.5 \text{ dB}$ (UZ $n_{EB} = 10^{-4}$)

VIDI SE DA JE PROMJENA ODNOŠA $\Delta \left(\frac{E_a}{N_0} \right) = 1.5 \text{ dB}$, AKO SE PRETPOSTAVI ISTI ŠUM, NO U OBA SLUČAJA (STO JE LOGIČNO), ISPAĐA DA SE E_a MORA POVEĆATI ZA $1.5 \text{ dB} = 10^{0.15} = 1.41$ PUTA. AKO SE UŽME NO IZ d) DIJELA ZADATKA, TO JE?

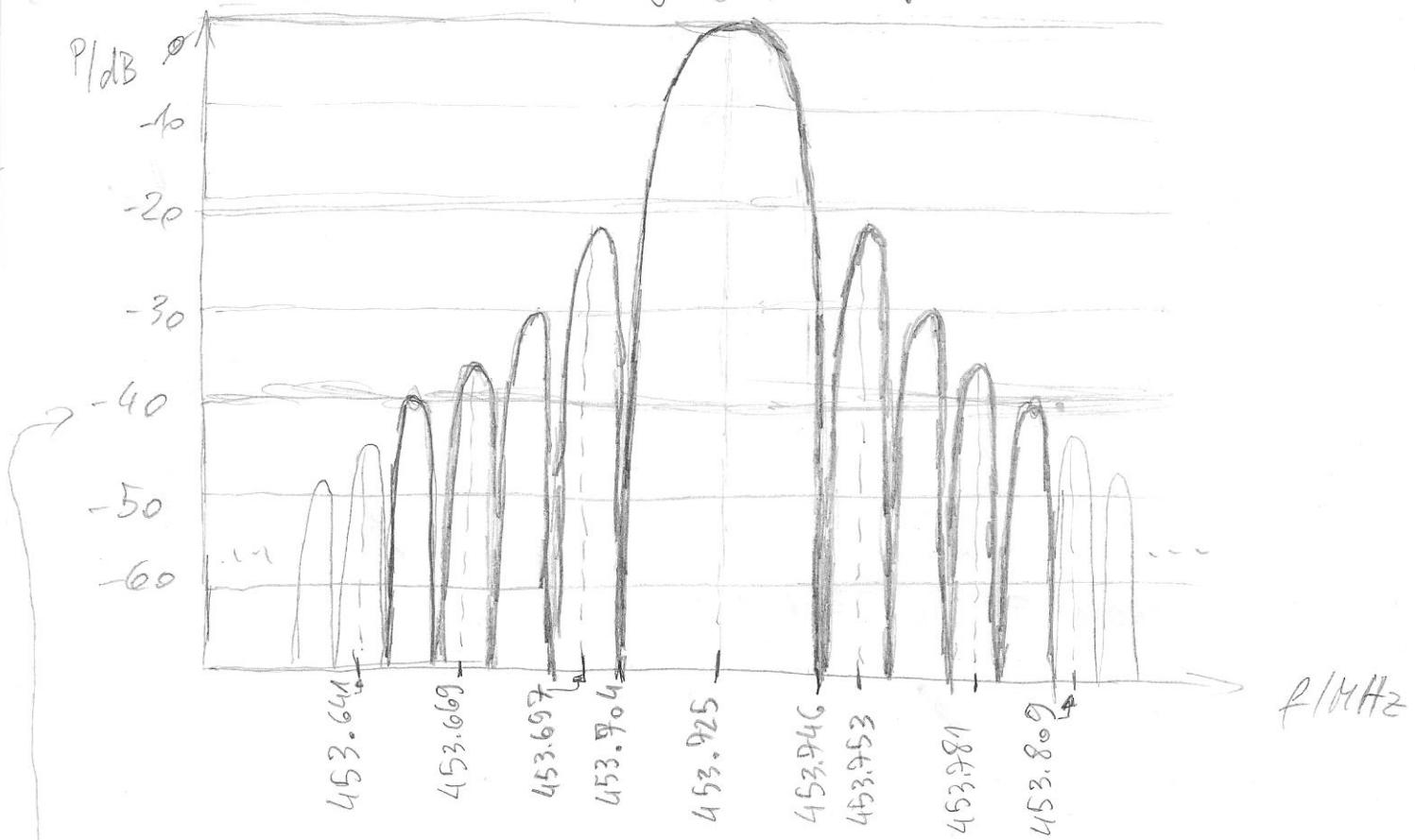
$$E_a \Big|_{B \cdot T_a = 0.25} = N_0 \cdot 1.0 = 3 \cdot 10^{-14} \text{ Ws}$$

$$\frac{E_a/N_0 \Big|_{B \cdot T_a = 0.2}}{E_a/N_0 \Big|_{B \cdot T_a = 0.25}} = 1.41 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E_a = 0.41 \cdot E_a \Big|_{B \cdot T_a = 0.25} = 1.23 \cdot 10^{-14} \text{ Ws}$$

(3. LABOR - 3.3.2. ZADATAK) : ANALIZATOROM SPECTRA SNIMJENA SU OBILJEŽJA
MSK-SIGNALA PREMA SLICI. POTREBNO JE ODREDITI :

- FREKVENCIJU PRIJENOSNOG SIGNALA
- BRZINU PRIJENOSA DIGITALNIH PODATAKA
- KRINU POJASA koju zauzimaju sve komponente koje imaju amplitudu veću od 1% amplitude komponenti najviše RAZINE!



a) $f_p = 453.725 \text{ MHz}$ (OČITANO)

b) PRVA DESNA NULTOČKA = $f_p + \frac{3}{4} R_a = 453.746 \text{ MHz}$

$$\frac{3}{4} R_a = 453.746 - 453.725$$

$$R_a = \frac{4}{3} \cdot (453.746 - 453.725) = 28 \text{ kbit/s}$$

c) AMPLITUDA VEĆA OD 1% označava napon veći od 1% srednjeg nosača \Rightarrow

$$20 \log \left(\frac{0.01 A}{A} \right) = -40 \text{ dB} \quad (40 \text{ dB je } 40 \text{ dB u snazi})$$

$\downarrow 1\%$
 $\downarrow \text{MAX. AMPLITUDA}$

... LINAPONU SVEJEDNO...

GLEĐANJEM NA GRAFU, GRANICE ODREDUJEMO (4. STUPICA OD SREDNJE) 3.3.2.3.
ARITMETICKOM SREDINOM NEPOSREDNIH STUPICA:

$$f_{DONJA} = \frac{453.669 + 453.641}{2} = 453.655 \text{ MHz}$$

$$f_{GORNJA} = \frac{453.809 + 453.781}{2} = 453.795 \text{ MHz}$$

(11. ZADATAK - ZI-2009/08): KOLINA JE MAKSIMALNA SPEKTRALNA UČINKOVITOST 256-QAM
MODULACIJSKOG POSTUPKA?

256-QAMIMA 8 BITA PO JEDNOM SIMBOLU ($\log_2 256 = 8 = W$).

$$S.U. = \frac{R_B}{B} ; \text{ MAX. S.U. SE OSTVARUJE UPOTREBOM NYQUISTOVOG IDEALNOG$$

$$\text{FILTRA}(B_N) \Rightarrow S.U. = \frac{R_B}{B_N} ; \text{ KOD PSK & QAM POSTUPAKA } B_N = R_S :$$

$$S.U. = \frac{R_B}{R_S} = \frac{R_B}{R_B/8} = 8 \text{ bit/s/Hz}$$

(3. ZADATAK - 2. MI - 2008/09): DIGITALNI SIGNAL BRZINE 270 kbit/s PRENOSI SE MODULACIJSKIM POSTUPKOM 8-PSK. ŠIRINA POJASA MODULIRANOG SIGNALA OGRANIČAVA SE UZ POMOC NYQUISTOVOG POJASNO PROPUSNOG FILTRA. KOD KOJE SE ŠIRINE POJASA FILTRA DOBIVA NAJVISA MOGUĆA SPEKTRALNA UČINKOVITOST?

$$8\text{-PSK} \Rightarrow 3 \text{ BITA/SIMBOL } (W=3)$$

MAXIMALNA S.U. SE DOBIVA UZ B_N . (NYQUISTOV FILTER)

$$B_N = R_S = \frac{R_B}{3} = \frac{270}{3} = 90 \text{ kHz}$$

(8. ZADATAK - 2. MI - 2008/09): NA KOJEM RAZMAKU SE NALAZE DISKRETNIE FREKVENCE MSK-SIGNALA PRI BRZINI DIGITALNEGA SIGNALA OD 9600 bit/s?

$$f_1 - f_0 = \frac{1}{2T_B} = \frac{R_B}{2} = 4800 \text{ Hz}$$

GREŠKA, TREBA BITI 200 kHz

(13. ZADATAK - 2. MI - 2008/09): DIGITALNI PODACI BRZINE 200 kHz PRENOSE SE UZ POMOC DISKRETENIH FREKVENCII: 937,2, 937,4, 937,6 i 937,8 MHz. KOLIKI JE INDEKS MODULACIJE?

OČITO SE RADI O 4-FSK POSTUPKU. RAZMACI FREKVENCII SU $2\Delta f$ - (KOD FSK POSTUPAKA)

$$M_{FSK} = 2\Delta f T_B \quad ; \quad W = 2 \text{ (2 BITA/SIMBOL)}$$

JEDNOVINO
RAZMAKNOVE FREKV.
ZA $2\Delta f$

$$\leftarrow 2\Delta f = 937,4 - 937,2 \text{ MHz} = 937,8 - 937,6 \text{ MHz} = 0,2 \text{ MHz}$$

$$M_{FSK} = \frac{2\Delta f}{R_S} = \frac{2\Delta f \cdot 2}{R_B} = 2$$



(14. ZADATAK - 2. MI - 2008/09) : DIGITALNI SIGNAL PRENOŠI SE MODULACIJSKIM POSTUPKOM 4-FSK S DISKRETNIM STANJIMA FREKVENCije: 1000Hz, 1600Hz, 2200Hz, 2800Hz. KOD KOJE BRZINE DIGITALNOG SIGNALA ĆE SIMBOLI 4-FSK-SIGNALA BITI ORTOGONALNI?

RAZMAK FREKVENCija JE $2\Delta f = 600\text{Hz}$

UVJET ORTOGONALNOSTI JE $2\Delta f = \frac{1}{T_s}$ KOD M-FSK SIGNALA

$$2\Delta f = \frac{1}{T_s} = R_s ; W = 2(2 \text{ BITA/SIMBOL})$$

$$2\Delta f = \frac{R_a}{2} \Rightarrow R_a = 4\Delta f = 1200 \text{ bit/s}$$

(2. ZADATAK - 21-2011/12) : BFSK MODEMOM PRENOSE SE DIGITALNI PODACI BRZINE 1000 bit/s ANALOGNIM TELEFONSKIM KANALOM. GRANIČNE FREKVENCije ANALOGNOG TELEFONSKOG KANALA ZA PRYJENOS GOVORA SU 300Hz I 3400Hz. ZNAKU "0" PRIDRUŽENA JE FREKVENCija 1000Hz, A ZNAKU "1" 2000Hz.

a) KOLIKA JE FREKVENCija PRYJENOSNOG SIGNALA?

b) KOLIKA JE DEVIJACIJA FREKVENCije?

c) KOLIKI JE INDEKS MODULACIJE?

$$f_0 = 1000\text{Hz} \quad f_1 = 2000\text{Hz}$$

(PODACI O ŠIRINI TELEFONSKOG KANALA SU NEPOTREBNI)

$$a) f_p = \frac{f_0 + f_1}{2} = 1500\text{Hz}$$

$$b) f_1 - f_0 = 2\Delta f \Rightarrow \Delta f = \frac{f_1 - f_0}{2} = 500\text{Hz}$$

$$c) m_{FSK} = 2\Delta f T_s ; W = 1 \text{ (1 BIT/SIMBOL, JER SE RADI O BFSK)} \Rightarrow T_s = T_a$$

$$m_{FSK} = 2\Delta f T_a = \frac{2\Delta f}{R_a} = 1$$

(3. ZADATAK - 21-2011/12) : KOMUNIKACIJSKI SUSTAV MORA IMATI BRZINU 110 Mb/s.

IMAMO KANAL SA $B=25\text{MHz}$, A FAKTOR ZAOBYENJA JE $\alpha=0.25$.

a) KOLIKA JE NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA?

b) KOLIKA JE OSTVARIVA BRZINA SIMBOLA?

c) KOM POSTUPKOM MODULACIJE ČEMO DOBITI NAJVEĆU OTPORNOST NA KUM U TOM KANALU SA TAKVIM POSTAVKAMA?

$$a) B = B_N (1-\alpha) \Rightarrow B_N = \frac{B}{1-\alpha} = \frac{25}{1-0.25} = 20\text{MHz}$$



b) PREPOSTAVLJA SE PSK/QAM POSTUPAK JER JE PREMAO PODATAKA ZA ASK/FSK, A AM/PM/FM NEMA SMISLA.

$$R_S = B_N = 2 \text{ dBd}$$

c) $\frac{R_E}{B} = \frac{R_E}{B_N(1+d)} = \frac{R_E}{R_S(1+d)} = 4,4 \Rightarrow \frac{R_E}{R_S} = 5,5$, ZNAČI NAJMANJE 5 BITA PO SIMBOLU. DA BI DOBILI TRAŽENU BRZINU R_E U ZADANOM POJASU MORATI $\frac{R_E}{B(1+d)} > 5,5$, A PRVI CJELI BROJ (VEĆI) JE 6. PSK POSTUPAK S 64 STANJA FAZE (26) NEMA SMISLE, PA SE OČITO RADI O 64-QAM POSTUPKU KOJI IMA MANJU OSJETLJIVOST NA ŠUM.

(11. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): ZA KOMUNIKACIJU IZ MEĐU ODAŠILJACA

I PRIJAMNIKA KORISTI SE BFSK POSTUPAK S INDEKSOM MODULACIJE $M_F = 2$. ZA PRIJENOS ZNAKA "0" KORISTI SE FREKVENCija $f_0 = 99.2 \text{ MHz}$, DOK SE ZA PRIJENOS ZNAKA "1" KORISTI FREKVENCija $f_1 = 99.4 \text{ MHz}$. ODREDI FREKVENCiju PRIJENOSNOG SIGNALA f_P , BRZINU PRIJENOSA PODATAKA R_E I Pribužnu širinu pojasa B koristeći CARSONOVU PRAVILo!

$$f_P = \frac{f_0 + f_1}{2} = 99.3 \text{ MHz}$$

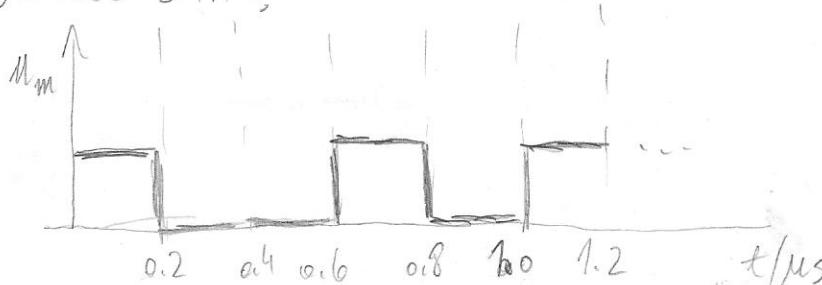
$$M_F = 2DfT_E = \frac{2Df}{R_E} = 2 ; 2Df = f_1 - f_0 = 0.2 \text{ MHz}$$

$$R_E = \frac{2Df}{M_F} = Df = 0.1 \text{ Mbit/s}$$

$$B = 2 \left(Df + \frac{1}{2T_E} \right) = 2 \left(Df + \frac{1}{2} R_E \right) = 0.3 \text{ MHz}$$

(13. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): PRIJENOSNI SIGNAL FREKVENCije 900 MHz

MODULIRA SE DIGITALNIM UNIPOLARNIM SIGNALOM PRIKAZANIM NA SLICI, UZ UPORABU MSK MODULACIJSKOG POSTUPKA. KOJE SU DISKRETE FREKVENCije MODULIRANOG SIGNALA? ZA KOLIKO SE PROMJENI FAZA MSK SIGNALA UNUTAR INTERVALA JEDNOG BITA?



TRAJANJE BITA SE ODŽITA SA SLUKE $T_b = 0.2 \mu s$

KOD MSK POSTUPKA VRJEDI:

$$f_1 = f_p + \frac{1}{4T_b} = 901.25 \text{ Hz} \quad f_0 = f_p - \frac{1}{4T_b} = 898.75 \text{ Hz}$$

FAZA SE KOD MSK SIGNALA U TRAJANJU T_b PROMJENI ZA MAXIMALNO $\frac{\pi}{2}$.

(3. ZADATAK - 1. MI - 2011./12): S GRAFA SE ODŽITAVAJU VRJEDNOSTI KORIŠTENOG

QPSK POSTUPKA: $N_{EW} = 10^{-5} \Rightarrow \frac{E_{b1}}{N_0} = 9.9 \text{ dB}$. ZA KOLIKO SE TREBA POVEĆATI

SNAGA DA BI VEROJATNOST POGREŠKE KED 16-PSK POSTUPKA IZNOSILA $N_{EW} = 10^{-6}$

AKO JE PRI TOJ VEROJATNOSTI ODITANA VRJEDNOST (KOD 16-PSK) $\frac{E_{b2}}{N_0} = 18.5 \text{ dB}$?

$$10 \log \left(\frac{E_{b1}}{N_0} \right)_{\text{QPSK}} = 9.9 \text{ dB} \quad | \quad 10 \log \left(\frac{E_{b2}}{N_0} \right)_{\text{16-PSK}} = 18.5 \text{ dB} . \text{ AKO SE PRETAOSTAVE}$$

ISTE VRJEDNOSTI ŠUMA U OBZIRU SLUČAJA, DANDA SE RJEŠAVAJU JEDNAZBE;

$$10 \log \left(\frac{E_{b1}}{N_0} \right) = 9.9 \Rightarrow 10^{0.99} \cdot (E_{b1}) = N_0 = 10^{-10.85} \cdot E_{b2} \quad | \quad \text{16-PSK}$$

$$\frac{E_{b2}}{E_{b1}} = 10^{-0.99 + 1.85} = 9.244 \text{ PUTA ili } 8.6 \text{ dB}$$

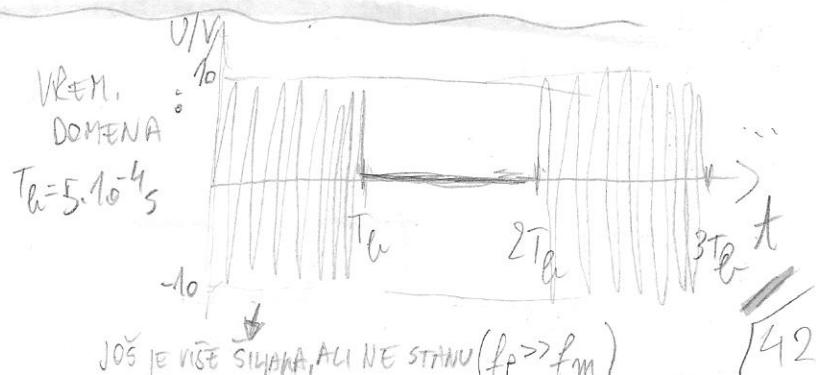
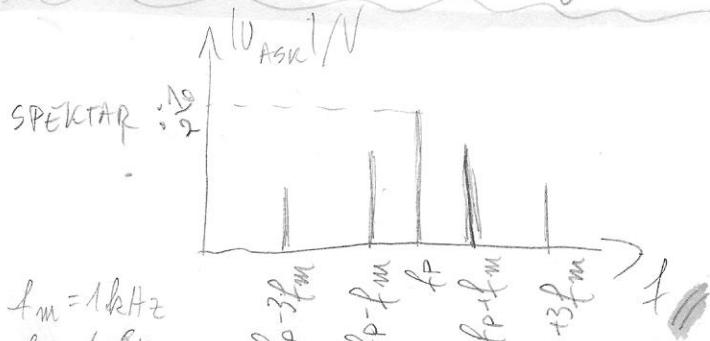
(10. ZADATAK - 2. MSK ISPITNI ROK - 2011./12): KOD ASK MODULACIJE, MODULACIJA OBAVYJA PERIODIČNI PRAVOKUTNI SIGNAL koji odgovara alternirajućim znakovima "0" i "1", TE

SE KAO REZULTAT DOBYJE SIGNAL:

$$u_{ASK}(t) = 10 \cos 2\pi 10^8 t \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos 2\pi 10^3 t - \frac{2}{3\pi} \cos 3.2\pi 10^3 t + \dots \right]$$

NACRTAJ MODULIRANI SIGNAL VREMENSKO & FREK. DOMENI!

$$\text{ASK SIGNAL JE } u_{ASK}(t) = U_{pm} \cos 2\pi f_m t \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos 2\pi f_m t - \frac{2}{3\pi} \cos 3.2\pi f_m t + \dots \right],$$
$$f_m = \frac{1}{2T_b}$$



GRADIVO KOJE SE TIČE GRADIVA POSLJJE 3. PREDAVANJA

I SL. (OD SVUDA :)

(1. ZADATAK - 3. AUDITORNE): PARAMETRI OFDM POSTUPKA ZA DIGITALNU ZENACJSKU TELEVIZIJU (DVB-T, DIGITAL VIDEO BROADCASTING - TERRESTRIAL) ZA TZV. "8K" INAČICU SA:

- TRAJANJE SIMBOLA MODOLIRANOG SIGNALA U POTKANALU IZNOSI $T_0 = 896 \mu s$

- TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA IZNOSI $T_0/4$

- KORISTI SE 681⁷ PODNOSILACA I MODULACIJSKI POSTUPAK 16-QAM ODREDITI?

1. TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA

2. BROJ BITA PRIDRUŽEN SVAKOM OFDM SIMBOLU

3. BRUTO BRZINU PRIJENOSA BITA

4. FREKVENCJSKI RAZMAK OFDM-PODNOSILACA

5. UKUPNA ŠIRINA POJASA OFDM-SIGNALA?

OFDM MODULACIJA SE REALIZIRA PODJELOM RASPOLOŽIVOG FREKVENCJSKOG POJASA NA PODNOSIOCE. PRITOM JE NUŽNO DA RAZMAK PODNOSIOCA BUDE

KAKO ~~SI~~ ONI BILI MEĐUSOBNO ORTOGONALNI (NE BI SI SHETALI).

PRITOM JE f_0 OSNOVNA FREKVENCija, TE SE PODNOSIOCI RASPOREĐUJU NA VIŠEKRATNIKE TE TEMEĆE FREKVENCije, TRAJANJE SIMBOLA (OSNOVNO, NETTO), T_0 , OZNAČAVA TRAJANJE JEDNOG SIMBOLA (KAO T_S KOD DISKRETNIH MODULACIJA). PODJELOM FREKVENCJSKOG POJASA B NA PODNOSIOCE; $B = N \cdot \Delta f$ (ISKORIŠTENI POJAS; N = BROJ NETTO (ISKORIŠTENI PODNOSIOCA); TE VREMENA NA TRAJANJE SIMBOLA, T_0 , STVARA SE MATRICA

FREKVENCJA-VRJEME. BRUTO, UKUPNO TRAJANJE SIMBOLA UVEĆAVA SE ZAŠTITnim INTERVALOM koji je uvijek manji od osnovnog trajanja simbola ($T_{21} = T_0/4, T_0/8$ ili sl.).

KAKO SE SVAKI PODNOSIOC MODOLIRA NEKIM OD MODULACIJSKIH POSTUPAKA (DISKRETNIM), TO JE BROJ BITA PRIDRUŽEN JEDNOM SIMBOLU (KROZ SVE NOSIOCE) = BROJ PODNOSIOCA X

BROJ BITA PO SIMBOLU U MODUL. POSTUPKU (W). $R_{OFDM} = \frac{1}{T_{OFDM}}$, BRZINA PRIJENOSA OBICIJIH SIMBOLA (RAZLIKOVATI OD OFDM-SIMBOLA!) JE

$$R_{OFDM} \cdot N_{NETTO} = R_S$$

SE SVAKIM OFDM SIMBOLOM PRENOSI N_{NETTO} OBICIJIH SIMBOLA, SVIMI POTKANALOM (UKUPNO)



1. KAO ŠTO PIŠE U ZADATKU, $T_{Z1} = \frac{T_0}{4} = 224 \mu s$

2. SVAKI OFDM SIMBOL ČINI N_{NETTO} SIMBOLOVA koji su DOBIVENI NEKIM OD MODULACIJSKIH POSTUPAKA (16-QAM U OVOM ZADATKU). N_{NETTO} JE PROJ KORIŠTENIH PODNOSILOCA (6817). 16-QAM ZNAČI DA SE SVAKI OBICNI SIMBOL SASTOJI OD 4 BITA ($\log_2 16 = 4 = W$) (JEDAN POTKANAL).

BROJ BITA koji čINE JEDAN OFDM SIMBOL JE :

$$N_{NETTO} \cdot W = 6817 \cdot 4 = 27268$$

\downarrow Broj POTKANALA \downarrow Broj BITA SIMBOL (1 POTKANAL)

3. BRUTO BRZINA PRYJENOSA BITA ZNAČI DA MORAMO URAĐUNATI I ZAŠTITNI INTERVAL U RAČUNICU (1 REDUNDANTNE PODATEK) :

$$T_{OFDM} = \frac{5}{4} T_0 = T_0 + T_{Z1} \Rightarrow R_{OFDM} = \frac{1}{T_{OFDM}} = \frac{4}{5 T_0}$$

BRZINA PRYJENOSA "OBICNIH" SIMBOLOVA

$$R_s = R_{OFDM} \cdot N_{NETTO} = 6.09 \text{ MBd}$$

$$R_e = 4 \cdot R_s = 24.35 \text{ Mbit/s} \quad \text{... BRUTO BRZINA}$$

\downarrow
 $W=4$ (16-QAM)

4. PO DEFINICIJI? $\Delta f = f_0 = \frac{1}{T_0} = 1116.07 \text{ Hz}$

5. $B_{OFDM} = N_{NETTO} \cdot \Delta f = 7.61 \text{ MHz}$

PREPOSTAVLJA SE DA SE MISLI NA KORIŠTENI POJAS, INAČE SE NA NJEGA JE DODAJE ZALIKOSNA ŠIRINA, koji služi za ZAŠTITU (A I NJE MOGUĆ IDEALAN FILTAR).



(12. ZADATAK-3. AUDITORNE): FIKSNI WiMAX SUSTAV (OPISAN NORMOM IEEE

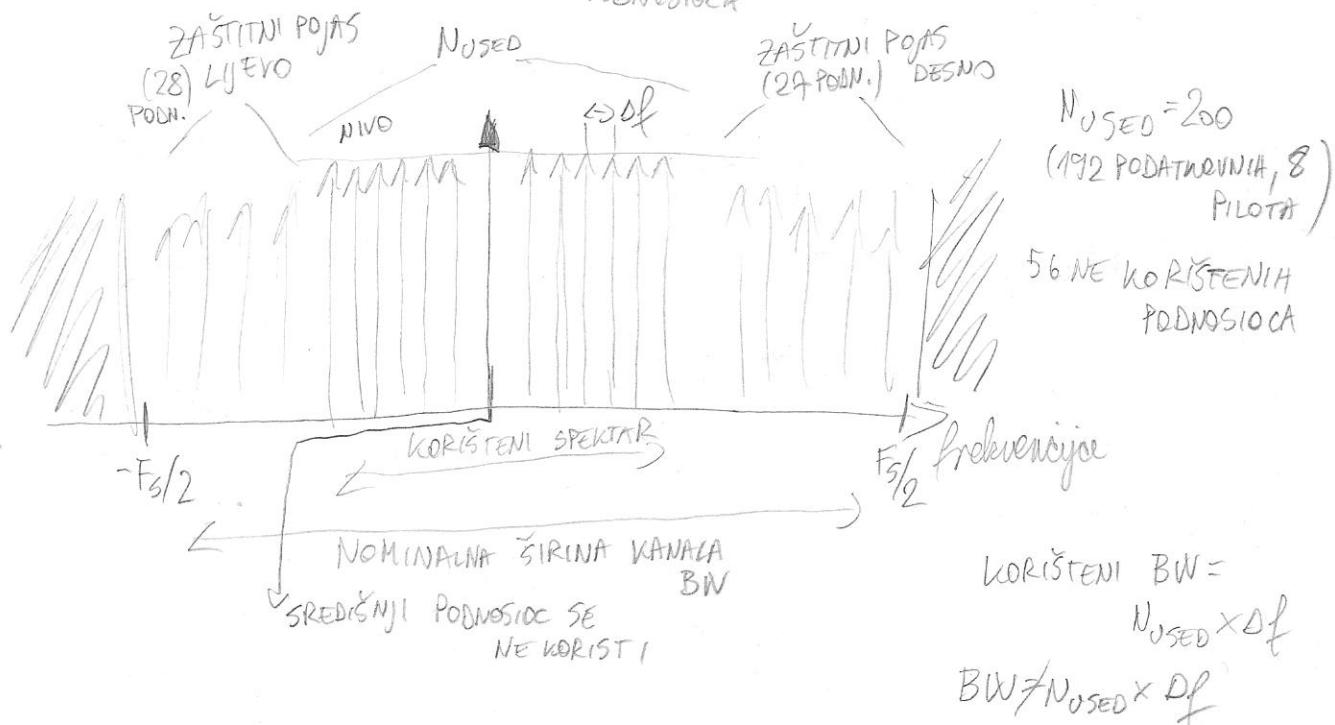
- 802.16-2004) IMA DEFINIRANE SJEĐEĆE OFDM PARAMETRE:
- MOGUĆI MODULACIJSKI POSTUPCI: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- UKUPAN BROJ PODNOSILACA: 256
- BROJ PODATAKOVNIH PODNOSILACA: 192
- ŠIRINA OFDM KANALA: 3,5 MHz (NOMINALNA ŠIRINA KANALA)
- RAZMAK IZMEĐU PODNOSILACA: 15,625 kHz
- VRIJEDSTVU TRAJANJA ZAŠTITNOG INTERVALA I KORISNOG VREMENA SIMBOLA: 1/4, 1/8, 1/16,

1. KOLIKA JE MAKSIMALNA I MINIMALNA BRZINA PRYEWOSA KORISNIČKIH PODATAKA?

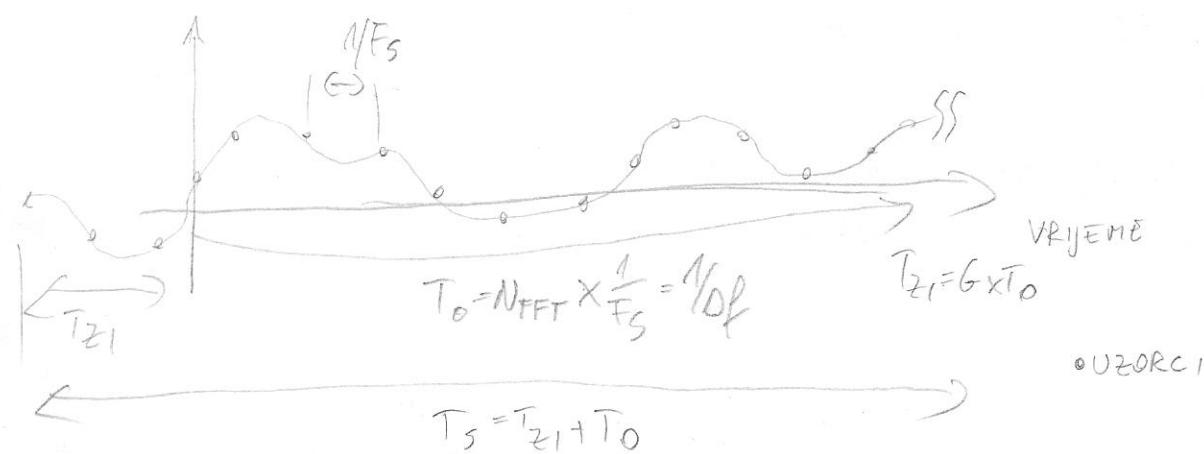
2. KOLIKA JE MAKSIMALNA SPEKTRALNA UČINKOVITOST ZA TAKO DEFINIRANU WiMAX TEHNOLOGIJU? (KODIRANJE JE ZANEMARENO)

1/32.

$$N_{FFT} = 256, \text{UKUPNI BROJ PODNOSILACA}$$



VREMENSKA DOMENA:



Slika je zadatok!

145

1. MAKSIMALNA BRZINA PODATAKA SE DOBJE UZ MINIMALNI T_{21}
 (NAJMANJA REDUNDANCJA), I MAXIMALNU MODULACIJO (SIM VEC A SPEKTRALNA
 VODNOKOVITOST - VEC A BRZINA U ISTOM POJASU, T_0). VISE BITA PO SIMBOLU)

MAKSIMALNA BRZINA: $T_{21} = \frac{1}{32} T_0$; 64-QAM ($N=6$; 6 BITA/SIMBOL)

$$\text{BRZINA "OBICNIH" SIMBOLA (UKUPNO)} \leftarrow R_S = N_{\text{NETTO}} \cdot R_{\text{OFDM}} = 192 \cdot R_S = \frac{192}{T_{\text{OFDM}}}$$

$$T_{\text{OFDM}} = \frac{33}{32} T_0 = T_0 + \underbrace{\frac{1}{32} T_0}_{T_{21}} \Rightarrow R_S = \frac{192 \cdot 32}{33 T_0} = \frac{192 \cdot 32 \cdot Df}{33} \\ = \frac{1}{Df} \quad 15.625 \text{ kHz}$$

$$R_S = 2.4 \text{ Mbit/s}$$

$$R_b = W \cdot R_S = 6 \cdot R_S = 12.455 \text{ Mbit/s}$$

MINIMALNA BRZINA SE DOBJE UZ MAXIMALNI T_{21} , ($T_{21} = \frac{1}{4} T_0$) i

MINIMALNU MODULACIJO (BPSK; $W=1$)

$$R_b = W \cdot R_S = W \cdot 192 \cdot \frac{4}{5 T_0} = 192 \cdot \frac{4}{5} \cdot Df = 2.4 \text{ Mbit/s}$$

$$W_{\text{NETTO}} \quad \frac{1}{T_{\text{OFDM}}} \quad Df = \frac{1}{T_0}$$

2. MAKSIMALNA SPEKTRALNA VODNOKOVITOST SE DOBJE UZ MAXIMALNU BRZINU,
 DOK SE ŠIRINA POJASA UZIMA ONA KOJA JE ZADANA (13.5 MHz), A
 NE KORISNA ŠIRINA POJASA, JER SE UVJEK KAD JE MOGUĆE UZIMA SIM
 REALNIJI SLUČAJ (OSIM AKO JE DRUGOJE ZADANO). A I NAPOMENA NAVODI NA
 $T_0 \dots$

$$\left(\frac{R_b}{B} \right)_{\text{MAX}} = \frac{R_{b,\text{MAX}}}{B} = \frac{12.455}{3.5} = 4.99$$

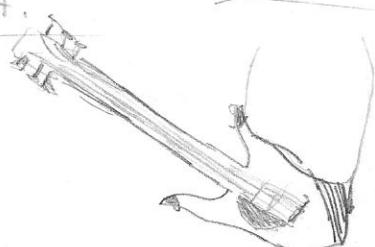


- (4. ZADATAK - ZI-2011/12.) : OPERATOR U GSM-u JE DAO 2 FREKVENCISKA PODRUČJA, 800 MHz DO 842 MHz I 900 MHz DO 912 MHz. UREĐAJ KORISTI FREKVENCIJU OD 803 MHz.
- U KOJEM SMJERU SE KORISTI NAVEDENA FREKVENCija?
 - ODREDITE KOJA SE FREKVENCija KORISTI U DRUGOM SMJERU?
 - KOJI SE MODULACIJSKI POSTUPAK KORISTI U GSM-u?

KORISNIČKI GSM UREĐAJI KORISTE NIŽU FREKVENCiju ZA ODASILJANJE OD BAZnih POSTAJA, JER JE NA NIŽIM FREKVENCijAMA MANje GUŠENje, A UREĐAJI IMaju MANju SNAGU OD BAZNE POSTAJE (PA IM JE I POTREBNIje MANje GUŠENje). SVI OPERATERI (DAVATELji USLUGA) ORGANIZIRAJU FREKVENCJSKO PODRUČje U 2 POJASA, UPLINK (UREĐAJI ŠAGU BAZnim POSTAJAMA), NA NIŽoj FREKVENCiji, TE DOWNLINK (OD BAZnih POSTAJA DO UREĐAJA) KOJI SE NALAZI NA VIŠIM FREKVENCijAMA. I UPLINK I DOWNLINK SU PODIJELjeni NA JEDNAK BROJ KANALA, TE SVAKI KANAL IMA SVOj PAR U DRUGOM POJASU (ORGANIZIRANI SU PARovi UPLINK I DOWNLINK KANALA)

- U ZADATKU SU ZADANA 2 PODRUČJA (POJASA) TE SU OČITO UPLINK \rightarrow 800-842 MHz, A DOWNLINK \rightarrow 900-912 MHz. KAKO SE KORISTI FREKVENCija 803 MHz, ONA SE NALAZI U UPLINKU (ODLAŽNOM SMJERU).
- SVAKA FREKVENCija IMA PAR U DRUGOM POJASU... 803 MHz JE UDAYENO OD POČETKA ZA 3 MHz (803-800). ZNAĆI DA JE NJEN PAR U POJASU 900-912 MHz ISTO UDAYENA OD POČETKA ZA 3 MHz, TE SE U DRUGOM SMJERU (DOLAZNOM) KORISTI FREKVENCija 903 MHz.
- GMSK

- (5. ZADATAK - ZI-2011/12.) : U RADIJANSKOJ LOKALNOJ MREŽI PO NORMI IEEE 802.11g KORISTI SE FREKVencijski MULTIPLEKS ORTOGONALnih PODNOSILACA (OFDM) S 52 POTKANALA OD KOJIH SE 4 KANALA KORISTE ZA PRyENOS PILOTSKIH SIGNALA. ZA POTyENOS PODATAKA BRZINOM OD 48 Mbit/s U SVAKOM SE POTKANALU KORISTI MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM UZ TRAJANje OFDM SIMBOLA OD 4ms TE ZAŠTITNI INTERVAL U NAJUEĆEM PREPORUČENOM IZNOSU. KOJI IFFT-POSTUPAK SE KORISTI ZA DOBIVANje OFDM SIMBOLA (TRAŽI SE BROJ ULAZNIH PODATAKA U IFFT). NACRTAJTE SPEKTAR AMPLITUDNIH PODNOSILACA NA FREKVENCiji $f_0 = 2340 \text{ MHz}$. UZ JASNO NAVEDENE VRIJEĐENOSTI NA OSI APSCISA.



OFDM SIGNAL SE DOBIVA IFFT POSTUPKOM, GOJE SU ULAZNI PODACI U IFFT POSK I LI QAM SIMBOLI KOJI ONDA ODREDUJU AMPLITUDU I FAZU POJEDINOG NOSIOCA, ZBOG SVOJSTVA IFFT POSTUPKA, ULAZNI BROJ PODATAKA (SIMBOCA) MORA BITI POTENCIJA BROJA 2, PA SE REDUNDANTNI BROJ IZLAZA ODBACUJE (KORISTENI IZLAZI SU ROTKANALI U OFDM POSTUPKU). MAXIMALNI PAK PREPORUČENI $T_{Z_1} = T_0/4$.

$$N_{NETTO} = 52 - 4 = 48 \quad ; R_w = 48 \text{ Mbit/s} \quad ; 64\text{-QAM}(w=6) \quad ; T_{OFDM} = 4 \mu\text{s}$$

$$T_{Z_1} = \frac{T_0}{4} \text{ (NAJVEĆI PREPORUČENI).}$$

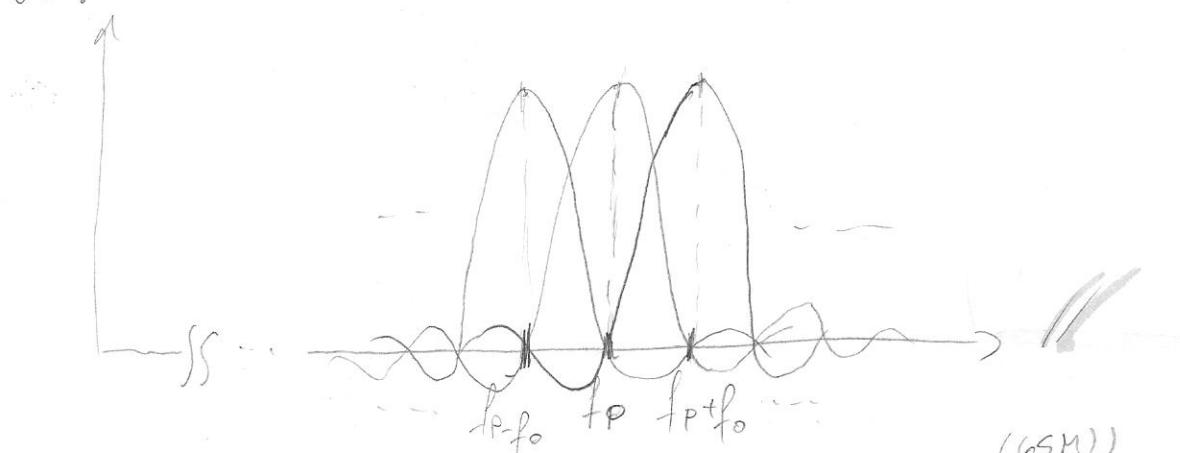
ULAZNI BROJ SIMBOLA U IFFT MORA BITI \geq OD BROJA ROTKANALA (UZ UVJET DA JE TO POTENCIJA BROJA 2):

~~$$\text{ULAZNI BROJ} \geq 48 = 64 \quad ((2^6=64), 2^5=32 \leq 48)$$~~

$$T_{OFDM} = T_0 + T_{Z_1} = T_0 + \frac{1}{4} T_0 = \frac{5}{4} T_0 \Rightarrow T_0 = \frac{4}{5} T_{OFDM} = 3.2 \mu\text{s}$$

$$\Delta f = f_0 = \frac{1}{T_0} = 312.5 \text{ kHz}$$

ZADANI $f_0 = 2340 \text{ MHz} = f_{0,1,2}$. ZADANI $f_{0,1,2}$ NJE VISEKRATNIK f_0 , PA SE NE SHVACA TOČNO ŠTO SE TRAŽI U ZADATKU; NAČE SPEKTAR OFDM SIGNALA JE:



(6. ZADATAK - 21-2011/12): U MOBILnim KOMUNIKACIJAMA KORISTI SE 27

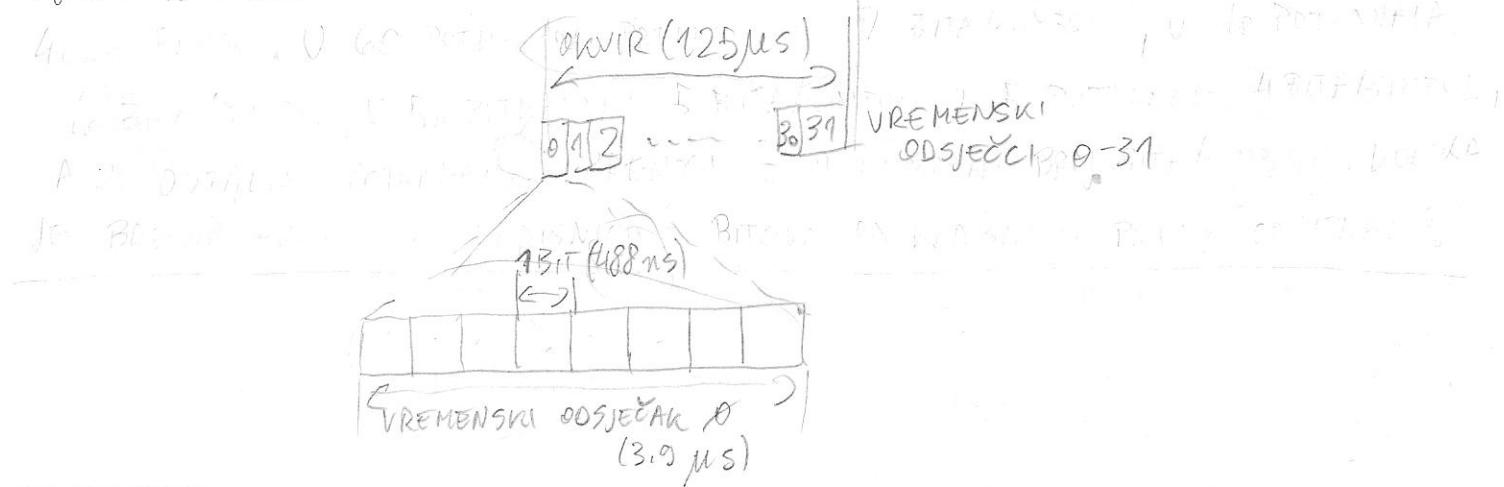
ČELIJA, SVAKA PO 2 KANALA. KOLIKO MAKSIMALNO KORISNIKA MOŽE POZIVATI NA ISTOM PODRUČJU? ŠTO TREBA NAPRAVITI DA SE TAJ BROJ POVEĆA BEZ DA SE MIJENJA BROJ KANALA PO ČELIJI?

KOD GSM-a SE KORISTI TDMA/FDMA MULTIPLEXIRANJE ZA DOJELO VREMENSKEGA I FREKVENCJSKOG PODRUČJA VIŠE KORISNIKA. PRITOM SE KORISTI TDMA S 8 VREMENSKIH DODJEĐAKA, PA JE U JEDNOM FREKVENCJSKOM KANALU ISTOUREMENO MOGUĆE 8 POZIVA

29 ČELIJA × 2 KANALA ČINI UKUPNO 54 KANALA. NO BROJ ISTOVREMENIH POZIVA JE $54 \cdot 8 = 432$ JER SE KORISTI TDMA S 8 ODSJEĆAUA (8 ISTOVREMENIH KORISNIKA PO KANALU).

DA SE POVEĆA TAJ BROJ, BEZ MIJENJANJA BROJA KANALA PO ČELIJI, NUŽNO JE DA SE POVEĆA BROJ ČELIJA UZ SHANJENJE RADIUSA POKRIVANJA POJEDINE ČELIJE.

(16. ZADATAK - 21-2011/12.) NA SUCI JE PRIKAZANA GRADA (O. EUROPSKOJ PDT HYERARCHY), TREBA ODREDITI BRZINU (PRIMARNU) EKI PRYENOSA!



I BET POZNAVANJA TEORIJE, AKO JE $T_a = 488 \text{ ns}$, ONDA JE R_a (PRIMARNA BRZINA)

$$R_a = \frac{1}{T_a} = 2.05 \text{ Mbit/s}$$

(4. LABOS - 4.2.1. ZADATAK): U RADIOSKOJ LOKALNEJ MREŽI PO NORMI

IEEE 802.11g KORISTI SE MODULACIJSKI POSTUPAK OFDM S 54 POTKANALA OD KOJIH SE 4 POTKANALA KORISTE ZA PRYENOS PILOTSKIH SIGNALA. ZA PRYENOS PODATAKA BRZINOM OD 54 Mbit/s U SVAKOM SE POTKANALU KORISTI MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM. ODREDITI:

a) BRZINU PRYENOSA OFDM-SIMBOLA U BAUDIMA.

b) koji IFFT POSTUPAK SE KORISTI ZA DOBIVANJE OFDM-SIMBOLA (TRAŽI SE ULAZNI BROJ PODATAKA U IFFT)?

c) POKAŽITE KAKO SE NA TEMELJU PODATAKA O UKUPNOM TRAJANJU OFDM SIMBOLA OD 5µs, U KOJEM JE UKLJUČENO TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA U NJUEĆEM PREPORUČENOM IZNOSU, MOže DOBITI POTREBNI RAZMAK PODNOSILACA NA FREKVENCJSKOJ OSI.

a) OFDM SIMBOL SE SASTOJI OD SIMBOLA SVIH POTKANALA?

$$N_{NETTO} = 54 - 4 = 50 \text{ (KORISNI POTKANALI)}, ^{64} QAM \Rightarrow W = 6 \quad (2^6 = 64)$$

$$R_e = 54 \text{ Mbit/s}$$

$$R_s = \frac{R_e}{W} = \frac{54}{6} \text{ MBd} = 9 \text{ MBd}$$

JEZ 1 SIMBOL (OFDM) = 50 SIMBOLA,
OBICNIH
(50 POTKANALA)

$$R_{OFDM} = \frac{R_s}{N_{NETTO}} = 0.18 \text{ MBd}$$

b) ULAZNI BROJ MORA BITI POTENCIJA BROJA 2 I VEĆI OD
(ILI JESENAK) BROJA
POTKANALA

$$\text{BROJ} \geq 54$$

$$\text{BROJ} = 64 \quad (32 \text{ JE PREMALO})$$



c) NAJVEĆI PREPORUČENI IZNOS JE $T_{Z1} = \frac{T_0}{4}$

$$T_{OFDM} = T_{Z1} + T_0 = \frac{5}{4} T_0 = 5 \mu s \quad (\text{ZADANO})$$

$$\Delta f = \frac{1}{T_0}, \quad T_0 = \frac{4}{5} \cdot T_{OFDM} = 4 \mu s$$

$$\Delta f = 0.25 \text{ MHz}$$

(4. LABOS-ZADATAK 4.2.2.): U SUSTAVU ZA RADIOFOZJU DIGITALNOG VIDEOSIGNALA (DVB-T2) U KOJEM JE ŠIRINA KANALA 8 MHz KORISTI SE OFDM POSTUPAK S 13633 POTKANALA. TRAJANJE SIMBOLA MODULIRANOG SIGNALA U POTKANALU IZNOSI $T_0 = 1792 \mu s$. UKOLIKO SE ZA MODULACIJU PODNOSILACA KORISTI MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM, A TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA IZNOSI

$T_{Z1} = \frac{19}{256} T_0$, ODREDITI: a) koji seIFFT-POSTUPAK KERISTI ZA DOBLJAVANJE OFDM SIMBOLA (TRAŽI SE BROJ ULAZNIH PODATAKA U IFFT)?

b) KOLIKO JE TRAJANJE OFDM SIMBOLA? c) KOLIKO JE UKUPNA BRZINA PRJENOSA BITA? d) KOLIKO JE SPEKTRALNA VJEINKOVITOST?

e) KOLIKA JE SPEKTRALNA VJEINKOVITOST UKOLIKO SE TRAJANJE ZAŠTITNOG

INTERVALA $T_{Z1} = \frac{19}{256} T_0$ PROMYENI U $T_{Z1} = \frac{T_0}{32}$?

f) KOLIKA JE SPEKTRALNA VJEINKOVITOST UKOLIKO SE MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM ZAMJENI MODULACIJSKIM POSTUPKOM 256-QAM

$(T_{Z1} = \frac{19 T_0}{256})?$

a) $2^{14} = 16384 \rightarrow$ BROJ UZAZNIH PODATAKA = $16384 (16384 \geq 13633)$

$$2^{13} = 8192$$

b) $T_{OFDM} = T_o + T_{\text{ZI}} = \frac{256 \cdot 19}{256} T_o = 1925 \mu\text{s}$

c) 64-QAM $\rightarrow W = 6$

$$R_e = \frac{W \cdot R_{OFDM} \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = \frac{W \cdot N_{NETTO} \cdot \frac{1}{T_{OFDM}}}{T_{OFDM}} = 42.49 \text{ Mbit/s}$$

A3633
BROJ PRENESENIH 'OBICNIH' SIMBOLA V SEKUNDI

d) ZA 'B' UZIMAMO 8 MHz (ZADANI PODATAK) \rightarrow REALAN SLUČAJ (A NE IDEALNI, KOJI JE Df. N_{NETTO})

$$\frac{R_b}{B} = 5.311 \text{ bit/s/Hz}$$

e) T_{OFDM} SE MIJENJA, PA SE MIJENJA I R_e , DON JE 'B' ISTI:

$$T_{OFDM} = \frac{33}{32} T_o = 1868 \mu\text{s}$$

$$R_e = \frac{W \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 44.26 \text{ Mbit/s}$$

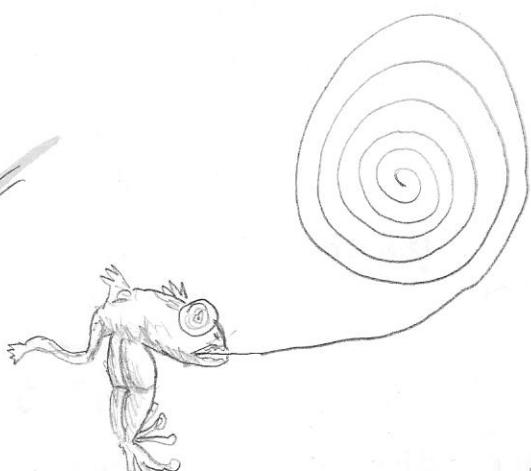
$$S.V. = \frac{R_b}{B} = 5.53 \text{ bit/s/Hz}$$

f) OVAJ PUT SE MIJENJA MOD. POSTUPAK $\Rightarrow W = 8 (2^8 = 256)$:

$$T_{OFDM} = 1925 \mu\text{s}, W = 8$$

$$R_b = \frac{W \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 56.66 \text{ Mbit/s}$$

$$S.V. = \frac{R_b}{B} = 7.082 \text{ bit/s/Hz}$$

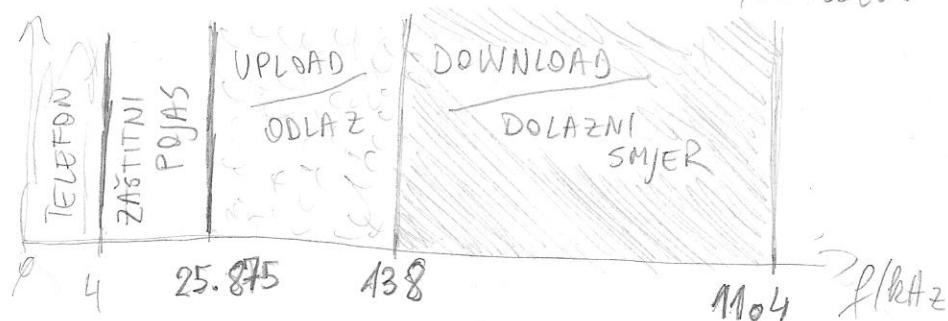


(5. LABOS - 5.2.1. ZADATAK) a) IZRAČUNAJTE OMJER IZMEĐU NAJVĒĆIH TEORIJSKIH
BRZINA PRJENOSA KORISNIČKA BITOVA U DOLAZNOM I ODLAZNOM SMJERU KOD G.DMT
VERZIJE ADSL-a. KOLIKE SU TE TEORIJSKE BRZINE PRJENOSA? NAPOMENA: PO
JEDAN KANAL ZA SVAKI SMJER PRJENOSA PODATAKA KORISTI SE ZA UPRAVYANJE
(POT)

(NE PRENOŠI KORISNIČKE BITOVE).

b) (ISTI KAO 9. ZADATAK NA 21-2011/12): ZBOG KARAKTERISTIKE KANALA NJE MOGUĆE
OSTVARITI MAKSIMALNU BRZINU PRJENOSA PODATAKA U DOLAZNOM SMJERU VEĆ SE
PODACI PRENOSE NA SLJedeći način: u 10 POTKANALA PRENOSI SE
10 BITA/SIMBOL, u 60 POTKANALA PRENOSI SE 78 BITA/SIMBOL, u 50
POTKANALA PRENOSI SE 6 BITA/SIMBOL, u 5 POTKANALA PRENOSI SE
4 BITOVA/SIMBOLU i u ostalim potkanalima prenosi se maksimalni
broj bitova/simbola. Kolika je sada ostvarena brzina prjenosa
korisničkih bitova u dolaznom smjeru?

kod G.DMT verzije ADSL-a, širina jednog potkanala je 4312.5 Hz.
Nije frekvencije se zbođ manjeg gošema koriste za slanje (korisnik), dok
se više frekv. koriste za primanje podataka (korisnik). Koristi se QPSK,
s 4000 Bd po potkanalu, te M-QAM postupak s 8-15 bita/simbolu.
FREKVENCJSKO PODRUČJE?



a) FREKVENCJSKA PODRUČJA SU: $B_{\text{DOWNLOAD}} = 1104 - 138 = 966 \text{ kHz}$

$$B_{\text{UPLOAD}} = 138 - 25.845 = 112.125 \text{ kHz}$$

Broj korištenih kanala po smjeru računamo iz frekvencjskog područja
(djeljenjem sa širinom jednog potkanala): (uz oduzimanje 1 kanala za
upravljanje, vidj napomenu o zadatku)

$$N_{\text{DOWNLOAD}} = \frac{966 \cdot 10^3}{4312.5} - 1 = 223; N_{\text{UPLOAD}} = \frac{112.125}{4312.5 \text{ Hz}} - 1 = 25$$

BRZINE PRJENOSA BITA RAČUNAMO IZ BROJA POTKANALA, BRZINA (4000 Bd) i BROJA BITA/SIMBOL (MAXIMALNO JE 15, A ITRAŽI SE NAJVĒĆA BRZINA...): $R_{b, \text{DOWNLOAD}} = W \cdot N_{\text{DOWNLOAD}} \cdot 4000 \text{ Bd} =$
 $N_{\text{DOWNLOAD}} \cdot W \cdot \text{BRZINA} / \text{POTKANALA}$
 $= 13.38 \text{ Mbit/s}$ $R_{b, \text{UPLOAD}} = 25 \cdot 15 \cdot 4000 = 1.5 \text{ Mbit/s}$

OMJER BRZINA JE $R_{b, \text{DOWNLOAD}} / R_{b, \text{UPLOAD}} = 8.92$

l) 12 a) DYEZA ZNAMO DA JE BROJ KANALA = 223 (DOWNLOAD), NA ISPITIMA BUDA SAMO b) DIO, PA SE BROJEVI KANALA TREBAJU NAVODITI NAPAMET  (223)

1_0 KANALA $\rightarrow 1_0$ bit/SIMBOL

$6_0 \cdot 1_1 - \rightarrow 7 \cdot 1_1 -$

$5_0 \cdot 1_1 - \rightarrow 5 \cdot 1_1 -$

$5 \cdot 1_1 - \rightarrow 4 \cdot 1_1 -$

$$OSTACI = 223 - 1_0 - 6_0 - 5_0 - 5 = 98 \rightarrow MAXIMALNO = 15 \text{ bit/SIMBOL}$$

BRZINA PRYENOSA BITA U CYELOM DOWNLOADU DOBJE SE MNOZENjem

BRZINE SIMBOLA PO KANALU (4000) S BROJEM KANALA I NJIHOVIM

PRIPADnim BROJEVIMA BITA/SIMBOL?

$$R_{B, \text{DOWNLOAD}} = 4000 \left(1_0 \cdot 1_0 + 6_0 \cdot 7 + 5_0 \cdot 5 + 5 \cdot 4 + 98 \cdot 15 \right)$$

↓ ↓ ↓
 1 POTKANAL BROJ PRIPADNI BROJ
 (BRZINA) SIMBOLA PO KANALA BITA/SIMBOL

$$R_{B, \text{DOWNLOAD}} = 9.04 \text{ Mbit/s}$$

(15. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): kolika je ukupna brzina prjenosa QFDM sustava s 6817 podnosiaca moduliranih QPSK modulacijskim postupkom uz trajanje zaštitnog intervala $T_{Z1} = T_0/4$ i $T_0 = 896 \mu s$? koliki je broj ulaznih podataka u postupak FFT?

$$QPSK \rightarrow W = 2 \quad (2^2 = 4) \quad N_{NETTO} = 6817 \rightarrow \text{KORISNI POTKANALI}$$

$$T_{OFDM} = \frac{5}{4} T_0 = 1120 \mu s$$

$$R_B = W \cdot R_S = W \cdot N_{NETTO} \cdot R_{OFDM} = 12.17 \text{ Mbit/s}$$

PREPOSTAVLJA SE
 DA JE TRAZENA BRZINA
 PRYENOSA BITA

↓ ↓
 1/T_{OFDM}

$$\text{BROJ ULAZNIH } 6817; 2^{12} = 4096$$

$$2^{13} = 8192 \Rightarrow 8192 \geq 6817$$

$$\text{BROJ ULAZA} = 8192$$

(27. ZADATAK - ŽIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): U JEONOM GROZDU GSM MREŽE POTREBNO JE DMO GOĆITI 400 ISTOVREMENIH POZIVA. AKO SE GROZD SASTOJI OD 6 ĆELJA I U NJIMA NJE MOGUĆE PONAVLJANJE FREKVENCija, POTREBNO JE ODREDITI KOLIKO MINIMALNO FREKVENCijskih KANALA MORA BITI NA RASPOLAGANju U TOM GROZDU!

GSM KORISTI TDMA S 8 VREMENSkih ODSJEĆAKA, PA JE NACIONALNOj FREKVENCiji MOGUĆE IMATI 8 ISTODOBNIH POZIVA...
NJE MOGUĆE PONAVLJANje, NO UKUPNI BROJ FREKVENCijskih KANALA

$$\frac{400}{6} = 66.67 \text{ POZIVA PO ĆELJI} \Rightarrow \frac{66.67}{8} = 8.33 \text{ FREKVENCija PO ĆELJI}$$

ZADURUZENO NA
VEĆE 9
(DA Bude ZADOVOLJE NO
MINIMALNO
400
POZIVA)

Broj kanala frekvencija = $\frac{9}{8} = 1.125$
(1.125)(UKOLIKO SE POD "NE PONAVLJANjem" SMATRA
"NE PONAVLJANE UNUTAR JEDNE ĆELJE, TA NE U GROZDU")

(29. ZADATAK - ŽIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): NA SLICI JE PRIKAZANA GRAFA OKVIRA PODATAKA U AMERIČkoj PDA HIJERARHIJI ZA PRIMARNU BRZINU PRYJENOSA (T_1). NA TEMELJU SLIKE IZ RAČUNAJTE PRIMARNU BRZINU PRYJENOSA.



24 ODSJEĆKA PO 8 BITOVA + 1 BIT ZA SINKRONIZACIJU OKVIRA

$$24 \cdot 8 + 1 = 193 \text{ BITA / OKVIR}$$

$$R_a = \frac{193 \text{ BITA}}{\text{OKVIR}} = \frac{193}{125 \mu\text{s}} = 1.544 \text{ Mbit/s}$$

(16. ZADATAK - ŽIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): KOLIKA JE VJEROJATNOST POGREŠKE BITA AKO SE KOD KORIŠTENJA IDEALNOG QPSK MODULACIJSKOG POSTUPKA PRI BRZINI PRYJENOSA PODATAKA OD 1,2 Mbit/s UNUTAR JEDNOG SATA POGREŠNO PRENESE 19440 BITA?

BIT ERROR RATE (BER) JE OMJER POGREŠNO PRENESENIH BITA UROZ UKUPNI BROJ BITA. U DIGITALnim KOMUNIKACIJAMA, ON OZNAČAVA VJEROJATNOST POGREŠKE (I MJERI SE), IDEALNO SE UZIMA OD VRIJEME PROMATRANJA.

$R_b = 1,2 \text{ Mbit/s} \Rightarrow$ UKUPNI BROJ POSLANCH BITA U JEDNOM SATU JE:

$$10^6 \cdot 1,2 \cdot 60 \cdot 60 = 4320 \cdot 10^6$$

R_b ↓ ↓
 60 MINUTA 60 SEKUNDI
 U U
 SATU MINUTI

$$\text{BER} = \frac{19440}{4320 \cdot 10^6} = 4,5 \cdot 10^{-6}$$



(1. ZADATAK - LJETNI ISPITNI ROK - 2012/13): KOLIKA JE FREKVENCija KANALA UZLAZNE VEZE KOD GSM KOMUNIKACIJE Ako je FREKVENCija KANALA SILAZNE VEZE 940 MHz, a DOPLEKSNI RAZMAK 45 MHz?

DOPLEKSNI RAZMAK JE RAZMAK MEĐU POJEDINIM KANACIMA UZLAZNE I SILAZNE VEZE (FREKVENCija), SILAZNA VEZA JE NA VIŠoj FREKVENCiji (f_{DOWNLINK} > f_{UPLINK}) (RADI MANjEG GUšenja):

$$f_U = f_D + f_{\text{DUPLEX}} = 940 - 45 \text{ MHz} = 895 \text{ MHz}$$

(8. ZADATAK - JESENSKI ISPITNI ROK 2012/13): OFDM POSTUPNOM UZ 6817

PODNOsILACA PRENOSE SE PODACI, OD TOGA 701 JE PILOTSKIH, A 51 SINKRONIZ. PODNOsILACA. KORISNI PODNOsIOCI SO MODULIRANI QPSK POSTUPNOM, A PILOTSKI I SINKRONIZACIJSKI SA BPSK POSTUPNOM. KOLIKO BITOVA IMA U JEDNOM OFDM SIMBOLU I KOLIKA JE UKUPNA NETTO I BRUTO BRZINA?

$$\text{BROJ BITOVA JE: } 701 \cdot 1 + 51 \cdot 1 + (6817 - 701 - 51) \cdot 2 = 12882 \text{ BITA}$$

\downarrow \downarrow \downarrow
 BROJ PILOTSKIH SINKRO KORISNI BIT/SIMBOL
 SIMBOL

OFDM SIMBOL ČINE SIMBOLI POTKANALA koji SE SASTOJE OD ODREĐENOG BROJA BITA, OVISNO O TOME koji SE MODULACIJSKI POSTUPAK U KOJEM PODKANACU KORISTI (U JEDNOSTAVNIJEM SLUČAJU SVI JE KORISTITI ISTI).

ZA RAČUNANJE NETTO & BRUTO BRZINE FALI NAM još PODATAKA (T_0),
 - NO KAD BI ~~IMALI~~ ~~R_{NETTO}~~ BLIZRAČUNALI IZ T_0 (BEZ T_{Z1}), I UZIMACI
 SAMO KORISNE PODNOŠIOCE, DOK BI ZA R_b , BRUTO UZIMALI T_{Z1} U
 RĀCUN, KAO I REDUNDANTNE PODNOŠIOCE.

(2.ZADATAK-2.MI-2008/09): ODREDITI FREKVENCJSKI RAZMAK PODNOŠILACA
 OFDM-SUSTAVA S 24 POTKANALA. UKUPNO TRAJANJE OFDM-SIMBOLA JE $10\mu s$, A
 TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA ODABRANO JE U IZNOSU OD $2\mu s$.

$$T_{OFDM} = 10\mu s = T_0 + T_{Z1} \Rightarrow T_0 = 8\mu s$$

$\underbrace{}_{2\mu s}$

$$\Delta f = \frac{1}{T_0} = 125 \text{ kHz}$$

(3.ZADATAK-21-2007/08): UZ BER = 10^{-5} I BRZINU PRYENOSA OD 10 kbit/s ,
 ODREDITI BROJ POGREŠAKA U JEDNOM SATU!

$$BER = \frac{\text{BROJ POGREŠNO POSLANYH BITA}}{\text{UKUPNI BROJ BITA}}$$

$$\begin{aligned} &\rightarrow 3600 \cdot 10^6 \text{ bit} \\ &\text{SAT} = 3600 \text{ SEKUNDI} \end{aligned}$$

BITA U SEKUNDI

$$\text{BROJ POGREŠAKA} = BER \cdot 3600 \cdot 10^6 = 360$$

$\underbrace{}_{10^{-5}}$

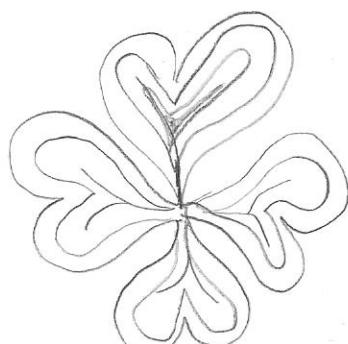
(4.ZADATAK-21-2007/08): OFDM POSTUPKOM S 24 POTKANALA KOJI SU MODULIRANI
 8-PSK MODULACIJOM PRENOSE SE PODACI UZ TRAJANJE OFDM SIMBOLA OD 10^{-6} s .
 ODREDITI BRZINU PRYENOSA BITA U TOM SUSTAVU!

$$R_s = R_{OFDM} \cdot N_{NETTO}$$

\downarrow
 $\frac{1}{T_{OFDM}}$

24 POTKANALA

$$\begin{aligned} R_a &= N \cdot R_s = \frac{N \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 72 \text{ Mbit/s} \\ &= 3(2^3 = 8; \text{ JER JE } 8\text{-PSK}) \end{aligned}$$



(10. ZADATAK - 21-2008/08) : OFDM POSTUPKOM S 48 PODNOSILOCA I QPSK
MODULACIJOM PODNOSILOCA TRAŽI SE BROJ UČASNICA PODATAKA U IFFT-ALGORITMU!

$$2^5 = 32 < 48$$

2^6 = 64 > 48 \ (POTENCIJA BROJA 2 MORA BITI ...)

BROJ ULAZA JE : 64

(6. ZADATAK - 21-2008/09) : POTREBNO JE ODREDITI SPEKTRALNU ŽEĆINKOVITOST OFDM POSTUPKA S TRAJANjem SIMBOALA $\frac{1}{1120\mu s}$, 6817 PODNOSILOCA MODULIRANIH 16-QAM MODULACIJOM. ŽIRINA POJASA NA RASPOLAGANJU JE 8 MHz.

$$R_s = N_{NETTO} \cdot \frac{1}{T_{OFDM}} \Rightarrow R_a = W \cdot R_s = \frac{4^6 N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 24,346 \text{ Mbit/s}$$

6817

$4(2^4:16, 16\text{-QAM})$

$$S.O. = \frac{R_a}{B} = 3.04 \text{ bit/s/Hz}$$

8MHz ("BRUTO" ŽIRINA POJASA)

Good job vodo!