OPASKE & FORMULE

ZBIRKA ZADATAKA SADRŽI SVE ZADATKE KOJI SU SE POJAVLJIVALI NA ISPITIMA/AUDITORNIM I LABOSIMA TE IZ NEKIH ZBIRKI ZADATAKA, I TO DO GENERACIJE 2013/2014. TEORIJSKI ZADACI NISU RJEŠAVANI. POKUŠAO JE DATI NAGLASAK NA OBJAŠNJENJIMA TE TOČNOSTI (ZADACI SU PROVERAVANI I TREBAJU ZI BITI 100% TOČNI). HVALA SVIM LJUDIMA KOJI SU ZADATKE PRENIJELI MLAĐIM GENERACIJAMA, BEZ ČEGA ZBIRKE NE BI BILO... :)

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

1. CJELINA

$R_b = f_{uz} \times n \left[\frac{bit}{s}\right]$ → BRZINA PRIJENOSA BITA JE UMNOŽAK FREKVENCIJE UZORKOVANJA (f_{uz}) I BROJA BITA DOBIJENA SVAKOM UZORKU (n)

$T_b = \frac{1}{R_b} [s]$ → TRAJANJE BITA JE RECIPROČNO BRZINI PRIJENOSA BITA

$R_S = \frac{R_b}{W} [Bd]$ → BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA DOBI SE DIJELJENJEM BRZINE PRIJENOSA BITA (R_b) S BROJEM BITA PRIDIJELJENIH POJEDINOM SIMBOLU (W) $T_S = \frac{1}{R_S}$

$B = B_N(1+\alpha) [Hz]$ → FREKVENCIJSKA ŠIRINA POJASA (B) DOBIVA SE PROŠIRENJEM IDEALNE, NYQUISTOVE ŠIRINE (B_N) S FAKTOROM ZAOBLJENJA (α)

$B_N = \frac{R_S}{2} [Hz]$ → ŠIRINA NYQUISTOVOG IDEALNOG FILTRA (B_N) JEDNAKA JE POLOVICI BRZINE PRIJENOSA SIMBOLA

$f_{MAX}(\text{KORISNI SIGNAL}) = \frac{f_{UZ}}{2} [Hz]$ → FREKVENCIJA UZORKOVANJA (f_{UZ}) MORA BITI DUPLO VEĆA OD NAJVEĆE FREKVENCIJE SIGNALA (f_{MAX})

$S.U. = \frac{R_b}{B} [bit/s/Hz]$ → SPEKTRALNA UČINKOVITOST (S.U.) DOBI SE DIJELJENJEM BRZINE PRIJENOSA BITA (R_b) SA ŠIRINOM POJASA (B)

$A|_{dB}$ ILI $G|_{dB} = 10 \log \frac{P_{IZL}}{P_{UL}} = 20 \log \frac{U_{IZL}}{U_{UL}} [dB]$ → POJAČANJE (A ILI G) (U dB) JE LOGARITAMSKI OMJER SNAGA ILI NAPONA NA IZLAZU I ULAZU

$L|_{dB} = 10 \log \frac{P_{UL}}{P_{IZL}} = 20 \log \frac{U_{UL}}{U_{IZL}} [dB]$ → GUŠENJE U DECIBELIMA (L) JE LOGARITAMSKI OMJER NAPONA/SNAGA NA ULAZU I IZLAZU

$[dBW] \rightarrow 10 \log \frac{P}{1W}$ | $[dBm] \rightarrow 10 \log \frac{P}{1mW}$ → DECIBEL NAD WATTOM I MILIVATOM

$N_0 = kT$ [Ws] → GUSTOĆA SNAGE TERMIČKOG ŠUMA (N_0), k → BOLTZMANNOVA KONSTANTA ($1.38 \cdot 10^{-23}$)
T → TEMPERATURA U KELVINIMA

$N = kTB$ [W] → SNAGA TERMIČKOG ŠUMA (N), k → BOLTZMANN; T → TEMPERATURA, KELVINI
B → FREKVENCIJSKA ŠIRINA POJASA

$C = 2BW$ [bit/s] → KAPACITET KANALA (C) (NYQUIST); B → ŠIRINA FREKVENCIJSKOG POJASA
W → LOGARITAM BROJA NAPONSKIH RAZINA KOJE SIGNAL MOŽE POPRIMITI

$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$ [bit/s] → KAPACITET KANALA (C); SHANNONOVA FORMULA, B → ŠIRINA F. POJASA
$\frac{S}{N}$ → OMJER SIGNALA I ŠUMA U APSOLUTNOM IZNOSU (NE dB!)

$C = E_b \cdot R_b$ [W] → SNAGA DIGITALNOG SIGNALA (C) JE UMNOŽAK ENERGIJE BITA (E_b) I BRZINE PRIJENOSA BITA (R_b)

$L = 10 \left[\log \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2\right]$ [dB] → GUŠENJE U DECIBELIMA U SLOBODNOM PROSTORU (L);
d → UDALJENOST; λ → VALNA DULJINA

$\lambda = \frac{c}{f}$ [m] → VALNA DULJINA EM-VALA; c → BRZINA SVJETLOSTI ($3 \cdot 10^8$ m/s);
f → FREKVENCIJA

2. CJELINA

$m_{AM} = \frac{U_M}{U_P}$ → INDEKS MODULACIJE (AM SIGNAL) m_{AM} JE BROJ, U_M → AMPLITUDA MODULACIJSKOG SIGNALA, U_P → PRIJENOSNI SIGNAL

$U_{MAX} = U_P(1 + m_{AM})$
$U_{MIN} = U_P(1 - m_{AM})$
[V] → MAKSIMALNA (U_{MAX}) I MINIMALNA (U_{MIN}) VRIJEDNOST AM-SIGNALA;
m_{AM} → INDEX MODULACIJE; U_P → PRIJENOSNI SIGNAL

$U_P = \frac{U_{MIN} + U_{MAX}}{2}$ [V] → PRIJENOSNI SIGNAL (U_P); U_{MIN} & U_{MAX} → MINIMALNA & MAKSIMALNA VRIJEDNOST AMPLITUDNO MODULIRANOG (AM) SIGNALA

$P_P = \frac{U_P^2}{2R}$ [W] → SNAGA PRIJENOSNOG SIGNALA KOD AM-MODULACIJE, I INAČE (P_P)
U_P - NAPON PRIJ. SIG.; R → OTPOR [Ω]

$P_M = P_P \left(\frac{m_{AM}^2}{2}\right)$ [W] → SNAGA UKUPNOG MODULACIJSKOG SIGNALA, AM (P_M); P_P - SNAGA PRIJENOSNOG
m_{AM} → INDEX MODULACIJE

$P_{AM} = P_P \left(1 + \frac{m_{AM1}^2}{2} + \frac{m_{AM2}^2}{2} + \dots\right)$ [W] → SNAGA, UKUPNA, AM SIGNALA (P_{AM}); P_P → PRIJENOSNI
m_{AM1}, m_{AM2} → INDEXI MODULACIJE MODULACIJSKIH S. (KOLIKO IH VEĆ IMA)

$V_{BL} = V_{BD} = V_P \frac{m_{AM}}{2}$ [V] → NAPONI LIJEVE (V_{BL}) I DESNE BOČNE KOMPONENTE (V_{BD});
V_P → PRIJENOSNI; m_{AM} → INDEX MODULACIJE, AM

$P_{FM} = P_p = \frac{V_{FM}^2}{2R}$ [W] -> SNAGA FM I PM SIGNALA (P_{FM}); P_p -> PRIJENOSNA SNAGA
R -> OTPOR; V_{FM} -> NAPON

$B = 2(f_M + \Delta f)$ [Hz] -> CARSONOVO PRAVILO; FREKVENCIJSKA ŠIRINA POJASA FM (PM) SIGNALA (B)
f_M -> FREKVENCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA; Δf -> DEVIJACIJA FREKVENC.

$m_{FM} = \frac{\Delta\omega_{FM}}{\omega_M} = \Delta\phi_{FM}$ -> INDEX MODULACIJE FM/PM SIGNALA; $\Delta\omega_{FM}$ -> DEVIJACIJA F.;
ω_M -> MODULACIJSKA FREKVENCIJA; $\Delta\phi_{FM}$ -> DEVIJACIJA FAZE

3. CJELINA

f_0 f_1

$f_1 = f_p + \Delta f$
$f_0 = f_p - \Delta f$ [Hz] -> KOD BFSK, FREKVENCIJE ZNAKA (PRIDRUŽENE) "0" I "1";
f_p -> PRIJENOSNA FREKVENCIJA; Δf -> DEVIJACIJA FREKVENCIJE

$f_1 - f_0 = 2\Delta f$ [Hz] -> RAZMAK FREKVENCIJA ZA ZNAK "1" I "0" KOD BFSK;
Δf -> DEVIJACIJA FREKVENCIJE

$f_p = \frac{f_1 + f_0}{2}$ [Hz] -> FREKVENCIJA PRIJENOSNOG SIGNALA NA ARITMETIČKOJ JE SREDINI ZNAKA (FREKVENCIJI PRIDRUŽENOJ ZNAKU) "1" I "0"

$m_{FSK} = 2\Delta f T_s$ -> INDEX MODULACIJE FSK SIGNALA; Δf -> DEVIJACIJA FREKVENCIJE;
T_s -> TRAJANJE SIMBOLA

$B_{FSK} = 2\left(\Delta f + \frac{1}{2T_b}\right)$ [Hz] -> CARSONOVO PRAVILO, ŠIRINA ZAUZETOG FREKV. POJASA;
Δf -> DEVIJACIJA F.; T_b -> TRAJANJE BITA

$B_N = R_s$ [Hz] -> KOD PSK & QAM POSTUPAKA NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA (B_N) JEDNAKA JE BRZINI PRIJENOSA SIMBOLA (R_s)

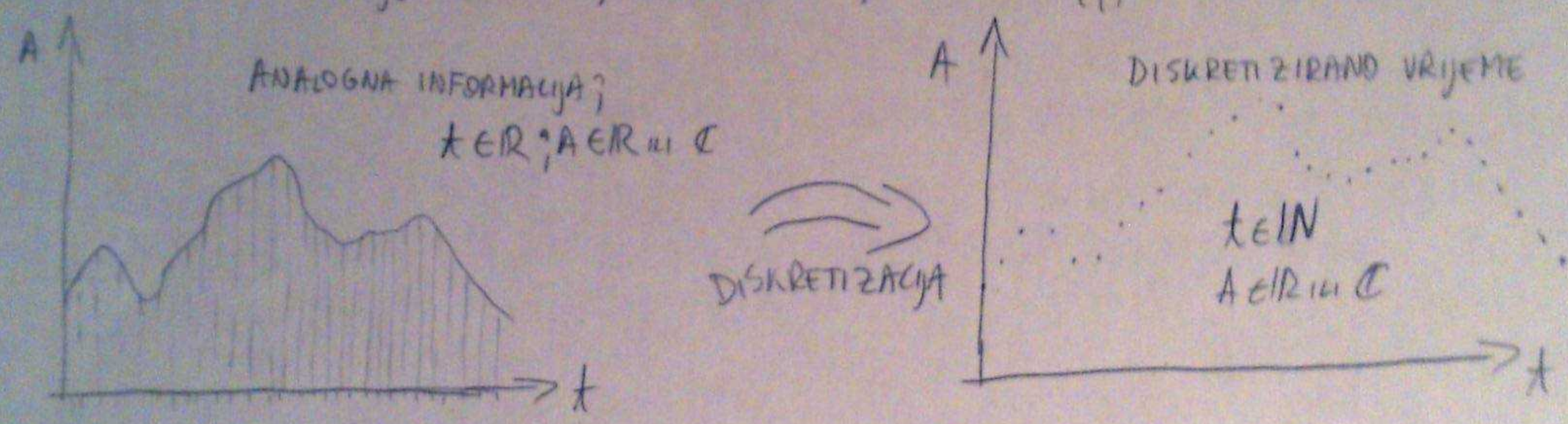
$P_{Eb} = \frac{1}{2} e^{-E_b/N_0}$ -> VJEROJATNOST GREŠKE BITA KOD DE-BPSK POSTUPKA (P_{Eb});
E_b -> ENERGIJA BITA; N_0 -> GUSTOĆA SNAGE ŠUMA

$f_1 = f_p + \frac{1}{4T_b}$ $f_0 = f_p - \frac{1}{4T_b}$ -> FREKVENCIJE ZNAKA "1" I "0" KOD MSK (f_1, f_0); T_b -> TRAJANJE BITA (VIŠEKRATNIK $\frac{1}{2T_b}$)

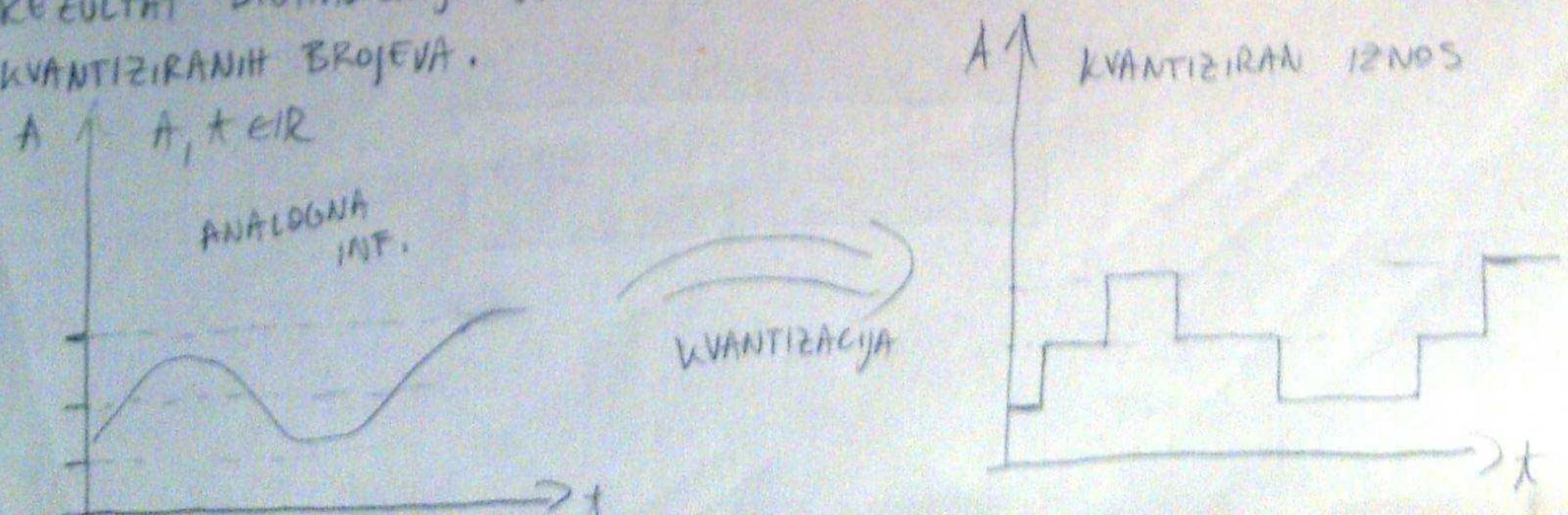
1 - 1. AUDITORNE, 1. ZADATAK: Europski prijenosni sustav E1 sastoji se od 32 kanala digitaliziranog govora, svaki po 64 kbit/s (uzorci 8 khz x 8 bita = 64 kbit/s). Potrebno je odrediti:

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 POŠTUJE NYQUISTOVO PRAVILO KOJE KAŽE DA ZA ISPRAVNU REKONSTRUKCIJU DIGITALNE INFORMACIJE f_{UZ} MORA BITI BAREM DVOSTRUKO VEĆA OD MAXIMALNE FREKVENCIJE IZVORNOG SIGNALA (PRITOM SE ČESTO IZVORNI ANALOGNI SIGNAL FREKVENCIJSKI OGRANIČAVA NA NEKU MAKSIMALNU FREKVENCIJU FILTROM). DISKRETIZACIJA SE MOŽE (1) SLIKOM ZORNO PREDOČITI:



DRUGI SEGMENT ILI DIO DIGITALIZACIJE JE KVANTIZACIJA. PRI KVANTIZACIJI SE SVAKOM DISKRETNOM TRENUTKU PRIDRUŽUJE 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 PRIDRUŽENO 8 BITA SVAKI TRENUTAK MOŽE PREDSTAVLJATI JEDAN OD 256 BROJEVA (2^8), NPR. 0-255. U SLUČAJU 4 BITA, MOGUĆE JE PRIKAZATI $2^4 = 16$ BROJEVA. KONAČNI REZULTAT DIGITALIZACIJE JE SKUP PAROVA DISKRETIZIRANIH VREMENA I PRIPADAJUĆIH KVANTIZIRANIH BROJEVA.



AKO SA R_b OZNAČIMO BRZINU PRIJENOSA BITA NAD OSNOVNE INFORMACIJE (bit) U SEKUNDI ([bit/s]), TADA JE $\boxed{R_b = f_{UZ} \times n}$

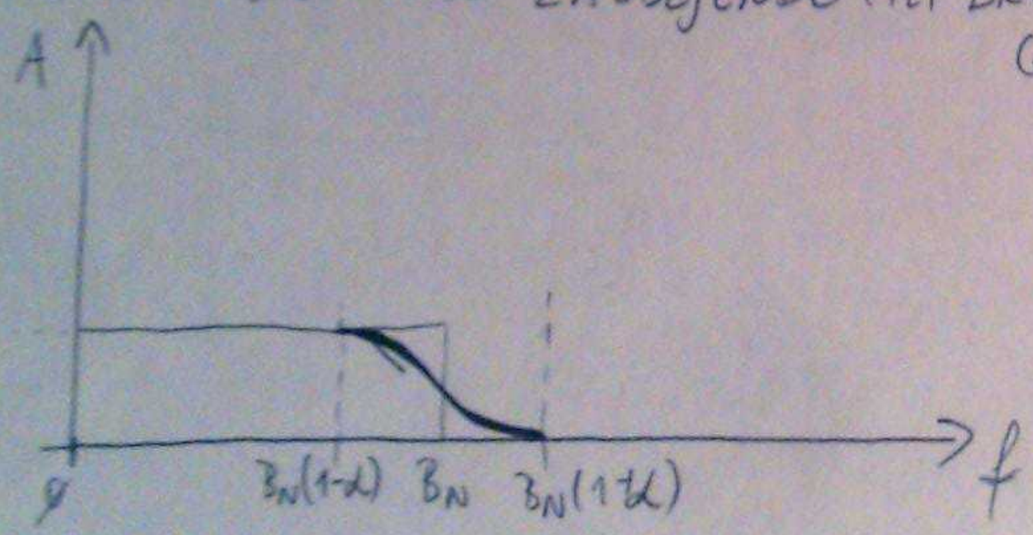
f_{UZ} – FREKVENCIJA UZORKOVANJA

n – BROJ BITA PO DISKRETIZIRANOM DJELIĆU VREMENA

IZ BRZINE, R_b, MOŽEMO ODREDITI TRAJANJE JEDNOG BITA, T_b. $\boxed{T_b = 1/R_b}$ - NPR. AKO SE PRENOSI 1000 bit/s, TADA JEDAN BIT ZAUZIMA TISUĆITI DIO SEKUNDE. NEOVISNO O DIGITALIZACIJI, PRI SLANJU KOMUNIKACIJSKIM KANALOM, POSLIJE 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 (Baud, Bd) SE PRITOM OZNAČAVA SA $\boxed{R_s}$. TRAJANJE JEDNOG SIMBOLA JE ONDA, KAO I KOD TRAJANJA BITA, VEZANO UZ BRZINU R_s FORMULOM: $\boxed{T_s = 1/R_s}$

VEZA BRZINE PRIJENOSA SIMBOLA & BITA JE: $\boxed{R_s = \frac{R_b}{W}}$, GDJE JE W BROJ BITA PRIDRUŽEN POJEDINOM SIMBOLU (BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA JE UVIJEK $\leq$ OD R_b)

PRI SLANJU KOMUNIKACIJSKIM KANALOM SIGNAL SE FILTRIRA. IDEALNI, NYQUISTOV FILTAR NIJE OSTVARIV U PRAKSI, NO AKO SE NA NJEGA SUPERPONIRA FUNKCIJA KOJA JE NEPARNA (SIMETRIČNA) OKO GRANICE FILTRA, INFORMACIJA SE NE GUBI. JEDNOSTAVAN FILTAR KOJI IMA OVO SVOJSTVO JE KOSINUSNO ZAOBLJENI FILTAR. AKO SE FREKVENCIJSKA ŠIRINA NYQUISTOVOG FILTRA OZNAČI SA B_N, TADA JE FREKV. ŠIRINA KOSINUSNO ZAOBLJENOG (ILI DRUGOG SIMETRIČNOG) FILTRA: $\boxed{B = B_N(1+\alpha)}$, GDJE JE α FAKTOR ZAOBLJENJA.



UKOLIKO NEMA MODULACIJE U PRIJENOSU, RADI SE O PRIJENOSU U OSNOVNOM POJASU, TE JE $\boxed{B_N = \frac{R_s}{2}}$, ŠTO SLIJEDI IZ FREKVENCIJE UZORKOVANJA, ŠTO SE TIČE PAK IZVORNOG SIGNALA, PRIJE DIGITALIZACIJE, PO NYQUISTOVOM PRAVILU f_{UZ} MORA BITI DVOSTRUKO VEĆA (BAREM) OD MAKSIMALNE FREKVENCIJE IZVORNOG SIGNALA, PA JE $\boxed{f_{MAX}(\text{IZVORNOG SIGNALA}) = \frac{f_{UZ}}{2}}$

1. (1. AUDITORNE - 1. ZADATAK)

1. BRZINA PRIJENOSA DOBIJE SE ZBRAJANJEM DOPRINOSA (BROJNO) SVIH KANALA:

$$R_b = 32 \cdot 64\ kbit/s = 2048\ kbit/s$$

(KO SUMA I PRENESE U SECONDI 64 BIT, ONDA IH SE PRENESE 2048 kbit/s)

2. TRAJANJE BITA SE ODNOSI NA CIJELI SUSTAV PA JE:

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

3. MINIMALNA ŠIRINA POJASA DOBIJE SE NYQUISTOVIM (IDEALNIM) FILTROM, A KAKO SE NIGDJE NE SPOMINJU MODULACIJE & LINIJSKI KODOVI TADA JE $R_s = R_b$:
(1 SIMBOL = 1 BIT)

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

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

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

2. (1. AUDITORNE - 2. ZADATAK): BINARNI SE SIGNAL PRENOSI U OSNOVNOM POJASU FREKVENCIJA KOMUNIKACIJSKIM KANALOM ŠIRINE POJASA OD 75 kHz. TRAJANJE INTERVALA JEDNOG BITA IZNOSI 10 μs. POTREBNO JE ODREDITI FAKTOR ZAOBLJENJA NISKOPROPUSNOG FILTRA KOJI ZADOVOLJAVA TE ZAHTJEVE!

$B = 75\ kHz$, $T_b = 10\ \mu s$ | SIGNAL JE BINARAN → $R_s = R_b$ (NEMA NI MODULACIJE)

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

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

ZADANO

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

3. (1. AUDITORNE - 3. ZADATAK): U POSTUPKU DISKRETIZACIJE AMPLITUDE UZORAKA ANALOGNOG SIGNALA PROVODI SE KVANTIZACIJA SA 128 MOGUĆIH RAZINA. NA KRAJ SVAKE KODNE RIJEČI DODAJE SE 1 SINKRONIZACIJSKI BIT. REZULTIRAJUĆI DIGITALNI SIGNAL PRENOSI SE KVATERNARNIM LINIJSKIM KODOM KOMUNIKACIJSKIM KANALOM ŠIRINE POJASA 12 kHz U KOJEM SE KORISTI FILTAR S FAKTOROM ZAOBLJENJA $\alpha = 1$.

1. ODREDITE BRZINU PRIJENOSA BITA KROZ KOMUNIKACIJSKI KANAL (U BITOVIMA U SEKUNDI)!
2. -"- FREKVENCIJU UZORAKA ANALOGNOG SIGNALA! KOJA JE NAJVIŠA MOGUĆA FREKVENCIJA ANALOGNOG SIGNALA? ($M = 128$, $B = 12$ kHz, $\alpha = 1$)

1. RADI SE O KVATERNARNOM LINIJSKOM KODU PA JE $R_b = 2R_s$, JER SE KORISTI 2 BITA PO SIMBOLU.

ŠIRINA POJASA JE 12 kHz

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

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

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 (SINKRONIZACIJSKI) BIT, PA JE $n = 7 + 1 = 8$

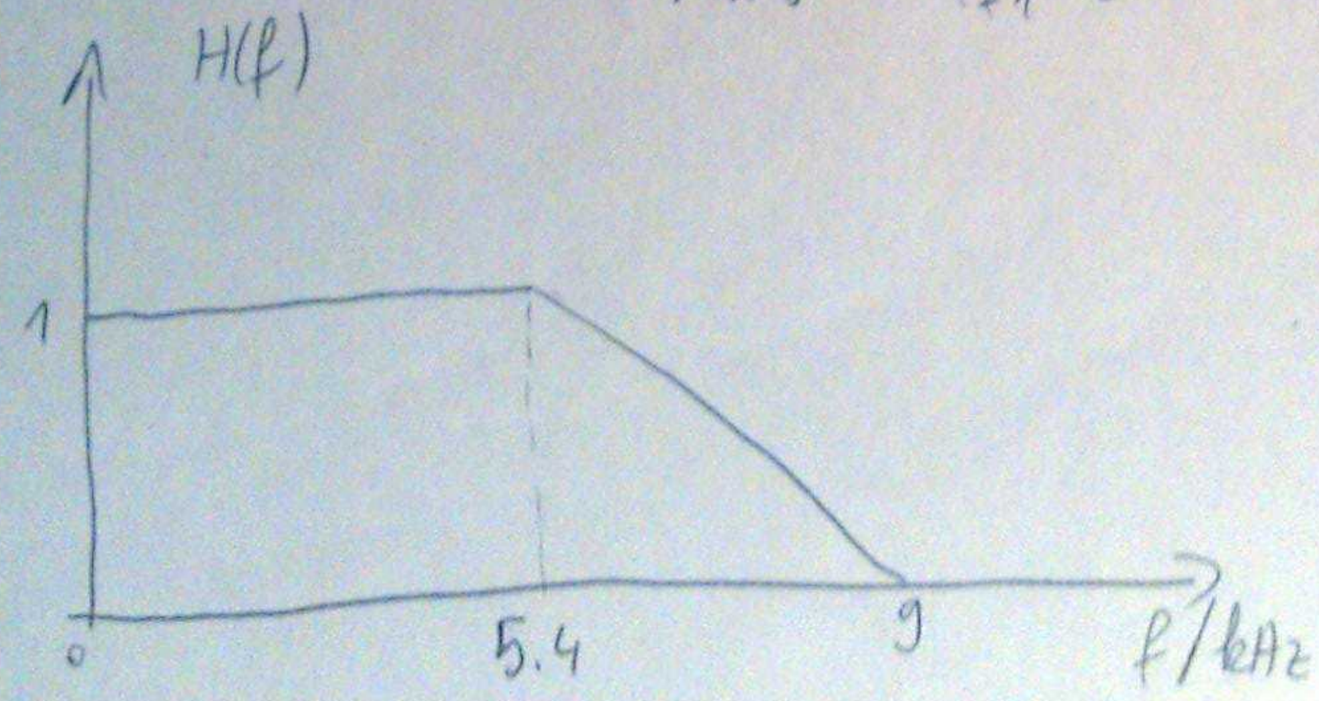
$$f_{uz} = \frac{R_b}{8} = 3\ \text{kHz}$$

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 POJASU FREKVENCIJA IMA OBLIK KAO NA SLICI.

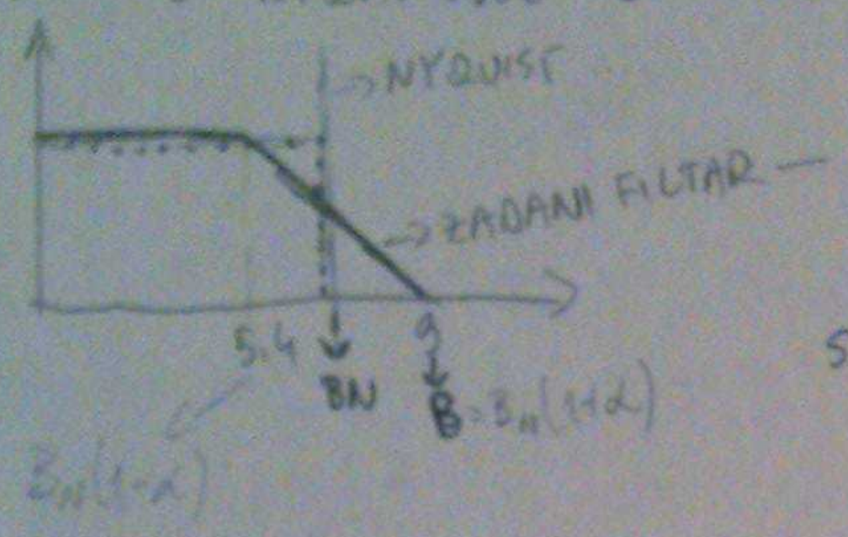
1. KOLIKA JE NAJVIŠA BRZINA PRIJENOSA BITA KOD KOJE NE DOLAZI DO SMETNJE MEĐU SIMBOLIMA?
2. KOLIKA JE SPEKTRALNA UČINKOVITOST PRIJENOSNOG SUSTAVA? ($f_1 = 5.4$ kHz; $f_2 = 9$ kHz)



SPEKTRALNA UČINKOVITOST OZNAČAVA BRZINU PRIJENOSA BITA PO JEDINICI ŠIRINE FREKVENCIJSKOG POJASA, PA JE:

$$\boxed{\text{SPEKTRALNA UČINKOVITOST} = R_b/B}$$

1. KAO ŠTO SE ZNA, FREKVENCIJSKA KARAKTERISTIKA FILTRA TREBA BITI SIMETRIČNA OKO GRANICE NYQUISTOVOG IDEALNOG FILTRA ZA OPTIMALAN PRIJENOS INFORMACIJE, PA JE:



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

ARITMETIČKA SREDINA GRANICA

$$\left(\begin{aligned} f_1 &= 9\ kHz = B_N(1+\alpha) \\ f_2 &= 5.4\ kHz = B_N(1-\alpha) \end{aligned}\right)$$

KAKO SE RADI O BINARNOM LINIJSKOM KODU, $R_b = R_s$

$$B_N = \frac{R_s}{2} = \frac{R_b}{2} \Rightarrow R_b = 2B_N = 14.4\ kbit/s$$

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

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

B → UVIJEK SE UZIMA REALAN SLUČAJ, NE IDEALAN (9 MHz)

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

(6.) (1. AUDITORNE - 6. ZADATAK): PRETPOSTAVIMO 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 IZRAŽAVAJU U LOGARITAMSKOM MJERILU (U DECIBELIMA, dB). ISTO SE RADI I U NEKIM DRUGIM ZNANSTVENIM PODRUČJIMA, NPR. AKUSTICI.

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

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

. AKO SE RADI O NAPONU:

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

(JER JE KVADRAT NAPONA SNAGA) $P = \frac{U^2}{R}$

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

$$L = \frac{P_{UL}}{P_{IZL}}\ ;\ \boxed{L|_{dB} = 10 \log \frac{P_{UL}}{P_{IZL}}}\ ;\ \text{NAPON: } L_{dB} = 20 \log \frac{V_{UL}}{V_{IZL}}$$

DECIBELI SE KORISTE ZBOG VELIKIH OPSEGA SNAGA (RAZLIKE U MW), KOJE U LOGARITAMSKOM MJERILU IZNOSE STOTINE DECIBELA, ISTO TAKO SE UZASTOPNA POJAČANJA I GUŠENJA LAKŠE RAČUNAJU, JER SE U DECIBELIMA TI IZNOSI JEDNOSTAVNO MNOŽENJA ZBRAJAJU (I ODUZIMAJU). $\boxed{dBW = 10\log\frac{P}{1W}}$ $\boxed{dBm = 10\log\frac{P}{1mW}}$

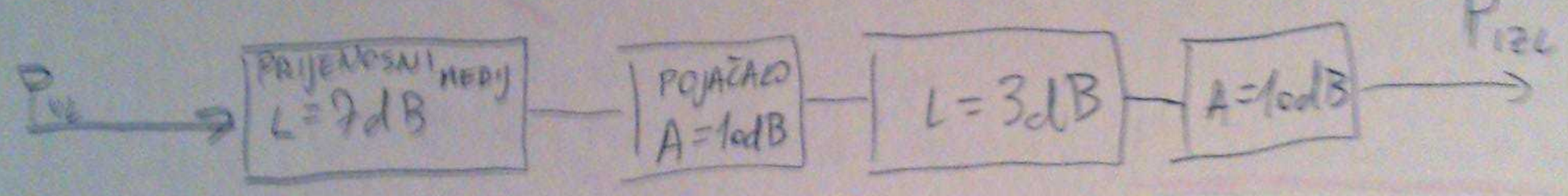
$$L = \frac{P_{UL}}{P_{IZL}} = \frac{10}{0{,}2} = 50, \quad L|_{dB} = 10\log(50) \approx 17\,dB$$

U OVOM ZADATKU FREKVENCIJA JE NEVAŽAN PODATAK.

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

$$A = \frac{P_{IZL}}{P_{UL}} = \frac{20}{10} = 2, \quad A|_{dB} \approx 3\,dB$$

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



$$\frac{P_{IZL}}{P_{UL}} = \text{POJAČANJE} = A$$

ZADATAK SE MOŽE RIJEŠITI RAČUNANJEM DIO PO DIO, ŠTO JE SPORIJE, 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):

$$A|_{dB} = \frac{P_{IZL}}{P_{UL}} = -7 + 10 - 3 + 10\,dB = 10\,dB$$

(9) (1. AUDITORNE - 9. ZADATAK): KOLIKA JE GUSTOĆA SNAGE TERMIČKOG ŠUMA NA TEMPERATURI $T = 17°C$?

IDEALNI TERMIČKI ŠUM IMA UNIFORMNU (JEDNOLIKU) RASPODJELU (GUSTOĆU SNAGE) U FREKVENCIJSKOJ DOMENI. STOGA JE GUSTOĆA SNAGE TERMIČKOG ŠUMA (PO JEDINICI FREKVENCIJE):

$\boxed{N_0 = kT}$ [W/Hz]; GDJE JE 'k' BOLTZMANNOVA KONSTANTA, A 'T' TEMPERATURA U KELVINIMA. ($k = 1.3803 \cdot 10^{-23}$)

SNAGA ŠUMA DOBIJE SE MNOŽENJEM GUSTOĆE SNAGE TERMIČKOG ŠUMA SA ZADANOM FREKVENCIJSKOM ŠIRINOM (KOLIKO ŠUMA UREĐAJ 'UZIMA'):

$\boxed{N = kTB}$

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

(10) (1. AUDITORNE - 10. ZADATAK): KOLIKI JE TERMIČKI ŠUM NA TEMPERATURI T=290 K UZ ŠIRINU POJASA 10 MHz?

$N = kTB = -133.97$ dBW

KAPACITET KOMUNIKACIJSKOG KANALA JE NAJVEĆA BRZINA KOJU TAJ KANAL MOŽE IMATI. NYQUISTOVA FORMULA ZA KAPACITET K. JE: $\boxed{C = 2BW}$, GDJE JE 'B' FREKV. ŠIRINA POJASA, A "W" LOGARITAM BROJA NAPONSKIH RAZINA KOJE SIGNAL MOŽE POBRIMITI (ODNOSNO BROJ 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 ODREDIO JE SHANNON: $\boxed{C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)}$; GDJE JE S/N ODNOS SIGNAL/ŠUM (SIGNAL/NOISE) U APSOLUTNOM 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 → 2 RAZINE → W = 1

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

b) 16 RAZINA → $W = \log_2 16 = 4$

$C = 2BW = 17.6$ Mbit/s

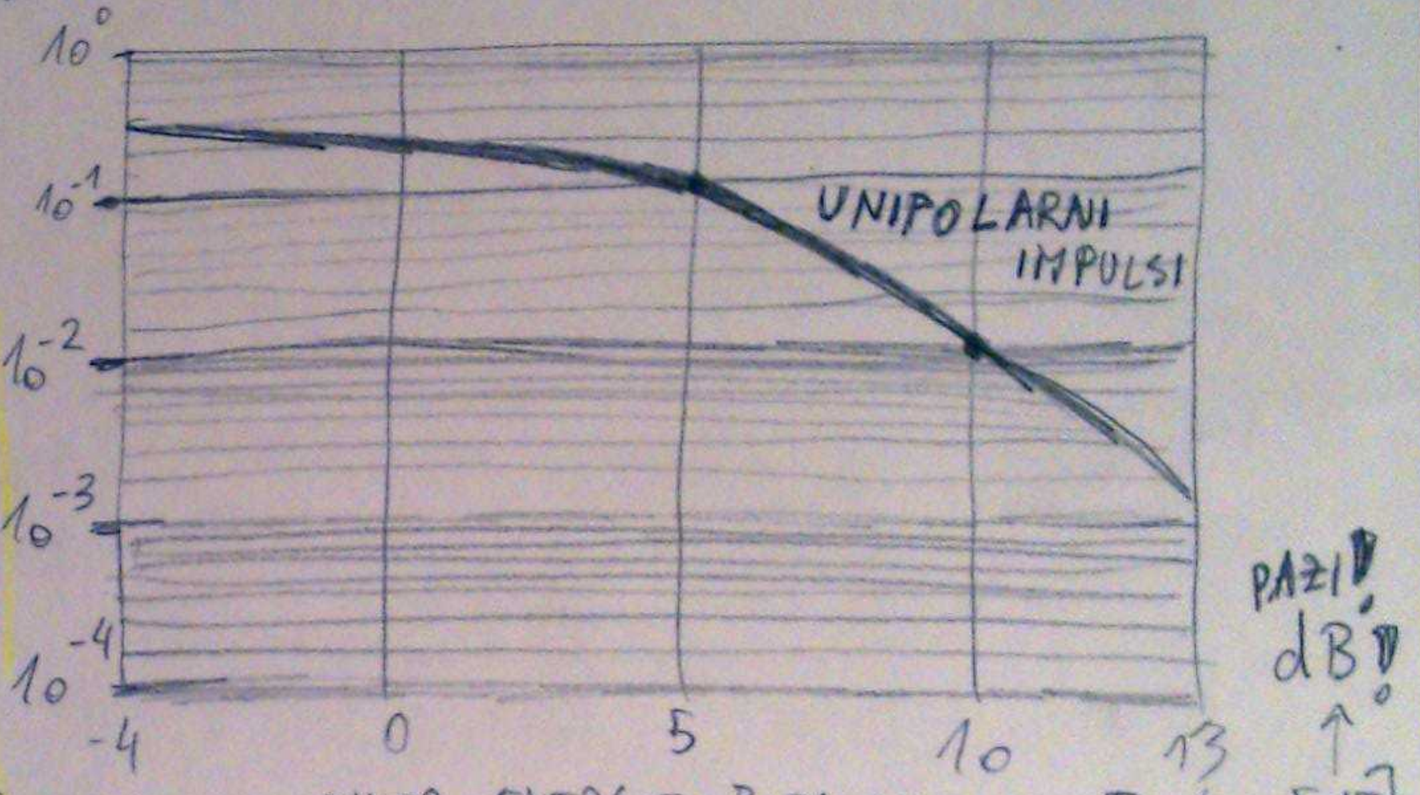
(12) (1. AUDITORNE - 12. ZADATAK): AKO SE U KANALU, KOJI SE NALAZI IZMEĐU 2.2675 GHz & 2.2725 GHz PRENOSI SIGNAL ZA KOJI JE OČEKIVANI S/N PRIBLIŽNO 12.6 dB, KOLIKI JE KAPACITET KANALA?

S/N U APSOLUTNOM IZNOSU: $S/N|_{dB} = 10 \log \frac{S}{N} \Rightarrow S/N = 10^{\frac{12.6}{10}} = 18.2$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) = (2.2725 \cdot 10^9 - 2.2675 \cdot 10^9) \cdot \log_2 (19.2) =$$

$$= 21.3 \text{ Mbit/s}$$

(13.) (1. AUDITORNE - 13. ZADATAK): VJEROJATNOST POGREŠNE DETEKCIJE SIMBOLA U BINARNO SIMETRIČNOM KANALU PRIKAZANA JE NA SLICI. PRI PRIJENOSU BINARNOG SIGNALA BRZINE 14400 bit/s UNIPOLARNIM NRZ LINIJSKIM KODOM POSTIGNUTA JE VJEROJATNOST POGREŠKE 0.1. KOLIKA JE NAJVIŠA 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 ŠUMA) UMJESTO S/N KOJI NEMA TU SMISLA. AKO JE 'C' SNAGA NOSIOCA, TADA JE $C = \frac{E_b}{T_b}$ I, ODNOSNO $\boxed{C = E_b \cdot R_b}$. S/N SE KORISTI SAMO U ANALOGNIM KOMUNIKACIJAMA.

$R_{b1} = 14400$ bit/s ; $P_{E1} = 0.1 \Rightarrow \frac{E_{b1}}{N_{01}} = 5\text{dB} \approx 3.16$ (OČITANO S GRAFA)

$P_{E2} = 0.01 \Rightarrow \frac{E_{b2}}{N_{02}} = 10\text{dB} = 10$ KAO NIJE DRUKČIJE NAPOMENUTO, PRETPOSTAVLJA SE DA SU SNAGE C_1 U PRVOM SLUČAJU I C_2 U DRUGOM SLUČAJU JEDNAKE, KAO I PRIPADAJUĆI B I N_0 ($N_{01} = N_{02}$). $N_0 = E_{b1}/3.16 = \frac{E_{b2}}{10}$

KORIŠTENJEM $C = E_b \cdot R_b$;

$$\frac{C_1}{R_{b1} \cdot 3.16} = \frac{C_2}{R_{b2} \cdot 10} \Rightarrow R_{b2} = 0.316 \cdot R_{b1} = 4550.4 \text{ bit/s}$$

(14) (1. AUDITORNE - 14. ZADATAK): ZA NIŽE NAVEDENI IZVORNI BINARNI NIZ NAĐITE 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. (OPR. "DIF. KODIRANI 1" POJAVOM JEDINICE MJENJA SVOJE STANJE)

IZVORNI NIZ	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
a) NIZ S DIF. KODIRANIM "1"	0									
b) NIZ S DIF. KODIRANOM "0"	0									

POČETNA ZNAMENKA

RJEŠENJE: a) 0 | 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 → NA ZNAK "1" MJENJA SE PRETHODNO STANJE, NA "0", OSTAJE ISTO

b) 0 | 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 → ISTO, SAMO OBRNUTO

ZADACI KOJI SE ODNOSE NA 1. Zrcalovanje (do modulacija), ALI SU IZVAN AUDITORNIH - SA ISPITA (12) I DRUGIH ZBIRKI

(5. ZADATAK - ZI KOMSOS; 2007-08): KOLIKA JE SPEKTRALNA UČINKOVITOST U OSNOVNOM POJASU FREKVENCIJA UZ ZAOBLJENJE KARAKTERISTIKE DO 0.25?

$\alpha = 0.25$; OSNOVNI POJAS, TE SE NE SPOMINJU KODOVI → $R_s = R_b$

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

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

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

(10. ZADATAK - ZI KOMSOS - 2008-09): ZADANA JE SNAGA NA ULAZU U MFOJ, $P_{UL} = 2mW$. KOLIKO JE TO dBm?

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

↓ DECIBEL NAD MILIVATOM

(12. ZADATAK - ZI - KOLOKVIJ - 2008-09): SIGNAL JE KVANTIZIRAN U 256 RAZINA I PRENOSI SE KVATERNARNIM LINIJSKIM KODOM, KORISTI SE FILTAR S FAKTOROM ZAOBLJENJA 0.5, A SIGNAL SE PRENOSI U POJASU ŠIRINE 12 kHz. IZRAČUNATI R_b!

$\alpha = 0.5$; $B = 12\ kHz$

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

$R_s = 2B_N = 16\ kBit/s$

KADA JE KORIŠTEN KVATERNARNI LINIJSKI KOD TADA JE $R_b = 2 \cdot R_s$, DOK JE PODATAK O 256 RAZINA SUVIŠAN.

$R_b = 2 \cdot R_s = 32\ kBit/s$

(6. ZADATAK - 1. MI - 2009-10): KVATERNARNIM DIGITALNIM SIGNALOM UZ ŠIRINU POJASA OD 31.25 kHz I TRAJANJE BITA 16 μs PRENOSE SE INFORMACIJE. ODREDI FAKTOR ZAOBLJENJA FILTRA!

$B = 31.25\ kHz$; $T_b = 16\ \mu s$ KVATERNARNI (2 BITA PO SIMBOLU) $\rightarrow R_b = 2R_s$

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

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

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

(14. ZADATAK - 1. MI - 2009-10): TV ZRAČI 1000 W. KOLIKO JE TO dBm?

$P|_{dBm} = 10 \log \frac{1000\ W}{1\ mW} = 60\ dBm$

(1.1. TSM - ZZ - 2002): ZA PRIJENOSNI SUSTAV PREMA SHEMI ZADANO JE: $P_1 = 7\ dBm$, $P_2 = 3\ W$. IZRAZITI P_1 U [W], P_2 U [dBm] I IZRAČUNATI POJAČANJE 'G' PRIJENOSNOG SUSTAVA KAO FAKTOR I U dB. $P_1 \rightarrow \boxed{G} \xrightarrow{P_2}$

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

$P_2|_{dBm} = 10 \log \frac{3\ W}{1\ mW} = 34.77\ dBm$

$G = \frac{P_2}{P_1} = 598.8$ $G|_{dB} = 10 \log G = 27.77\ dB$

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

a) $P_1 = -20\,dBm$; $P_2 = 10\,W$

b) $P_1 = -4\,dBm$; $P_2 = 0.1\,W$

---

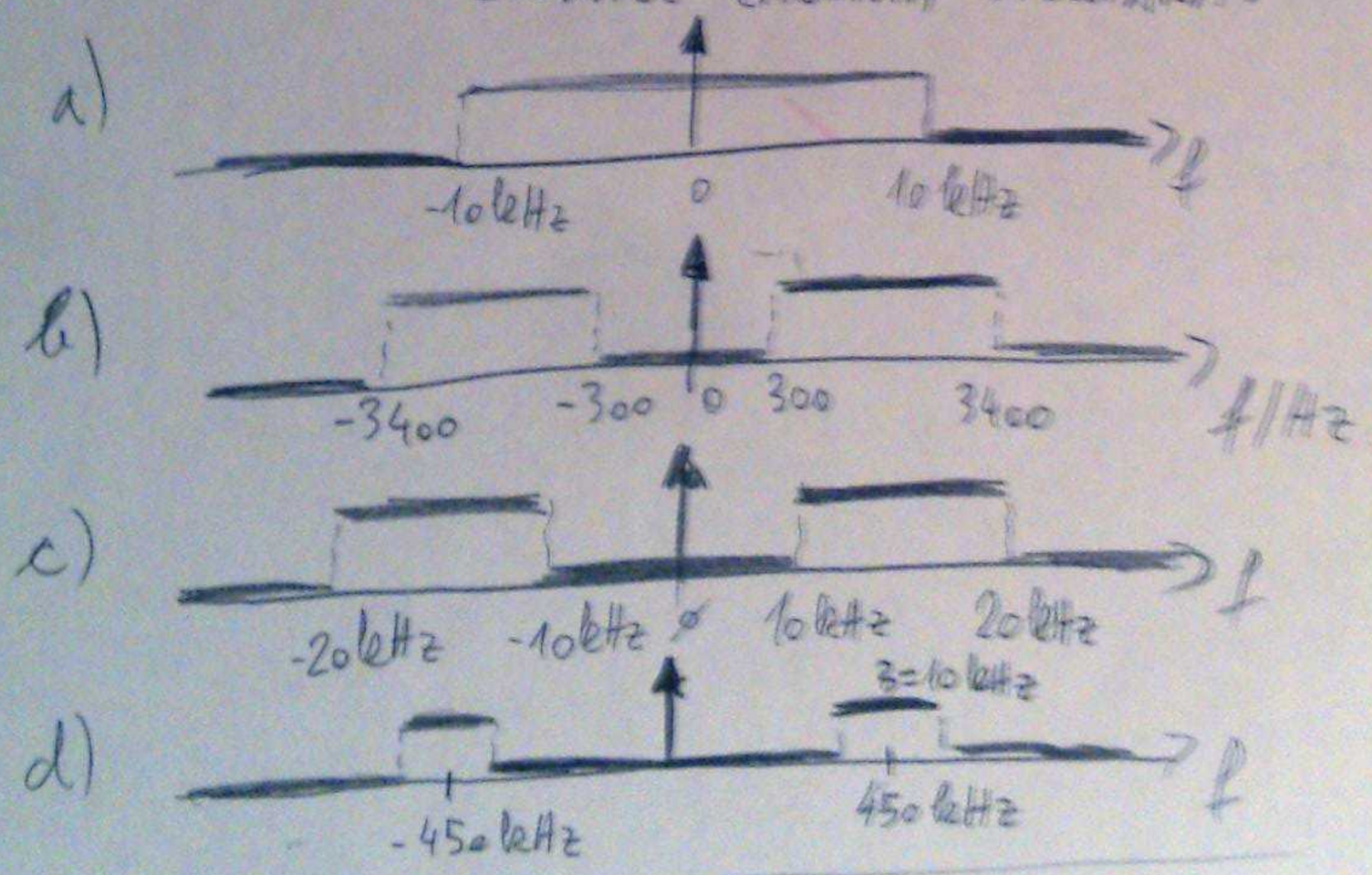
a) $P_1 = 10\,\mu W = 10^{-5}\,W$; $P_2 = 40\,dBm$; $G = 10^6 = 60\,dB$

b) $P_1 = 0.4\,mW = 4 \cdot 10^{-4}\,W$; $P_2 = 20\,dBm$; $G = 250 = 24\,dB$

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

P_1 [dBm]	P_2 [W]	P_1 [W]	P_2 [dBm]	G	G [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	7
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-ZZ-2002): ODREDITI FREKVENCIJU UZORKOVANJA (SEMPLIRANJE) ZA SIGNALE ZADANIH SPEKTARA:



JEDNOSTAVNO, KAKO SE ZNA DA f_{uz} MORA BITI BAR DUPLO VEĆA OD MAKSIMALNE FREKVENCIJE POČETNOG SIGNALA IZLAZI:

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

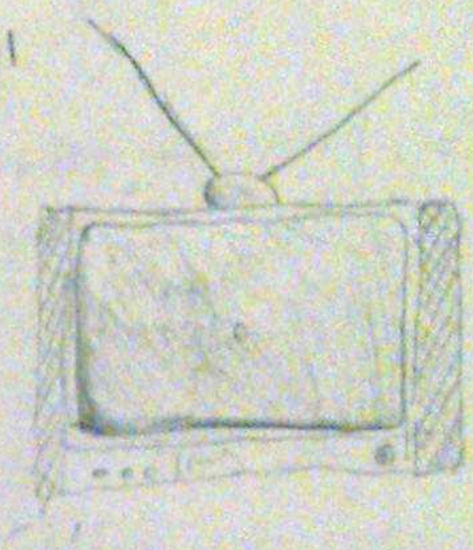
d) $f_{uz} \geq 910\,kHz$; JER JE ŠIRINA 10 kHz, SA SVAKE STRANE PO 5 kHz, PA JE $f_{max} = 455\,kHz$.

11

(1.7.-TSM-ZZ-2002): ODREDITI NAJMANJU ŠIRINU FREKVENCIJSKOG POJASA ZA PRIJENOS SIGNALA MONOKROMATSKOG SVGA VIDEO TERMINALA SLJEDEĆIH KARAKTERISTIKA:
- BROJ SLIKA U SEKUNDI - 75
- VODORAVNA RAZLUČIVOST - 800 TOČKICA
- VERTIKALNA RAZLUČIVOST - 600 REDAKA (LINIJA)

PRETPOSTAVLJA SE DA JEDNA TOČKICA MOŽE SAMO SVIJETLITI ILI NE (STANJE "1" ILI "0"). STOGA, BRZINA $R_b = \underbrace{800 \cdot 600}_{\text{IZNOS U JEDNOJ SLICI (PIXELI)}} \cdot \underbrace{75}_{\text{BROJ SLIKA / SEKUNDI}} = 36 \cdot 10^6$ bit/s

JER JE MONOKROMATSKI SIGNAL! → PA JE 1 BIT = 1 PIXEL



KAKO JE 1 PIXEL = 1 BIT (SAMO 2 STANJA), $R_b = R_s$

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

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

BINARNI SUSTAV → $R_b = R_s = 100$ Mbit/s

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

TEORIJSKI MINIMALNA ŠIRINA FREKV. POJASA (NYQUIST)

(2.9.-TSM-ZZ-2002): IZVOR INFORMACIJE JE GOVORNIK KOJEM JE GOVORNI SIGNAL OGRANIČEN NA FREKVENCIJSKI POJAS OD 300 Hz DO 4 kHz. AMPLITUDE SU KVANTIZIRANE S N=256 RAZINA VRIJEDNOSTI, UZORKOVANJE A/D PRETVARAČA JE S MINIMALNOM MOGUĆOM FREKVENCIJOM, A KODIRANJE BINARNO. ODREDITI IZDAŠNOST IZVORA INFORMACIJE!

IZDAŠNOST INFORMACIJE OZNAČAVA KOLIKO INFORMACIJE IZVOR DAJE (bit/s), ŠTO ZNAČI DA JE TO UPRAVO R_b. MAKSIMALNA FREKV. IZVORNOG SIGNALA JE 4 kHz, $f_{MAX} = 4$ kHz, TE JE UZORKOVANJE S N=256 RAZINA ⇒ $n = \log_2 256 = 8$. f_{UZ} JE MINIMALNA MOGUĆA → $f_{UZ} = 2 f_{MAX} = 8$ kHz. R_b TADA IZNOSI:

$$R_b = f_{UZ} \cdot n = 8000 \cdot 8 = 64\,kbit/s$$

(1. ZADATAK - 21-2011-12): ŠIRINA SPEKTRA JE 200 kHz, STANDARDNA TEMPERATURA 20°C, TE JE $N_0 = 4 \cdot 10^{-15}$ W/s. KOLIKA JE UKUPNA SNAGA ŠUMA U STANDARDNIM UVJETIMA?

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

$N_0 \cdot B$

(3. ZADATAK - 21 - 2011-12): KOMUNIKACIJSKI SUSTAV MORA IMATI BRZINU 110 Mbit/s. IMAMO KANAL S B = 25 MHz, A FAKTOR ZAOBLJENJA JE 0.25.

a) KOLIKA JE NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA?

b) KOLIKA JE OSTVARIVA BRZINA SIMBOLA?

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

b) UKOLIKO SE PRETPOSTAVI PRIJENOS U OSNOVNOM POJASU (BEZ MODULACIJE), TADA JE: $B_N = \frac{R_S}{2} \Rightarrow R_S = 2B_N = 40 MBd \rightarrow 1 Bd = 1 BAUD = 1$ SIMBOL/SEKUNDA (SIMBOL U SEKUNDI)

(2. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011-12): ZBOG PREKIDA U KOMUNIKACIJI UZROKOVANOG POKNUĆEM OPTIČKOG KABELA, KOMUNIKACIJA SE ODVIJA ZEMALJSKOM MIKROVALNOM VEZOM. PRIJAMNA I ODAŠILJAČKA ANTENA PROMJERA 3m UDALJENOSTI 15 km RADE NA FREKVENCIJI OD 35 GHz.

a) KOLIKO JE GUŠENJE SIGNALA U SLOBODNOM PROSTORU?

b) PRI KOJOJ VRSTI KOMUNIKACIJE OD NAVEDENIH (MIKROVALNOJ ILI OPTIČKOJ) JE GUŠENJE VEĆE PRETPOSTAVLJAJUĆI PRIBLIŽNO JEDNAKU UDALJENOST ODAŠILJAČA I PRIJEMNIKA U OBA SLUČAJA?

ZA NAJJEDNOSTAVNIJI SLUČAJ RADIJSKOG PRIJENOSA KORISTI SE FRIISOVA FORMULA KOJA VRIJEDI U SLOBODNOM PROSTORU, I NE UZIMA U OBZIR MEDIJ, PREPREKE, REFLEKSIJE EM-VALA I SL.: $\boxed{L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2} \{dB\} \rightarrow$ GUŠENJE (LOSS)

VALNA DULJINA EM-VALA JE $\boxed{\lambda = \frac{c}{f}}$; c ... BRZINA SVJETLOSTI, $3 \cdot 10^8$ m/s; f ... FREKVENCIJA

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

a) UVRŠTAVANJEM $L = 10 \log \left(\frac{4\pi \cdot 15 \cdot 10^3}{8.57 \cdot 10^{-3}}\right)^2 = 146.85 dB$

b) SVJETLOVOD JE INAČE NAJBRŽI MEDIJ, I IAKO GUŠENJE U OBA SLUČAJA OVISE O UDALJENOSTI, SVJETLOVOD ĆE OPĆENITO UVIJEK BITI BRŽI ZA ISTU UDALJENOST (ZNAČI, SLOBODNI PROSTOR VIŠE GUŠI).

(17. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011-12): IZ KONCERTNE DVORANE VATROSLAV ZIMINSKI OBAVLJA SE RADIODOŽIVA KONCERTA UZ POMOĆ IMPULSNO KODNE MODULACIJE. ZVUČNO PODRUČJE OD 20 Hz DO 20 kHz UZORKUJE SE $f_s = 44{,}1$ kHz S 14 BITA/UZORKU. KOLIKA JE BRZINA PRIJENOSA PODATAKA?

$$R_b = f_{UZ} \cdot n = 44{,}1 \cdot 14 = 617{,}4 \text{ kbit/s}$$

(19. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): U ISM FREKVENCIJSKOM POJASU DOPUŠTEN JE RAD WLAN MREŽA BEZ POTREBE ZA PRIBAVLJANJEM DOZVOLE AKO EFEKTIVNA IZOTROPNA IZRAČENA SNAGA UREĐAJA (EIRP) NE PRELAZI 100 mW. KAKO BI POVEĆAO DOMET KORISNIK SE ODLUČIO NA OGRANIČENJE TE JE PREKORAČIO DOZVOLJENU SNAGU 8 PUTA, AKO JE GUŠENJE KANALA OD PRISTUPNE TOČKE DO PRIJEMNIKA 80 dB, ODREDI SNAGU U dBm NA MJESTU PRIJEMA!

$P_{UL} = 8 \cdot 100$ mW → ULAZNA SNAGA U KANAL; ODAŠILJAČ

$P_{UL}|_{dBm} = 10 \log 800 = 29$ dBm

$L = 80\,dB = 10^8 = \frac{P_{UL}}{P_{IZ}}$ ... GUŠENJE

P_{IZ} ... SNAGA NA IZLAZU KANALA (PRIJEMNIK): $P_{IZ}|_{dBm} = P_{UL}|_{dBm} - L|_{dB} = -51$ dBm

(11. ZADATAK - JESENSKI ISPITNI ROK - 2011/12): UREĐAJ U ĆELIJI ODAŠILJE SNAGOM 100 W, ĆELIJA IMA RADIJUS 100 m. IZRAČUNATI SNAGU NA POLOVICI RADIJUSA UZ ZADANU FREKVENCIJU ODAŠILJANJA OD 1800 MHz.

$$L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \frac{P_{UL}}{P_{IZL}}$$

P_{UL} ---> ODAŠILJAČ

P_{IZL} ---> PRIMATELJ

$$P_{IZL} = P_{UL} \cdot L^{-1}$$

$d = 50$ m (POLA RADIJUSA)

$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{1800 \cdot 10^6} = 0.167$ m → ZADANO 100 W

$L = 71.53$ dB

$P_{UL}|_{dBW} = 20$ dBW

$P_{IZL}|_{dBW} = P_{UL}|_{dBW} - L|_{dB} = -51.53$ dBW

2. Auditorne

by: cgislov

U KRATKIM CRTAMA, KAKO BI SE INFORMACIJA PREBACILA U DRUGO FREKVENCIJSKO PODRUČJE, KORISTE SE RAZNE MODULACIJE. U OVOME DJELU GLEDAJU SE ANALOGNI PRIJENOSNI & MODULACIJSKI SIGNAL. PRIJENOSNOM SIGNALU MODULACIJSKI SIGNAL (KORISNA INFORMACIJA) MIJENJA AMPLITUDU, FAZU, FREKV. U VREMENU, I TO U NAJJEDNOSTAVNIJEM SLUČAJU SINUSNIM SIGNALOM (AM, PM, FM MODULACIJA).

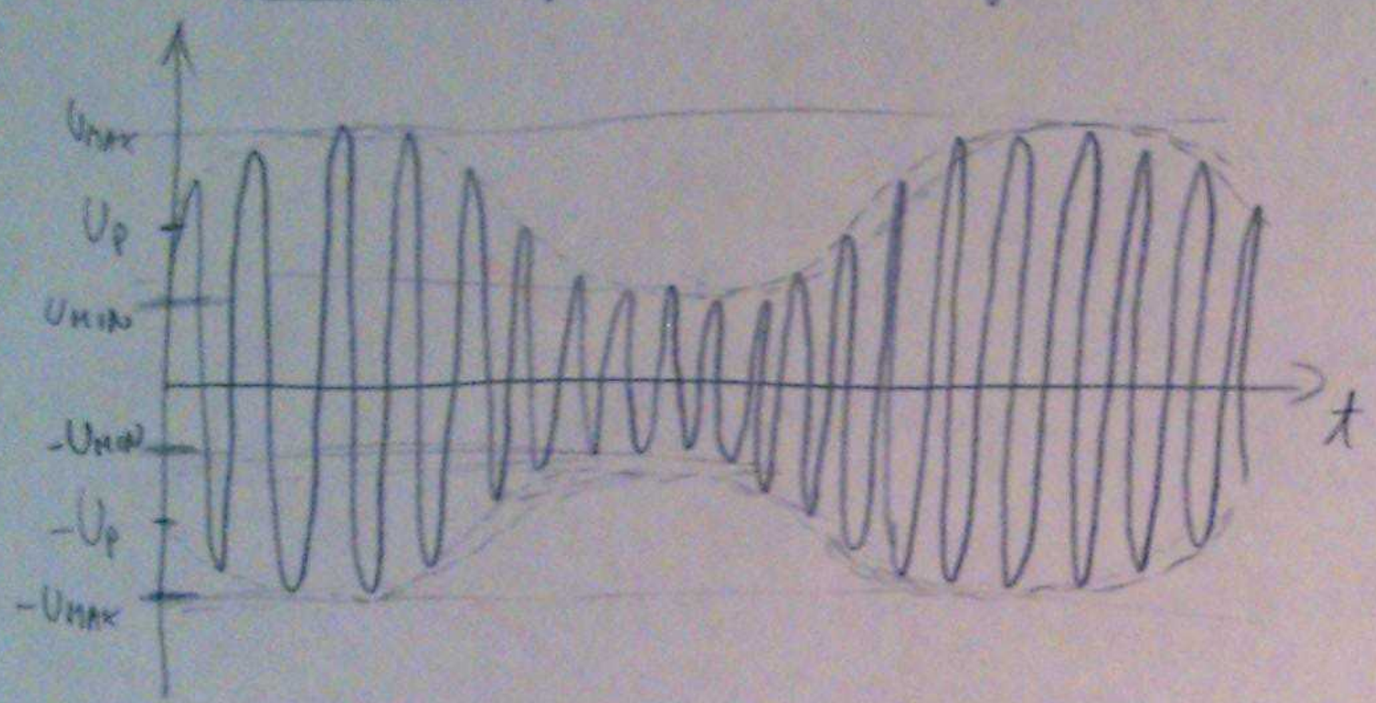
KOD AM-MODULACIJE, POSTUPAK SE FORMULOM MOŽE U VREMENSKOJ DOMENI PRIKAZATI OVAKO:

$$u_{AM}(t) = U_p(1 + m_{AM}\cos\omega_m t)\cos\omega_p t$$

. U_p JE AMPLITUDA PRIJENOSNOG SIGNALA, DOK SU ω_p i ω_M FREKVENCIJE PRIJENOSNOG (MODULACIJSKOG SIGNALA). m_{AM} JE INDEKS MODULACIJE I GOVORI KOLIKO JE AMPLITUDA MODULACIJSKOG SIGNALA MANJA OD PRIJENOSNOG S.:

$$\boxed{m_{AM} = \frac{U_M}{U_p}}$$

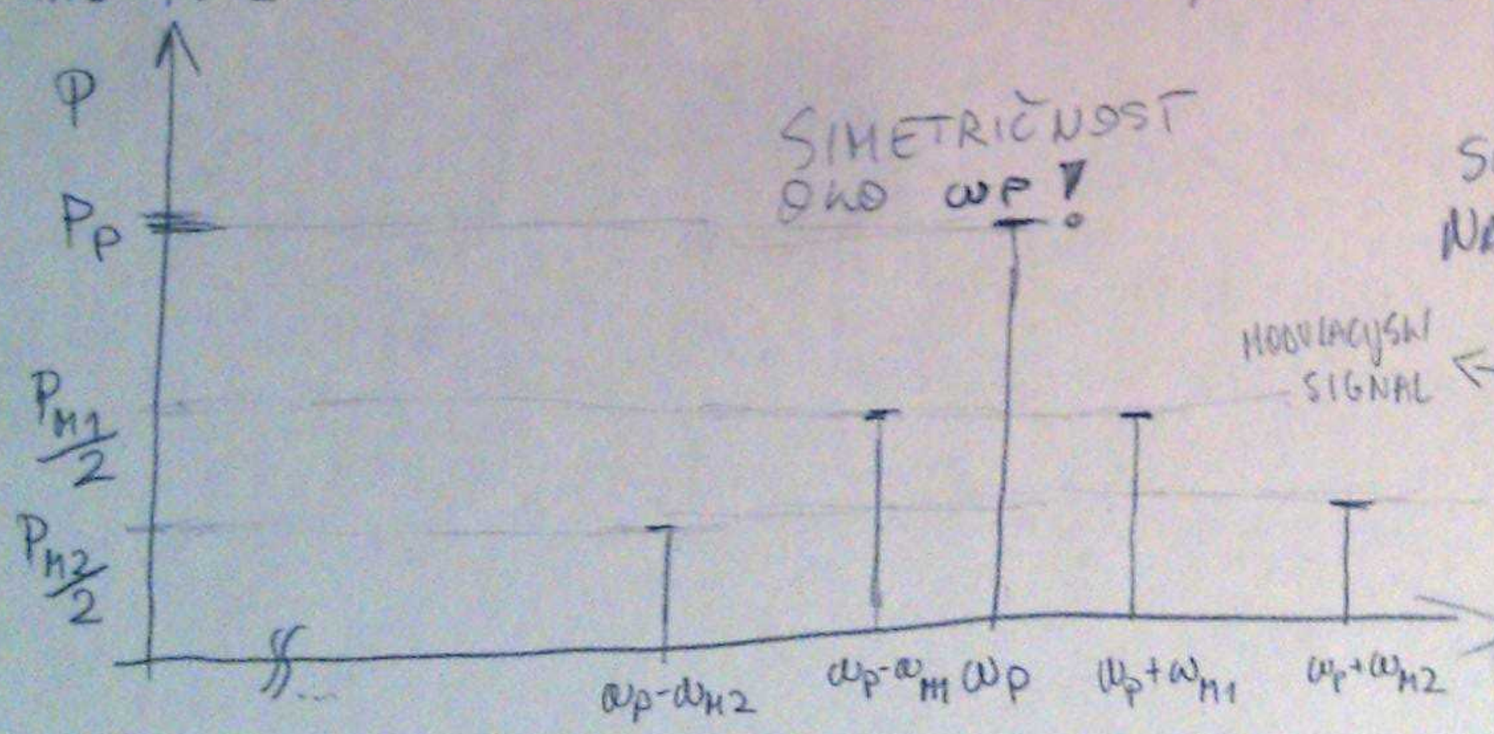
(TOČNIJE $m_{AM} = \frac{k_{AM} U_M}{U_p}$, ALI ISTA STVAR). U VREMENSKOJ DOMENI AM-MODULACIJA IZGLEDA KAO NA SLICI:



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

$$\boxed{U_p = \frac{U_{MIN} + U_{MAX}}{2}}$$

ŠTO SE TIČE SPEKTRA, JAVLJA SE KOMPONENTA FREKVENCIJE ω_p, TE $\omega_p \pm \omega_M$, ZNAČI 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 SPEKTRU.



UOČITI DA SE SNAGA MODULACIJSKOG SIGNALA DIJELI NA 2 KOMPONENTE, NA POLA, A SNAGA JE:

$$\boxed{P_M = \underbrace{P_p}_{\text{PRIJ. SIGNAL}}\left(\frac{m_{AM}^2}{2}\right)}$$

PA JE UKUPNA SNAGA AM-MODULIRANOG SIGNALA:

$$\boxed{P_{AM} = P_p\left(1 + \frac{m_{AM1}^2}{2} + \frac{m_{AM2}^2}{2} + \dots\right)}$$

AKO SE POKAZUJE SPEKTAR NAPONA, BOČNE (LIJEVA I DESNA) KOMPONENTA SU:

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

(UOČITI DA JE NAPON KORIJEN SNAGE)

POVEZANOST NAPONA I SNAGE: $\boxed{P_p = \frac{V_p^2}{2R}}$ → DVOJKA JE U NAZIVNIKU ZBOG INTEGRIRANJA KOSINUSA PRI DOBIVANJU SNAGE

OVO JE UKRATKO, DETAJNIJE JE OBJAŠNJENO NA SLAJDOVIMA, U KNJIZI...

1. (2. AUDITORNE - 1. ZADATAK): NA IZLAZNE PRIKLJUČNICE AM MODULATORA PRIKLJUČEN JE INSTRUMENT ZA MJERENJE SNAGE ULAZNOG OTPORA 50 Ω. KAD NEMA MODULACIJE MJERILO SNAGE POKAZUJE SNAGU PRIJENOSNOG SIGNALA OD 100 W. KAD SE MODULATORU PRIVEĆE 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 POKAZUJE MJERAČ SNAGE KAD SE MODULACIJSKOM SIGNALU DODA JOŠ JEDNA KOMPONENTA FREKVENCIJE 1.6 kHz KOJA MODULIRA AMPLITUDU PRIJENOSNOG SIGNALA S INDEKSOM MODULACIJE $m_{a1} = 0.4$!
4. SKICIRATI SPEKTAR SNAGE AM-SIGNALA POD 3. S NAZNAČENIM RAZINAMA POJEDINIH KOMPONENTI!

$P_p = 100\,W$; $R = 50\,\Omega$; $P_{AM} = 118\,W$; $f_M = 1\,kHz$

1. KAKO POSTOJI SAMO JEDAN MODULACIJSKI SIGNAL:

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

UKUPNA SNAGA (118 W) — SNAGA PRIJ. SIG. (100 W)

2. $P_p = \frac{U_p^2}{2R} \Rightarrow U_p = \sqrt{P_p \cdot 2R} = 100\,V$ → NAPON PRIJENOSNOG SIGNALA

AMPLITUDA (TRENUTNA) ZNAČI NAPON: $U_{MAX} = U_p(1 + m_{AM}) = 160\,V$

3. $m_{AM1} = 0.4$; $f_{M1} = 1.6\,kHz$ → DODAN JE DRUGI MODULACIJSKI SIGNAL

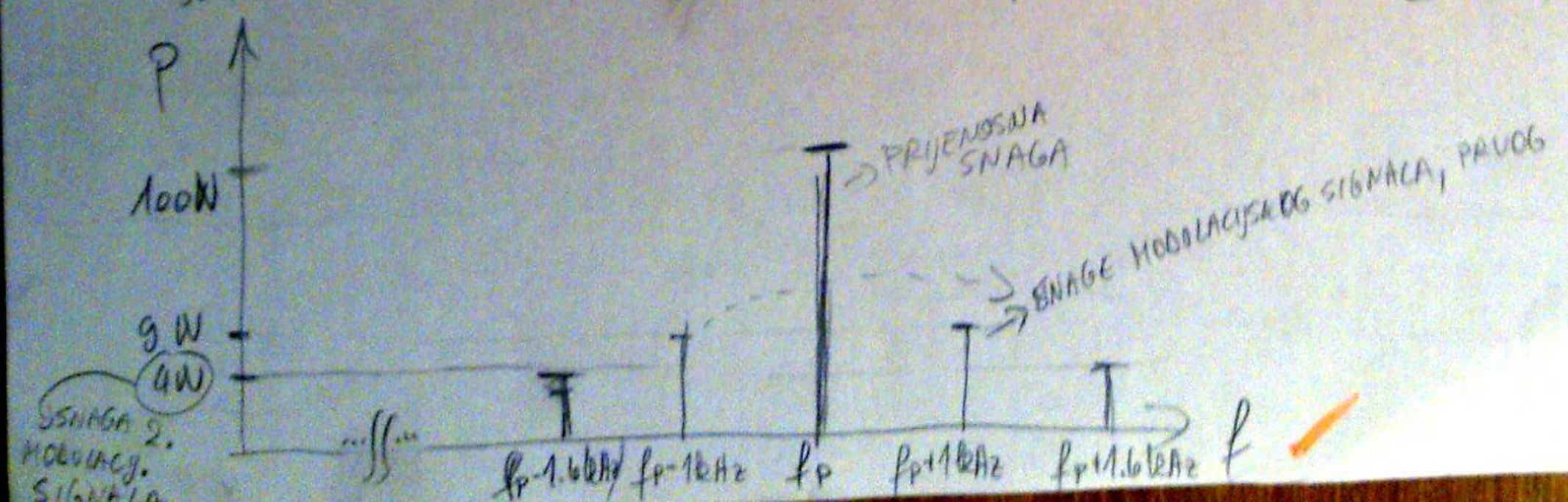
NOVA SNAGA AM-MODULIRANOG SIGNALA JE: $P_{AM1} = P_p\left(1 + \frac{m_{AM}^2}{2} + \frac{m_{AM1}^2}{2}\right) =$

$= 126\,W$

4. SPEKTAR ĆE IMATI SIGNAL FREKV. f_p I PO DVIJE KOMPONENTE S LIJEVA I DESNA UDALJENE ZA f_M & f_{M1} (ZA PRVU & DRUGU KOMPONENTU MODULACIJSKOG SIG.).

SNAGE PRVOG STUPCA SU $P_{ML} = P_{MD} = P_p\left(\frac{m_{AM}^2}{4}\right) = 9\,W$ → ŠTO SE MOŽE I U GLAVI: $\left(\frac{118-100}{2} = 9\,W\right)$

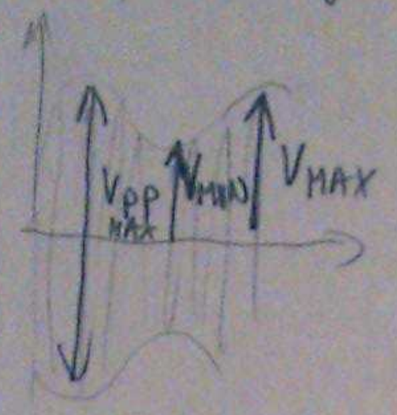
SNAGE DRUGIH STUPACA: $P_{M1L} = P_{M1D} = P_p\left(\frac{m_{AM1}^2}{4}\right) = 4\,W$ $\left(\frac{126-118}{2} = 4\,W\right)$



(2) (2. AUDITORNE - 2. ZADATAK): UZ POMOĆ PRIKAZA SINUSNO MODULIRANOG AM-SIGNALA NA ZASLONU OSCILOSKOPA IZMJERENO JE:
- NAJMANJA AMPLITUDA AM-SIGNALA: $80\,V_{pp}$
- NAJVEĆA AMPL. AM-SIGNALA: $160\,V_{pp}$
- FREKVENCIJA PRIJENOSNOG SIGNALA: 512 kHz
- FREKVENCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA: 4 kHz

ODREDITI:
1. VELIČINU INDEKSA MODULACIJE
2. SADRŽAJ SPEKTRA MODULIRANOG SIGNALA
3. SNAGU AM-SIGNALA NA OTPORNIKU VRIJEDNOSTI $50\,\Omega$!

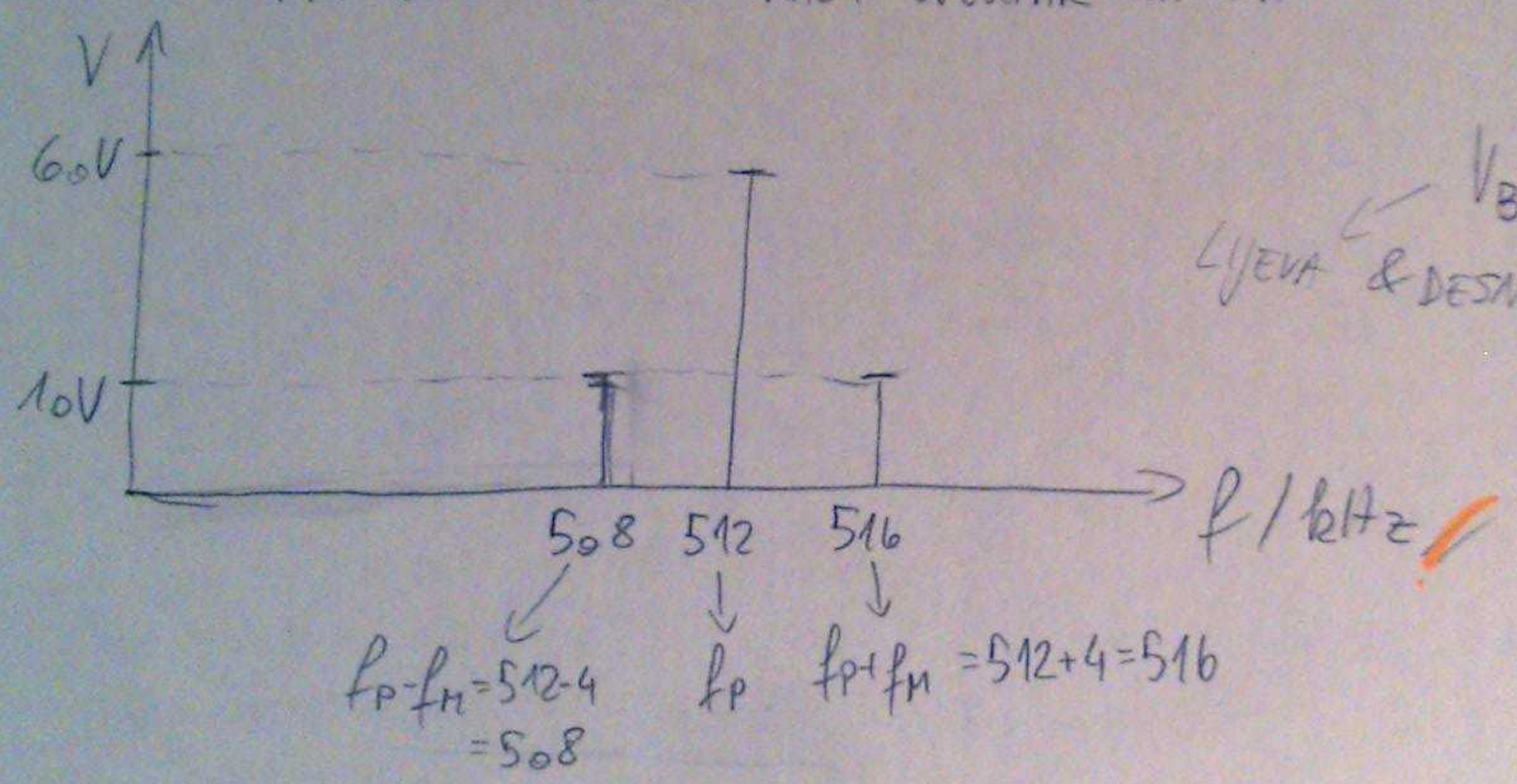
1. V_{pp} ZNAČI VOLTI PEAK-TO-PEAK, ŠTO ZNAČI OD VRHA DO VRHA (NAJVEĆE POZITIVNE VRIJEDNOSTI DO NAJMANJE NEGATIVNE VRIJEDNOSTI). TAKO JE ONDA $U_{MIN} = \frac{80\,V_{pp}}{2} = 40\,V$, A $U_{MAX} = \frac{160\,V_{pp}}{2} = 80\,V$.



. V_p JE ARITMETIČKA SREDINA V_{MIN} & V_{MAX}: $U_p = \frac{U_{MIN}+U_{MAX}}{2} = 60\,V$

$$U_{MAX} = U_p(1+m_{AM}) \Rightarrow m_{AM} = \frac{U_{MAX}}{U_p} - 1 = 0.3\dot{3}$$

2. AKO SE PRETPOSTAVI DA SE TRAŽI SPEKTAR NAPONA:



$V_{BL} = V_{BD} = V_p \frac{m_{AM}}{2} = 10\,V$

LIJEVA & DESNA BOČNA KOMPONENTA

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

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

(3.) (2. AUDITORNE - 3. ZADATAK): U KOHERENTNOM POSTUPKU DEMODULACIJE AM-SIGNALA FAZA LOKALNOG SIGNALA U DEMODULATORU (POMOĆNI SIGNAL) ODSTUPA OD FAZE PRIJENOSNOG 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 POMOĆ SIGNALA BLISKOM IZVORAOM). KOD AM-SIGNALA KOHERENTNA DEMODULACIJA SE PROVODI MNOŽENJEM AM-SIGNALA POMOĆNIM SIGNALOM, IDEALNO ISTIM PRIJENOSNOM SIGNALU.

NA POSLJETKU, NAKON OBRADE DOBIVA SE SIGNAL OBLIKA $u_{KONAČNO} = k_1 u_m(t)\cos(\Delta\varphi)$, GDJE JE $\Delta\varphi$ RAZLIKA U FAZI POMOĆNOG I PRIJENOSNOG SIGNALA ($u_{POLAZNO} = [U_{PM} + k_a u_m(t)]\cos\omega_p t$)

RJEŠENJE JE JEDNOSTAVNO, UKOLIKO POSTOJI RAZLIKA U FAZI, A OSTALE GREŠKE SU ZANEMARENE PO FORMULI $u_{KONAČNO} = k_1 u_m(t)\cos(\Delta\varphi)$, UTJECAJ FAZE (TJ. RAZLIKE FAZE) NA RAZINU DEMODULIRANOG SIGNALA JE:

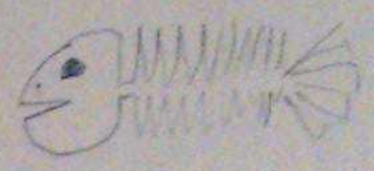
$$\cos\Delta\varphi = \cos 60^\circ = \frac{1}{2} = R$$

U DECIBELIMA (KAKO SE RADI O NAPONU STAVLJA SE 20log...):

RAZLIKA... $R = 20\log\cos\Delta\varphi = 20\log\frac{1}{2} \approx -6\,dB$

4. (2. AUDITORNE - 4. ZADATAK): RADIOFUZIJSKI FM-ODAŠILAČ RADI U SLJEDEĆIM UVJETIMA:

- FREKVENCIJA PRIJENOSNOG SIGNALA: 100 MHz
- SNAGA MODULIRANOG SIGNALA NA 50 Ω: 2.45 kW
- FREKVENCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA: 15 kHz
- DEVIJACIJA FREKVENCIJE FM-SIGNALA: 75 kHz



ODREDITI:

1. VELIČINU INDEKSA MODULACIJE
2. ŠIRINU ZAUZETOGA POJASA FREKVENCIJA
3. EFEKTIVNU VRIJEDNOST NAPONA PRIJENOSNOG SIGNALA!
4. DA LI SE RADI O ŠIROKOPOJASNOJ ILI USKOPOJASNOJ MODULACIJI FREKVENCIJE?

KOD FM-MODULACIJE MODULACIJSKI ANALOGNI SIGNAL MODULIRA FREKVENCIJU PRIJENOSNOG SIGNALA. VAŽNO JE UOČITI DA SE DODAVANJEM MODULACIJSKOG SIGNALA, SNAGA (FM-SIGNALA) IDEALNO NE MIJENJA. TO JE ZATO ŠTO SE NE MIJENJA AMPLITUDA PRIJENOSNOG SIGNALA, VEĆ FREKVENCIJA, PA SE U SPEKTRU DOGAĐA SAMO PRERASPODJELA SNAGE (VEĆ POSTOJEĆEG PRIJENOSNOG SIGNALA); $\boxed{\frac{U_{Fm}^2}{2R} = P_P = P_{FM}}$. ŠIRINA ZAUZETOG POJASA FREKVENCIJA SE ODREĐUJE EMPIRIČKOM (ISKUSTVENOM) FORMULOM, CARSONOVIM PRAVILOM: $\boxed{B = 2(f_m + \Delta f)}$; GDJE SU 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, ODNOSNO 1% VEĆA UKOLIKO SE RADI O SNAGAMA. CARSONOVO PRAVILO SE KORISTI JER SE MATEMATIČKI NE MOŽE ODREDITI ŠIRINA POJASA IZ RAZLOGA ŠTO JE SPEKTAR (AKO SE UZIMAJU SVE KOMPONENTE) BESKONAČAN, ∞ PUNO KOMPONENTI SE JAVLJA JER SE RADI O KOSINUSU KOSINUSA, ŠTO SE PRIKAZUJE JACOBIJEVIM FUNKCIJAMA.

$$u_{FM}(t) = U_p\cos\left[\omega_p t + \frac{\Delta\omega_{FM}}{\omega_M}\sin\omega_M t\right]$$

, GDJE JE ω_M FREKVENCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA, ω_p PRIJENOSNOG, A $\Delta\omega_{FM}$ DEVIJACIJA FREKVENCIJE (KOLIKO SE MAXIMALNO MIJENJA FREKVENCIJA FM-SIGNALA, DOK ω_m GOVORI O BRZINI TOG MIJENJANJA). INDEKS MODULACIJE FM-SIGNALA MOŽE BITI I VEĆI OD 1 (ZA RAZLIKU OD AM-MODULACIJE KOD KOJE SE TADA DOGAĐA PREMODULACIJA.

$\boxed{m_{FM} = \frac{\Delta\omega_{FM}}{\omega_M} = \Delta\phi_{FM}}$ ... 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: $B = 2(f_M + \Delta f) = 180\ kHz$

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

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

KAKO SE RADI O VRŠNOJ VRIJEDNOSTI (KAO U SVIM DOSADAŠNJIM RAZMATRANJIMA & FORMULAMA), EFEKTIVNA VRIJEDNOST, JER SE RADI O SINUSNOM SIGNALU, JE:

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

4. UKOLIKO JE $m_{FM} > 0.4$ RADI SE O ŠIROKOPOJASNOJ MODULACIJI FREKVENCIJE, INAČE SE RADI O USKOPOJASNOJ MODULACIJI FREKVENCIJE.

Rj.: ŠIROKOPOJASNA

(5.) (2. AUDITORNE - 5. ZADATAK) ZA PRIJENOS SIGNALA GOVORA U VHF PODRUČJU ODREĐENA JE ŠIRINA KANALA OD 25 kHz. IZMEĐU FREKVENCIJSKI MODULIRANIH SIGNALA SUSJEDNIH KANALA OSTAVLJA SE RADI OSIGURANJA POJAS ŠIRINE 9 kHz. SIGNAL GOVORA ZAUZIMA POJAS 300 Hz DO 3000 Hz. ODREDITI:

1. NAJVEĆU DOZVOLJENU DEVIJACIJU FREKVENCIJE FM-SIGNALA KOD KOJE SE MOGU PRENOSITI SVE KOMPONENTE FM-SIGNALA ČIJA JE RAZINA VEĆA OD 10% RAZINE MODULIRANOG SIGNALA!
2. U KOJEM PODRUČJU VRIJEDNOSTI SE ONDA NALAZI INDEKS MODULACIJE?
3. U KOJEM SE PODRUČJU MIJENJA DEVIJACIJA FREKVENCIJE MODULIRANOG SIGNALA AKO SE ON DOBIVA UZ POMOĆ MODULATORA FAZE KOJIM SE OSTVARUJE DEVIJACIJA FAZE U IZNOSU OD 2 RADIJANA?

PRVO JE VAŽNO UOČITI DA JE KORISNI DIO POJASA $25-9 = 16\ kHz$. TO JE ZBOG NAVEDENOG SIGURNOSNOG POJASA (KANALI SU INAČE JEDAN DO DRUGOGA, PA SE DIO UMANJUJE RADI SIGURNOSTI). DRUGO, MODULACIJSKI SIGNAL NIJE SAMO JEDAN SINUS, VEĆ MOŽE ZAUZETI BILO KOJU FREKVENCIJU IZMEĐU $f_{M,MIN} = 300\ Hz$ I $f_{M,MAX} = 3000\ Hz$ (SIGNAL GOVORA JE OVDJE KORISNA INFORMACIJA, DAKLE MODULACIJSKI SIGNAL). DAKLE MOŽEMO REĆI DA KORISNI MODULACIJSKI SIGNAL MOŽE IMATI KOMPONENTE IZ $\in \langle 300\ Hz, 3000\ Hz)$.

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

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

2. DAKLE, AKO SE UZME Δf IZ '1.', TE SE f_M NALAZI 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 ISTE,

$$m_{PM} = m_{FM} = \underbrace{\Delta\phi_{PM}}_{\text{DEVIJACIJA FAZE}} = \frac{\Delta\omega_{PM}}{\omega_M}$$

$$\Delta\phi_{PM} = \frac{\Delta\omega_{PM}}{\omega_M} = \frac{\Delta f}{f_M} \quad \Big| \quad \Delta f = \Delta\phi_{PM} \cdot f_M$$

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

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

(2. AUDITORNE, 6. ZAD.):

6. MODULACIJA FREKVENCIJE KORISTILA SE ZA EMITIRANJE TV-SIGNALA SA RADIODIFUZIJSKOG SATELITA ZA IZRAVNI PRIJAM (DBS, 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 IZDIŽE RAZINU KOMPONENTE NAJVIŠE MODULACIJSKE FREKVENCIJE OD 5 MHz ZA 2 dB U ODNOSU NA REFERENTNU RAZINU NA 1.5 MHz.

ODREDITI:

1. ŠIRINU POJASA POTREBNU ZA PRIJENOS MODULIRANOG SIGNALA KOJI UKLJUČUJE SVE KOMPONENTE ČIJA JE RAZINA VIŠA OD 10% RAZINE PRIJENOSNOG SIGNALA, A KAD JE AKCENTUACIJA I SKLJUČENA

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

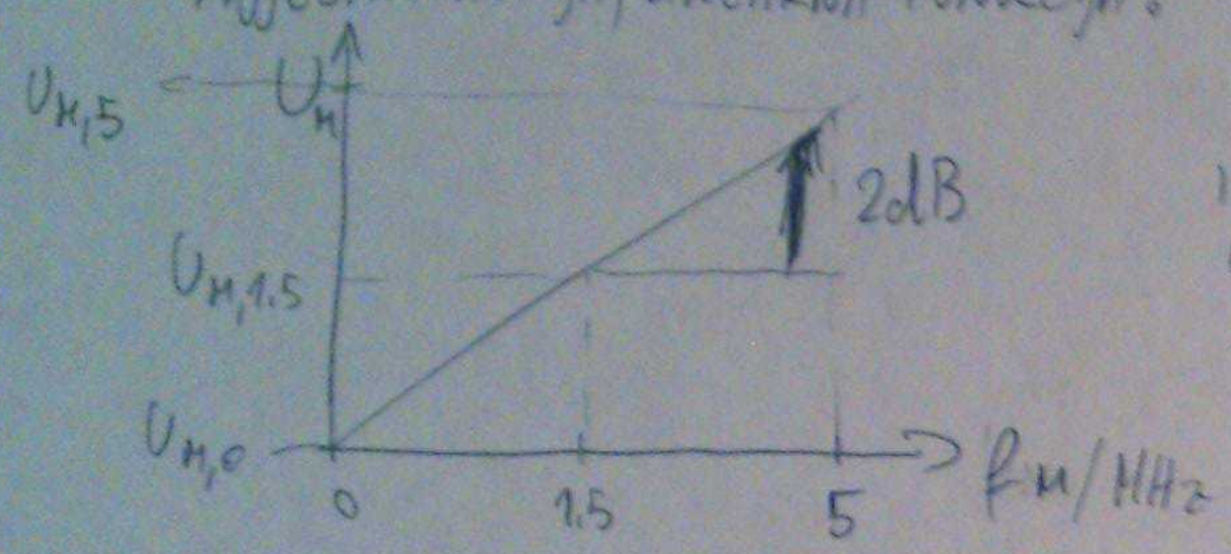
1. $\Delta f_{1.5} = 6.75\,MHz$; $f_{M,0} = 0\,MHz$, $f_{M,5} = 5\,MHz$ → MODULACIJSKI SIGNAL

KAKO PIŠE SVE KOMPONENTE UZIMA SE $f_{M,5}$, A AKCENTUACIJA ISKLJUČENA ⇒ ZNAČI DA SU RAZINE MODULACIJSKOG SIGNALA JEDNAKE ZA SVE MODULACIJSKE FREKVENCIJE, A TO ZNAČI DA SU IM I Δf JEDNAKE (JER $\Delta f = kU_M$).

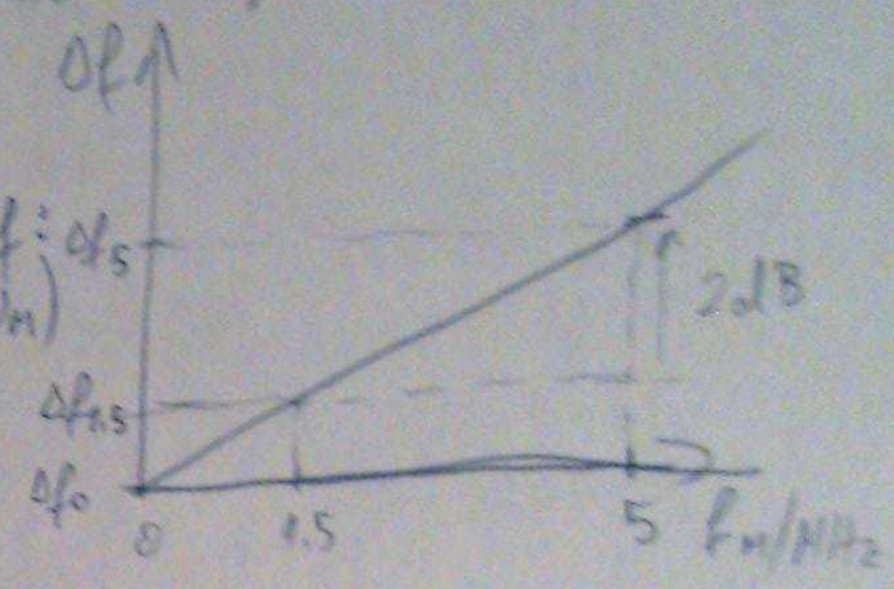
CARSON: $B = 2(f_M + \Delta f) = 2(f_{M,5} + \Delta f_{1.5}) = 23.5\,MHz$

SVE SU JEDNAKE!

2. UZ UKLJUČENU AKCENTUACIJU NISU SVE KOMPONENTE JEDNAKE (MODULACIJSKOG SIGNALA), PRETPOSTAVLJA SE NAJJEDNOSTAVNIJA, LINEARNA FUNKCIJA:



ISTO TAKO Δf: (jer $\Delta f = kU_M$)



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

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

ZATIM SE U CARSONOVO PRAVILO UZIMAJU Δf_5 i $f_{M,5}$, JER PIŠE 'SVE KOMPONENTE': $B = 2(f_{M,5} + \Delta f_5) = 27\,MHz$

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

ZADACI KOJI SE NA 2. PREDAVANJE (DO DISK. MODULACIJE) ALI SU IZVAN AUDITORNIH - S ISPITA I IZ ZBIRKI

(1.2.1.-1.LABOS, 1.ZAD.): NACRTAJTE VALNI 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]

NAPIŠITE MATEMATIČKI IZRAZ KOJI OPISUJE OVAJ AM SIGNAL.

$$m_{AM} = \frac{U_M}{U_P} = \frac{1}{3}$$

$$u_{AM}(t) = U_P(1 + m_{AM}\cos\omega_M t)\cos\omega_P t$$

$U_M = 1$, $U_P = 3$ → AMPLITUDE

$$u_{AM}(t) = 3(1 + 0.\dot{3}\sin 200\pi t)\cos(2000\pi t)$$

$$\omega_M = 200\pi = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T_M = 0.01\,s$$

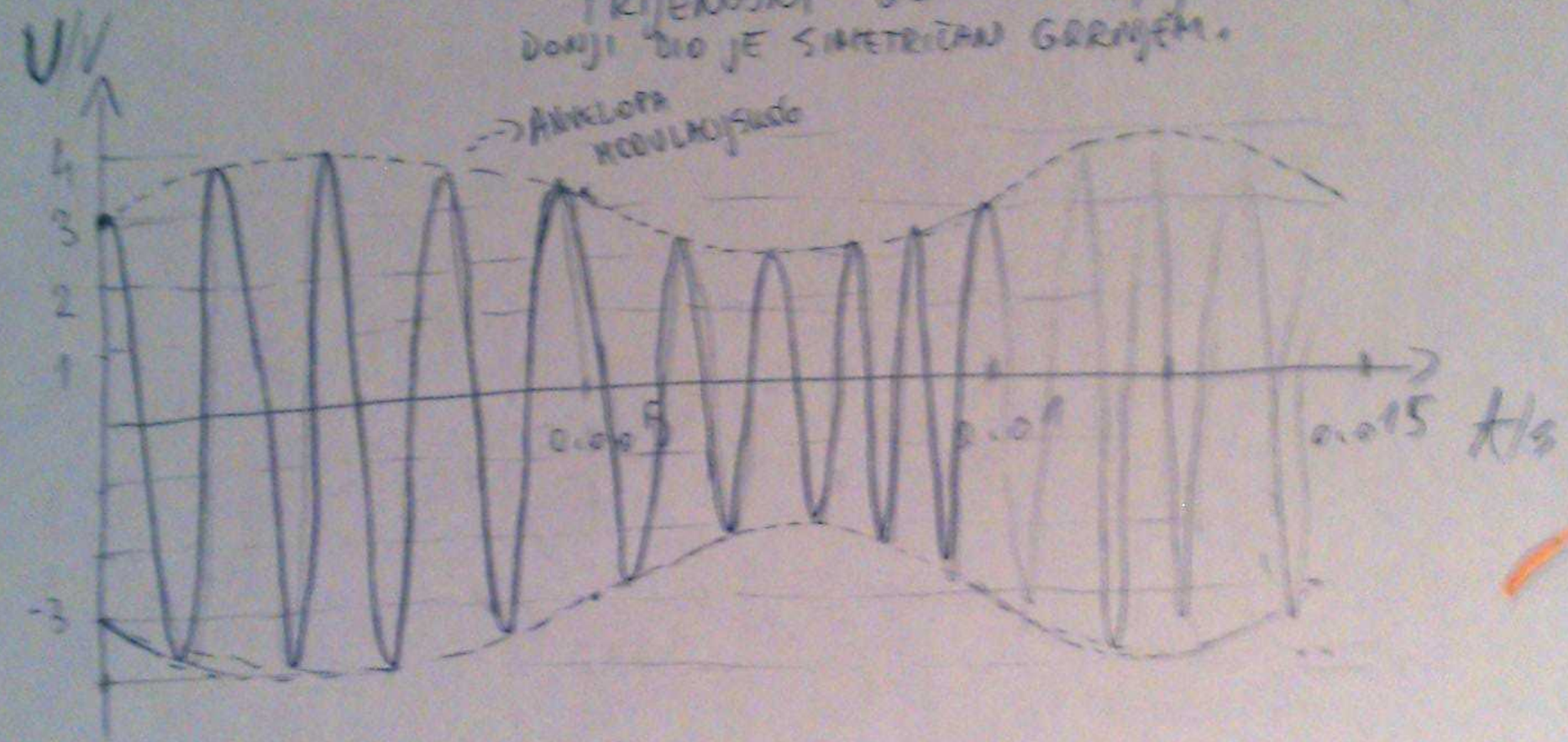
$$\omega_P = 2000\pi \Rightarrow T_P = 0.001\,s$$

→ PERIODE MODULAC. I PRIJ. SIGNALA

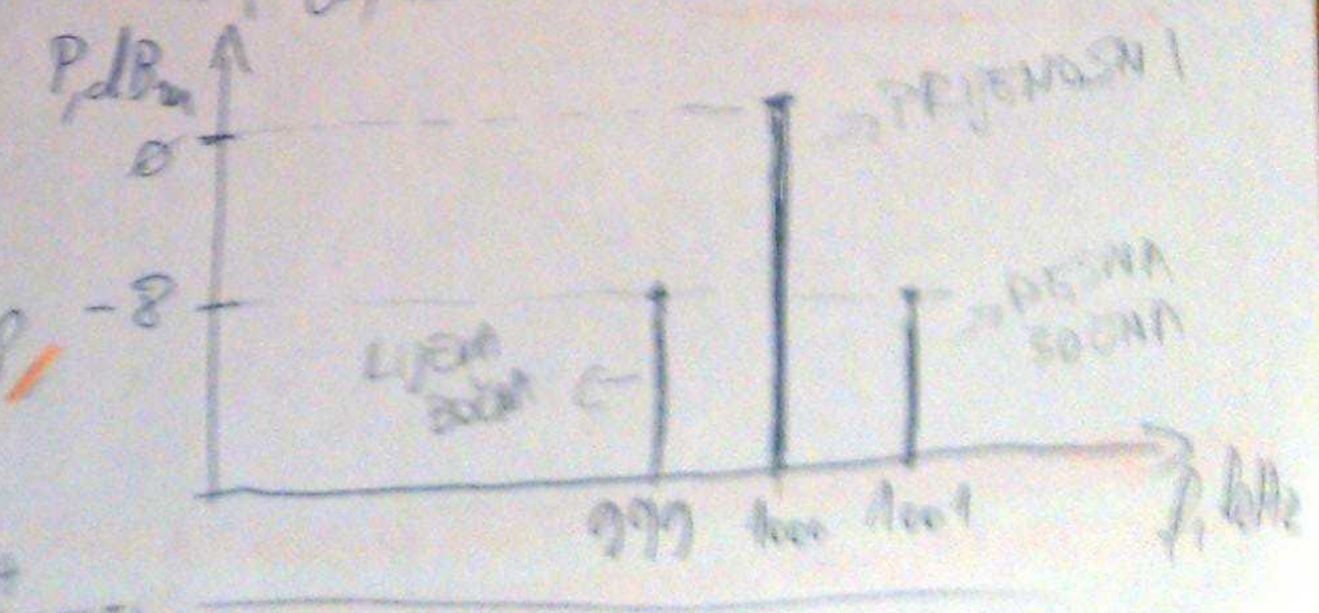
KAKO JE $u_M = \sin 200\pi t$, TJ. SINUS, ON POČINJE OD NULE, DOK PRIJENOSNI OD MAK. VRIJEDNOSTI (u $t=0$)

DONJI DIO JE SIMETRIČAN GORNJEM.

SKICA:



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



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

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

$$P_{BML} = P_{MD} = 0.158\,P_P \Rightarrow \frac{P_{MD}}{P_P} = 0.158$$

b) $$P_{MD} = P_P\left(\frac{m_{AM}^2}{4}\right) = P_{MD}$$ → IZNOSI BOČNIH KOMPONENTI

$$\Downarrow$$

$$m_{AM} = \sqrt{\frac{4P_{MD}}{P_P}} = 0.795$$

(TSM-77-2002-5.1ZAD.): OBREDITI UKUPNU SNAGU AM SIGNALA NA TERETU OTPORA $R=50\Omega$, AKO JE AMPLITUDA NOSEĆEG SIGNALA $A_0=10V$, FREKVENCIJA $100\,kHz$, MODULACIJSKI SIGNAL SINUSNI, $f_M=1\,kHz$, KOEFICIJENT AMPLITUDNE MODULACIJE $m_{AM}=0.9$, NACRTATI SPEKTAR.

$A_0 = U_P = 10V$; $f_P = 100\,kHz$; $f_M = 1\,kHz$; $m_{AM} = 0.9$

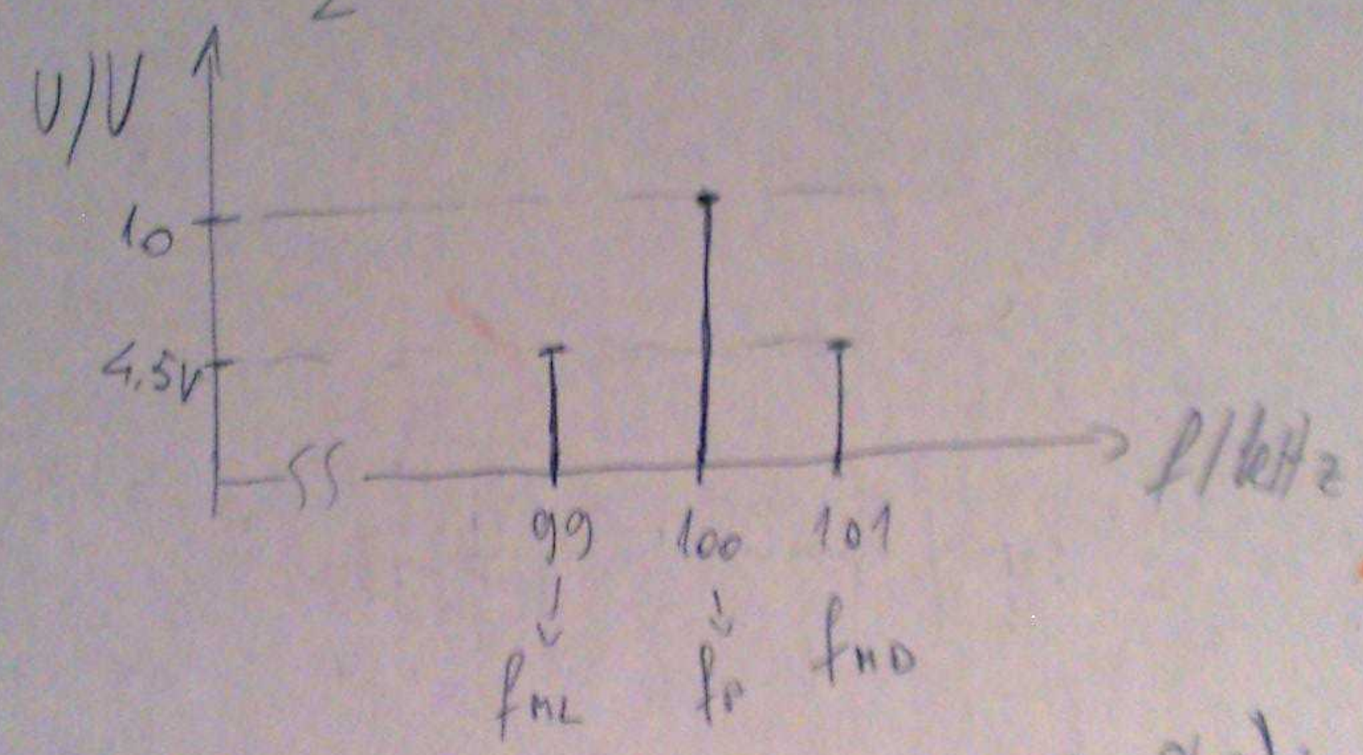
PRIJENOSNI

$$P_P = \frac{U_P^2}{2R} = 1W$$ → SNAGA PRIJENOSNOG S.

$$P_{AM} = P_P\left(1+\frac{m_{AM}^2}{2}\right) = 1.405W$$ → UKUPNA AM SNAGA

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

$$U_{ML} = U_{MD} = U_P \cdot \frac{m_{AM}}{2} = 4.5V$$ → BOČNE KOMPONENTE



(1.MI-2009/10.-1.ZADATAK; UJEDNO I ZADNJI ZAD. IZ Z1-2008/09): SNAGA PRIJENOSNOG SIGNALA KOD AM SIGNALA IZNOSI 100W, DOK JE INDEKS MODULACIJE 80%. KOLIKA JE UKUPNA SNAGA AM-SIGNALA?

$m_{AM} = 80\% = 0.8$; $P_P = 100W$

$$P_{AM} = P_P\left(1+\frac{m_{AM}^2}{2}\right) = 132W$$

(1.MI-2009/10-7.ZADATAK): SIGNAL (GOVORA) SE MODULIRA FREKVENCIJSKOM MODULACIJOM UZ INDEKS MODULACIJE 0.3. SIGNAL GOVORA ZAUZIMA FREKV. PODRUČJE IZMEĐU 300Hz I 3000Hz. ODREDI ŠIRINU POJASA FM-SIGNALA KOJA ĆE PRENIJETI SVE SIGNALE.

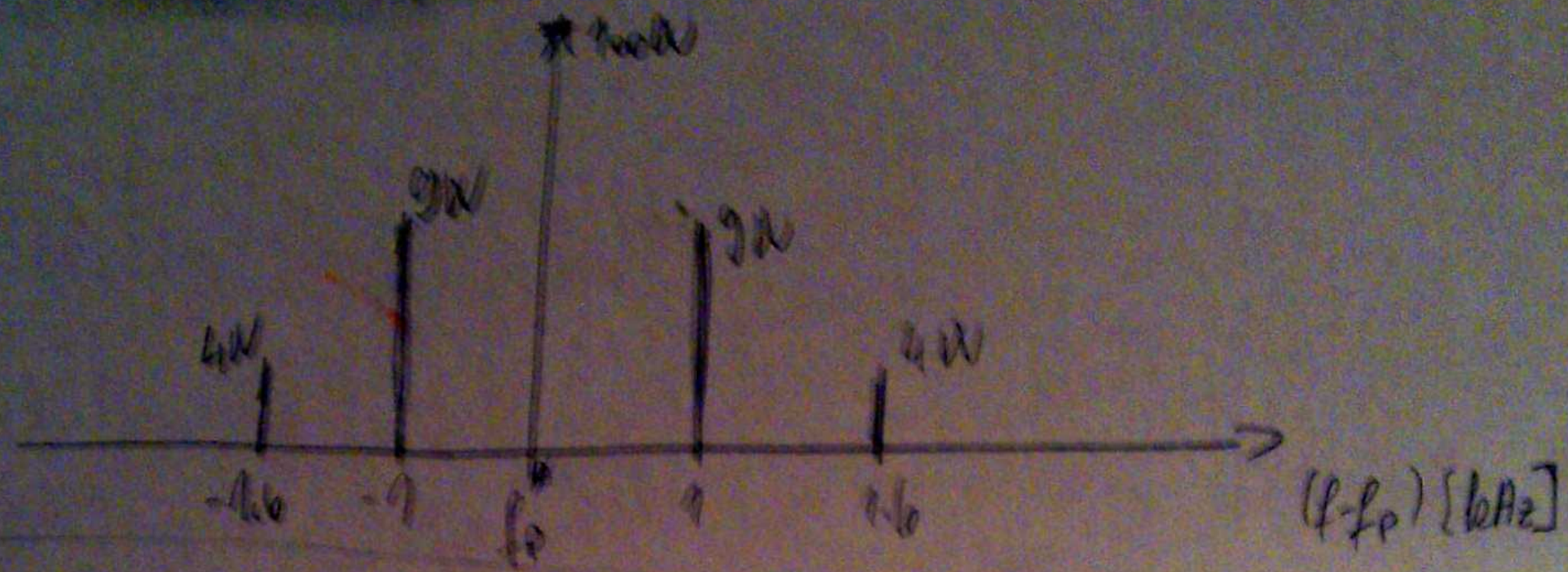
$$m_{FM} = \frac{\Delta f}{f_M}$$ UZIMAMO $f_M = 3000Hz$, DA PRENESEMO SVE KOMPONENTE SIGNALA

$$\Downarrow$$

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

CARSON: $B = 2(f_M + \Delta f) = 7.8\,kHz$

(1. MI - 2009/10 - 8. ZADATAK): PRI AM-MODULACIJI KORISTI SE MJERILO SNAGE OTPORA 50 Ω. A SPEKTAR (DESNO) JE NA JEDNOJ SLICI. ODREDITI a) 12 MOS PRIJENOSNOG SIGNALA? b) AMPLITUDE KOMPONENATA MODULACIJSKOG SIGNALA = ?



$P_p = 100W$ → PRIJENOSNA

$P_{M1L} = P_{M1D} = 9W$ → PRVE BOČNE KOMPONENTE

$P_{M2L} = P_{M2D} = 4W$ → DRUGE BOČNE KOMPONENTE

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

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

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

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

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

$\Delta\phi = 1.4$ rad, $f_M = 2kHz$

$m_{FM} = \Delta\phi = \frac{\Delta f}{f_M} \Rightarrow \Delta f = \Delta\phi \cdot f_M = 2.8\ kHz$

(IZRAZ FORMULE MOŽE I FM)

(1.MI-2011/12-8.ZAD.): MODULIRANI SIGNAL IZ POJASA (300-3400Hz) MODULIRA FREKV. VISOKOFREKVENTNOG SIGNALA. DEVIJACIJA FREKVENCIJE JE 200bHz.
a) ŠIRINA POJASA DOBIVENOG SIGNALA JE? b) INDEKS MODULACIJE = ?
c) JE LI TO ŠIROKOPOJASNA ILI USKOPOJASNA MODULACIJA F.?

---

a) $B = 2(f_M + \Delta f) = 10.8\,kHz$ ODMAH SE RADI O FM (MODULIRA SE FREKV. ITD.)

↓ UZIMAMO MAKSIMALNU (3400Hz)

b) $m_{FM} = \frac{\Delta f}{f_M} = 0.59$

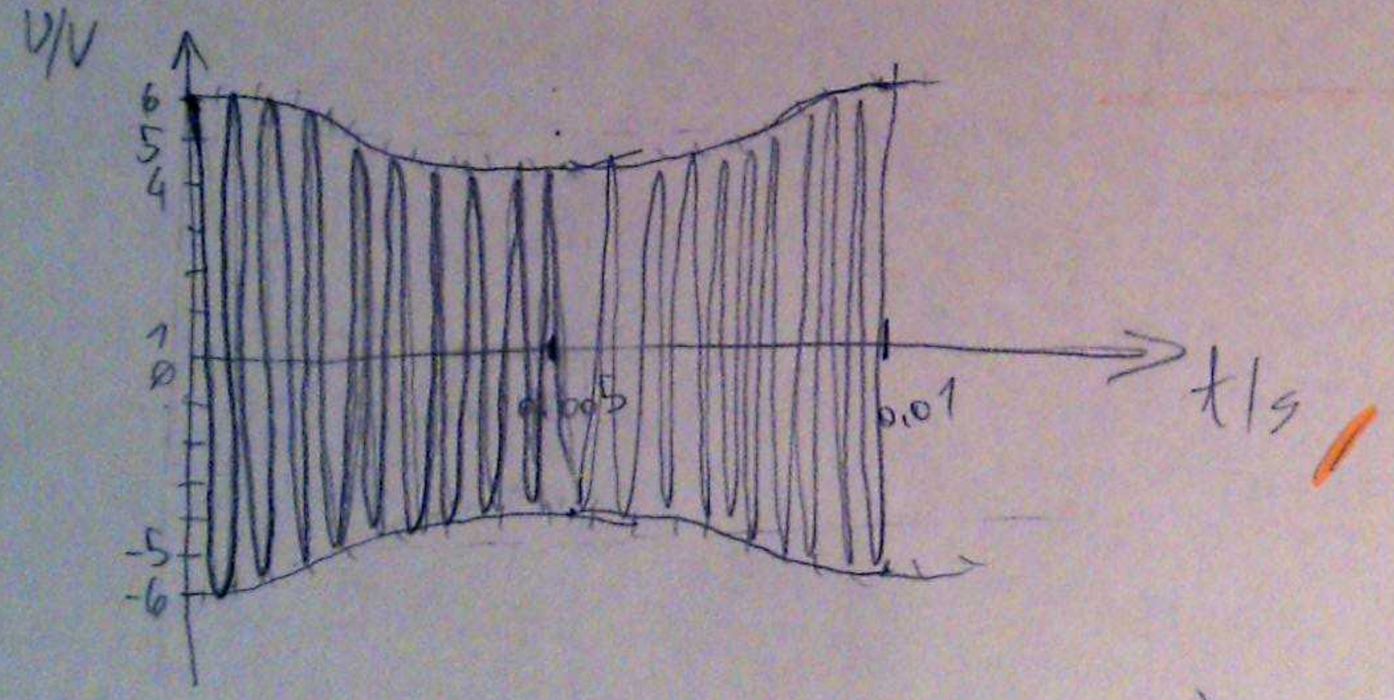
↳ ISTO MAX.

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!

$U_P = 5V$, $U_M = 1V$ $\quad m_{AM} = \frac{U_M}{U_P} = 0.2$ $\quad \omega_P = 4000\pi \Rightarrow T_P = 5\cdot10^{-4}s$

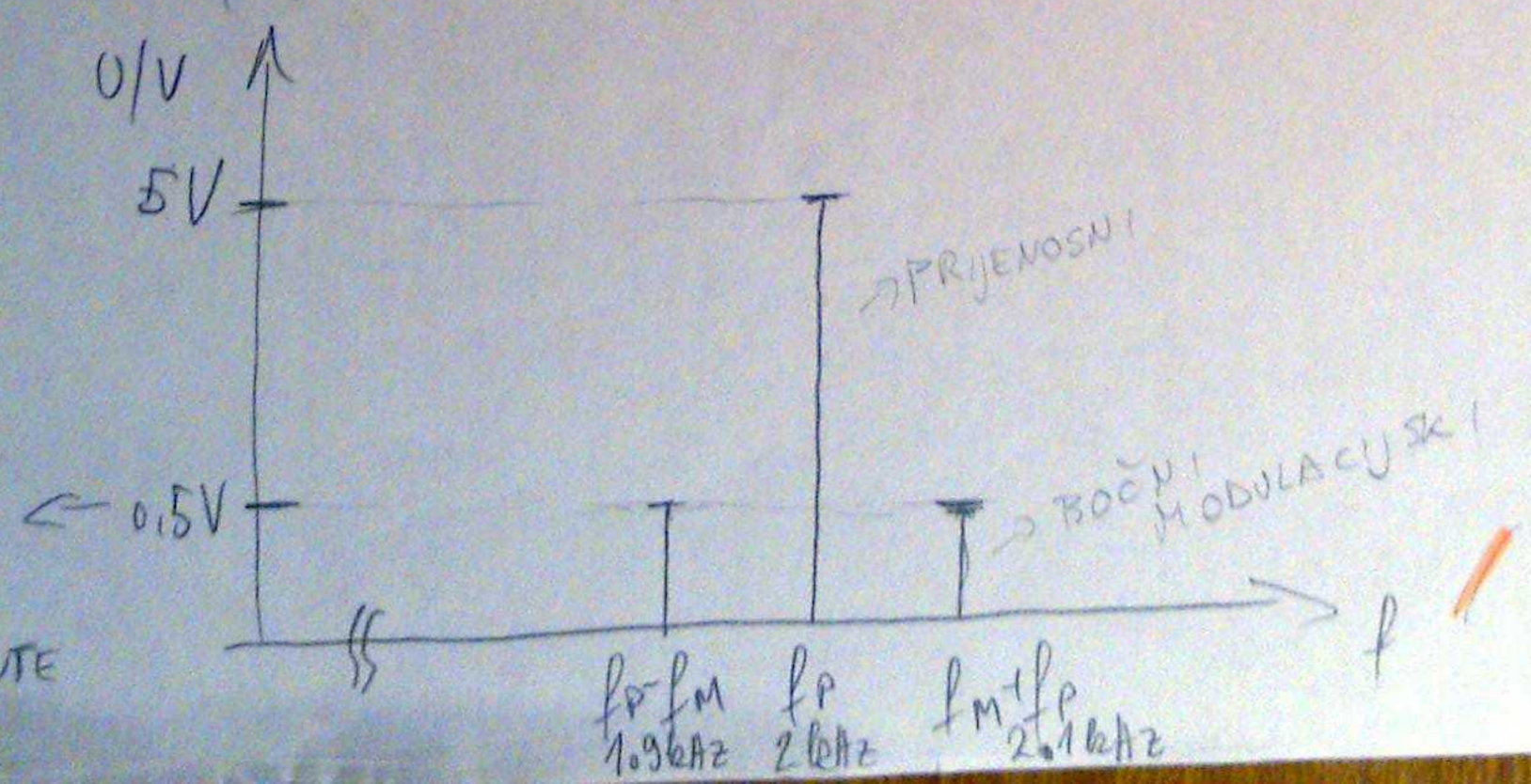
$\omega_M = 200\pi \Rightarrow T_M = 0.01s$



OBA su cos... PA POČINJU IZ MAKSIMALNE VRIJEDNOSTI

SPEKTAR: (NAPON) $f_P = 2000Hz$ $(\omega_P = 2\pi f_P)$

$f_M = 100Hz$



JER SE DIJELI NA 2 KOMPONENTE

(21-2011/12-B.ZAD.) NAJMANJA AMPLITUDA AM-SIGNALA JE $40\,V_{pp}$, NAJVEĆA $80\,V_{pp}$, FREKVENCIJA NOSIVOG SIGNALA JE 100 kHz, A MODULACIJSKOG 10 kHz. ODREDI:
a) INDEKS MODULACIJE b) SNAGU AM-SIGNALA NA OTPORNIKU OD $50\,\Omega$
c) SPEKTAR SNAGE (ISTO UZ $R=50\,\Omega$)

a) $V_{MIN} = \frac{40}{2} = 20V$ (JER JE V_{pp} - PEAK TO PEAK)

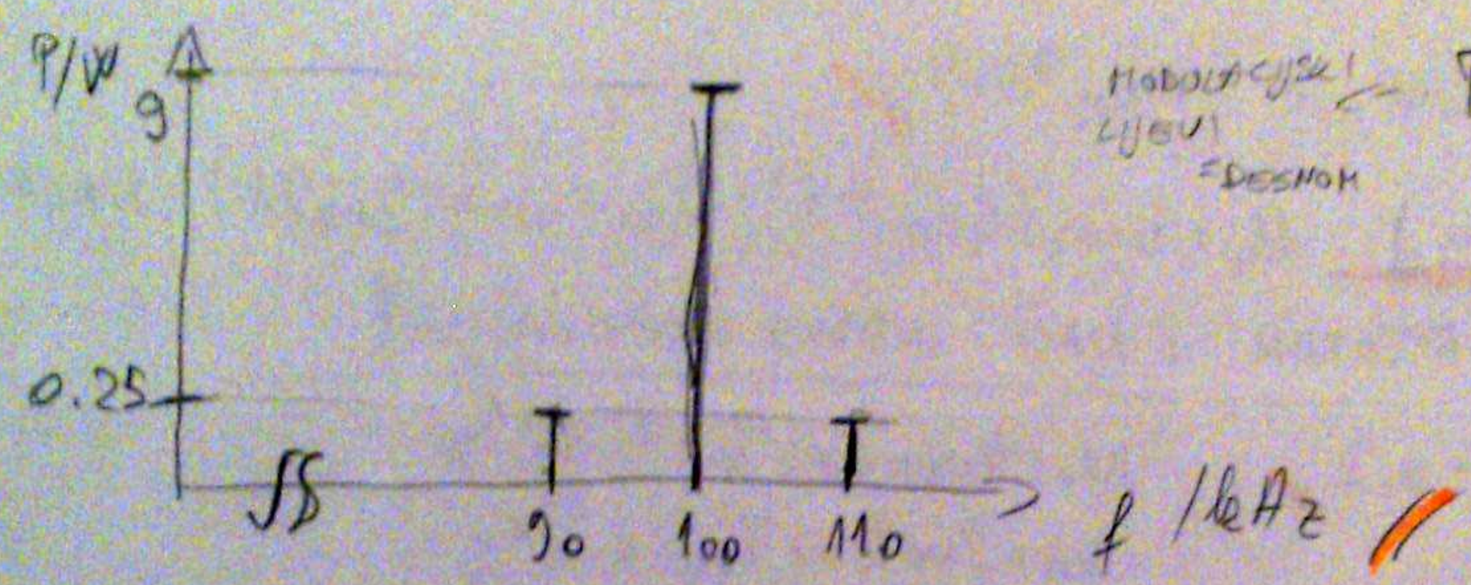
$V_{MAX} = 40\,V$ $\qquad V_P = \frac{V_{MIN}+V_{MAX}}{2} = 30\,V$

$V_{MAX} = V_P(1+m_{AM}) \Rightarrow m_{AM} = \frac{V_{MAX}}{V_P} - 1 = 0.3\dot{3}$

b) $P_P = \frac{V_P^2}{2R} = 9\,W$ (PRIJENOSNA S.)

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

c)



MODULACIJSKI LIJEVI = DESNOM $\rightarrow$ $P_{ML} = P_{MD} = P_P \cdot \frac{m_{AM}^2}{4}$

$P_{ML} = P_{MD} = 0.25\,W$

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

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

$\Delta\phi = 2\,rad = m_{PM} = m_{FM} = \frac{\Delta f}{f_M}$; $f_M \in \langle 300, 3400\rangle Hz$ $\rightarrow$ MODULACIJSKA FREKVENCIJA

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

$\Delta f_{MAX} = f_{M,MAX} \cdot 2\,rad = 6800\,Hz$

MINIMALNA FREKV. UZRKOVANJA ODREĐENA JE NYQUISTOVIM PRAVILOM UZORKOVANJA:

$f_U \geq 2 f_{M,MAX} \Rightarrow f_U = 6800\,Hz$ ($f_{M,MAX}$ $\downarrow$ KORISNI SIGNAL)

UKOLIKO SE KORISTI NAVEDENA MODULACIJA, ŠIRINA POJASA ODREĐENA JE CARSONOVIM PRAVILOM, TE SE TA ŠIRINA U OVOM SLUČAJU PROŠIRUJE ZA 25% ($\alpha=0.25$) (CARSON OBUHVAĆA MINIMALNO POTREBNO)

$B_\alpha = B(1+0.25) = 2(f_M + \Delta f)(1+0.25) = 25.5\,kHz$

(f_M $\downarrow$ MAX., Δf $\downarrow$ MAX. (DA SE UZMU SVI SIGNALI))

(ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011./12. - 26. ZAD.) 3 KOD FM SIGNALA FREKVENCIJA PRIJENOSNOG SIGNALA JE 100 MHz, MODULACIJSKOG SIG. 15 kHz, DOK JE DEVIJACIJA FREKVENCIJE MODULACIJSKOG SIGNALA 75 kHz. ODREDITI SNAGU DISIPIRANU NA OTPORU OD 50 Ω. AMPLITUDA SINUSNOG PRIJENOSNOG SIGNALA JE 100 V, A MODULACIJSKOG SIG. 8 V.

$\Delta f = 75\,kHz$

$f_M = 15\,kHz$ $\quad m_F = \frac{\Delta f}{f_M} = 5 > 0.4$

$$P_P = \frac{U_P^2}{2R} = 100\,W$$

$P_{FM} = P_P = 100\,W$, JER FM MODULACIJA NE MIJENJA SNAGU :)

GRADIVO 3. PREDAVANJA - DISKRETNE MODULACIJE

3. Auditorne

ŠTO SE TIČE DISKRETNIH MODULACIJA, RADI SE O ANALOGNOM PRIJENOSNOM SIGNALU, DOK JE MODULACIJSKI SIGNAL DISKRETAN. KOD FSK MODULACIJE, ZA RAZLIKU OD FM-MODULACIJE, FREKVENCIJA POPRIMA JEDNO OD DISKRETNIH STANJA. OGLAVNOM 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 BOLJIH OSOBINA. KOD BFSK POSTUPKA VRIJEDNOSTI MODULACIJSKOG SIGNALA "0" PRIDAJE SE NIŽA FREKVENCIJA, A ZNAKU "1" VIŠA, TE SU ONE UDALJENE ZA ZA DVOSTRUKU VRIJEDNOST DEVIJACIJE FREKVENCIJE, DOK JE PRIJENOSNA FREKVENCIJA NA ARITMETIČKOJ SREDINI TIH DVAJU FREKVENCIJA (ZA ZNAK "1" SE f_P DODAJE Δf, DOK SE ZA ZNAK "0" ODUZIMA $f_P - \Delta f$): $\boxed{f_1 = f_P + \Delta f \;;\; f_0 = f_P - \Delta f}$

$\boxed{f_1 - f_0 = 2\Delta f \;;\; f_P = \frac{f_1 + f_0}{2}}$. ŠTO SE TIČE INDEKSA MODULACIJE, KORISTI SE FORMULA KOJA JE ISTA KAO I KOD FM-MODULACIJE: $\boxed{m_{FSK} = \frac{\Delta f}{f_M} = 2\Delta f\, T_b}$.

$f_M = \frac{1}{2T_b}$, TJ. $f_M = \frac{1}{2T_s}$ KOD M-FSK IZLAZI IZ POVEZANOSTI f_M (MAKSIMALNE FREKV. SIGNALA, TJ. INFORMACIJE - MODULACIJSKOG SIGNALA) S FREKVENCIJOM UZORKOVANJA I BRZINOM PRIJENOSA BITA (1. AUDITORNE). ŠTO SE TIČE ZAUZETOSTI POJASA, KORISTI SE CARSONOVO PRAVILO IZ FM-MODULACIJE: $\boxed{B = 2(\Delta f + f_M) = 2\left(\Delta f + \frac{1}{2T_b}\right)}$,

SREDINA POJASA JE NA f_P.

1. (3. AUDITORNE - 1. ZAD.): DIGITALNI PODACI BRZINE 1200 bit/s PRENOSE SE POMOĆU 3FSK MODEMA ANALOGNIM TELEFONSKIM KANALOM KOJI OMOGUĆUJE PRIJENOS GOVORNOG SIGNALA U POJASU OD 300Hz DO 3400Hz. ZNAKU "0" PRIDRUŽENA JE DISKRETNA FREKVENCIJA OD 1300Hz, A ZNAKU "1" FREKVENCIJA 2100Hz. 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 PROVJERU REZULTATA, DA VRIJEDNOSTI BUDU UNUTAR TE GRANICE).

$f_0 = 1300Hz$, $f_1 = 2100Hz$, $R_b = 1200$ bit/s

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

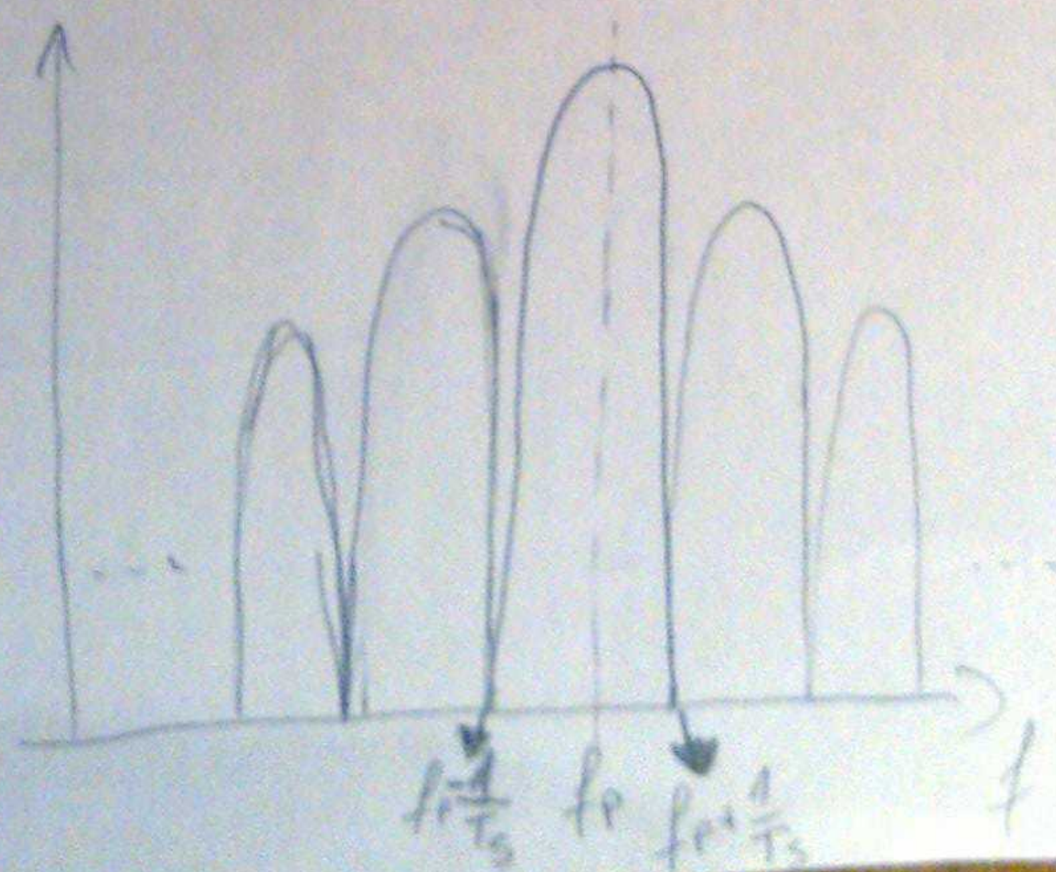
2. $f_1 - f_0 = 2\Delta f \Rightarrow \Delta f = \frac{f_1-f_0}{2} = 400Hz$

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

4. $B = 2(\Delta f + f_M) = 2(\Delta f + \frac{1}{2T_b}) = 2kHz$. KAKO JE f_p NA SREDINI POJASA, ZNAČI DA SU GRANIČNE frekv.: $f_{MIN} = f_p - \frac{B}{2} = 700Hz$

$f_{MAX} = f_p + \frac{B}{2} = 2700Hz$

KOD PSK POSTUPAKA, FAZA POPRIMA DISKRETNE VRIJEDNOSTI, ŠTO SE PRIKAZUJE U DIJAGRAMU STANJA (KONSTELACIJSKI DIJAGRAM). IDEALNA, NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA JE $B_N \geq R_s$, TJ. $\boxed{B_N = R_s}$ (MINIMALNO MOGUĆA ŠIRINA). U SPEKTRU, ČESTO SE PRIKAZUJE DVOJNICA SNAGE (ISPOD KOJE JE DŽUMBUS ☺). VAŽNO JE UOČITI PRVE NULTOČKE ZA PSK POSTUPKE, I PRIPAZITI, JER ONE NE OZNAČAVAJU ŠIRINU ZAUZETOG POJASA!



(2) (3. AUDITORNE - 2. ZAD.): 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 KAD SE ZA FILTRIRANJE KORISTIŠ 1. IDEALNI NYQUISTOV FILTAR

2. FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBLJENJEM FAKTORA 0.3!

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

NYQUIST

$B_N = 4.224\ MHz$; OPET, SREDINA POJASA JE NA f_P, PA:

$f_{MIN} = f_P - \frac{B_N}{2} = 2997.89\ MHz$

$f_{MAX} = 2402.112\ MHz$

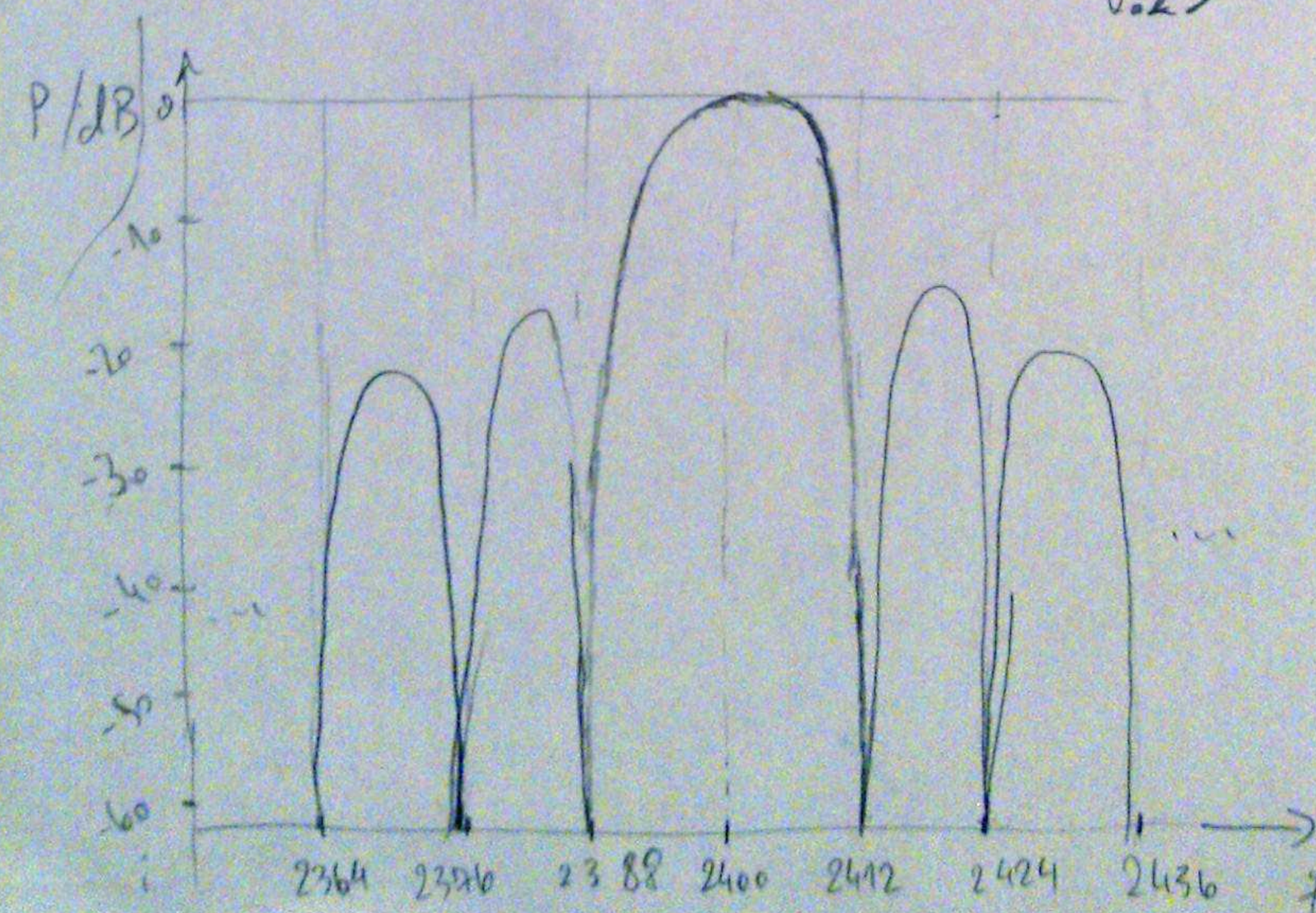
2. $B = B_N(1+\alpha) = 5.4912\ MHz$

$f_{MIN} = 2397.2544\ MHz$

$f_{MAX} = 2402.7456\ MHz$

(3) (3. AUDITORNE - 3. ZAD.): ANALIZOM SPEKTRA IZMJEREN JE SPEKTAR SNAGE 8-PSK SIGNALA KAO NA SLICI. ODREDITI: 1. BRZINU PRIJENOSA BITA

2. SPEKTRALNU UČINKOVITOST AKO SE UPOTRIJEBI FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBLJENJEM FAKTORA 0.25



29

1.8 PSK POSTUPAK OZNAČAVA 3 BITA/SIMBOL, $W=3$ ($\log_2 8$). FREKVENCIJA PRIJ. SIGNALA SE OČITA SA SLIKE: $f_P = 2400\,MHz$, DOK JE PRVA DESNA NULTOČKA:

$$f_P + \frac{1}{T_S} = 2412\,MHz \Rightarrow \frac{1}{T_S} = 12\,MHz \Rightarrow R_S = 12\,MBd$$

Bd = BAUD (SIMBOL U SEKUNDI)

$$R_b = W \cdot R_S = 3R_S = 36\,M\,bit/s$$

2. SPEKTRALNA UČINKOVITOST: $S.U. = \frac{R_b}{B} = \frac{R_b}{B_N(1+\alpha)}$, S TIM DA JE KOD PSK SIGNALA, KAO ŠTO JE SPOMENUTO $B_N = R_S$, PA:

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

OPASKA: KADA NE BI BILO α, TJ. DA SE KORISTI IDEALNI FILTAR S.U. BI BILA $\frac{R_b}{R_S} = 3$

(4.) (3. AUDITORNE - 4. ZADATAK): DIGITALNI PODACI PRENOSE SE BRZINOM OD 19200 bit/s KORISTEĆI QPSK POSTUPAK I KOSINUSNI FILTAR S FAKTOROM ZAOBLJENJA 0.5. SNAGA MODULIRANOG SIGNALA NA ULAZU U PRIJAMNIK IZNOSI 1 mW, A GUSTOĆA SNAGE ŠUMA JE $6 \cdot 10^{-15}$ W/s.

1. KOLIKI JE OMJER SNAGA SIGNALA I ŠUMA U POJASU MODULIRANOG SIGNALA?
2. KOLIKI JE OMJER ENERGIJE SIMBOLA I GUSTOĆE SNAGE ŠUMA?

1. QPSK ⇒ 2 BITA/SIMBOL → $W=2$; $N_0 = 6 \cdot 10^{-15}$ W/s

OMJER SNAGE PRIJENOSNOG SIGNALA (SNAGE DISKRETNO-MODULIRANOG SIGNALA, C) I SNAGE ŠUMA (NOISE) JE: $\frac{C}{N}$; $N = N_0 B$ → FREKV. POJAS

N_0 → GUSTOĆA SNAGE ŠUMA

$$B_N = R_S = \frac{R_b}{W} = \frac{R_b}{2} = 9600\,Hz$$

$B = B_N(1+\alpha) = 14400\,Hz$; $N = N_0 B = 8.64 \cdot 10^{-11}\,W$; $C = 1\,mW$ (ZADANO)

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

2. ENERGIJA SIMBOLA ĆE SE DOBITI IZ SNAGE [redacted] $\left(\text{SNAGA JE } \frac{\text{ENERGIJA}}{\text{VRIJEME}}\right)$:

SNAGA [redacted] JE UPRAVO SNAGA KOJA JE ZADANA (SNAGA MODULIRANOG SIGNALA), TE JE POTREBNO POMNOŽITI S TRAJANJEM SIMBOLA DA BI SE DOBILA ENERGIJA:

$$E_S = C \cdot T_S = C \cdot \underbrace{2T_b}_{QPSK(M=2)} = C \cdot \frac{2}{R_b} = 1.042 \text{ Ws ili Joula}$$

$$\frac{E_S}{N_0} = 17.36$$

(5) [redacted]: KOMUNIKACIJSKIM SUSTAVOM koji KORISTI DIFERENCIJALNI BPSK-POSTUPAK PRENOSE SE PODACI BRZINOM 2.048 Mbit/s. GUSTOĆA SNAGE ŠUMA U PRIJENOSNOM KANALU IZNOSI $4 \cdot 10^{-15}$ Ws. KOLIKA MORA BITI IZLAZNA SNAGA ODAŠILJAČA DA SE OSTVARI VJEROJATNOST POGREŠKE OD 10^{-5}, AKO SE NA PRIJENOSNOJ STAZI OD ODAŠILJAČA DO PRIJEMNIKA SNAGA SIGNALA PRIGUŠI 90dB!

KAŽE DBPSK POSTUPKA (DIFERENCIJALNOG BPSK) VJEROJATNOST POGREŠKE BITA JE:

$$\boxed{p_{Eb} = \frac{1}{2} e^{-E_b/N_0}}$$

E_b ... ENERGIJA BITA

N_0 ... GUSTOĆA SNAGE ŠUMA

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

$$p_{Eb} = \frac{1}{2} e^{-E_b/N_0} \Rightarrow \left[\ln(2p_{Eb})\right] \cdot N_0 = -E_b$$

$$E_b = 4.33 \cdot 10^{-14} \text{ J (ili Ws)}$$

$$\text{SNAGA} \rightarrow C_{PRIJEM} = \frac{E_b}{T_b} = E_b \cdot R_b = 8.86 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

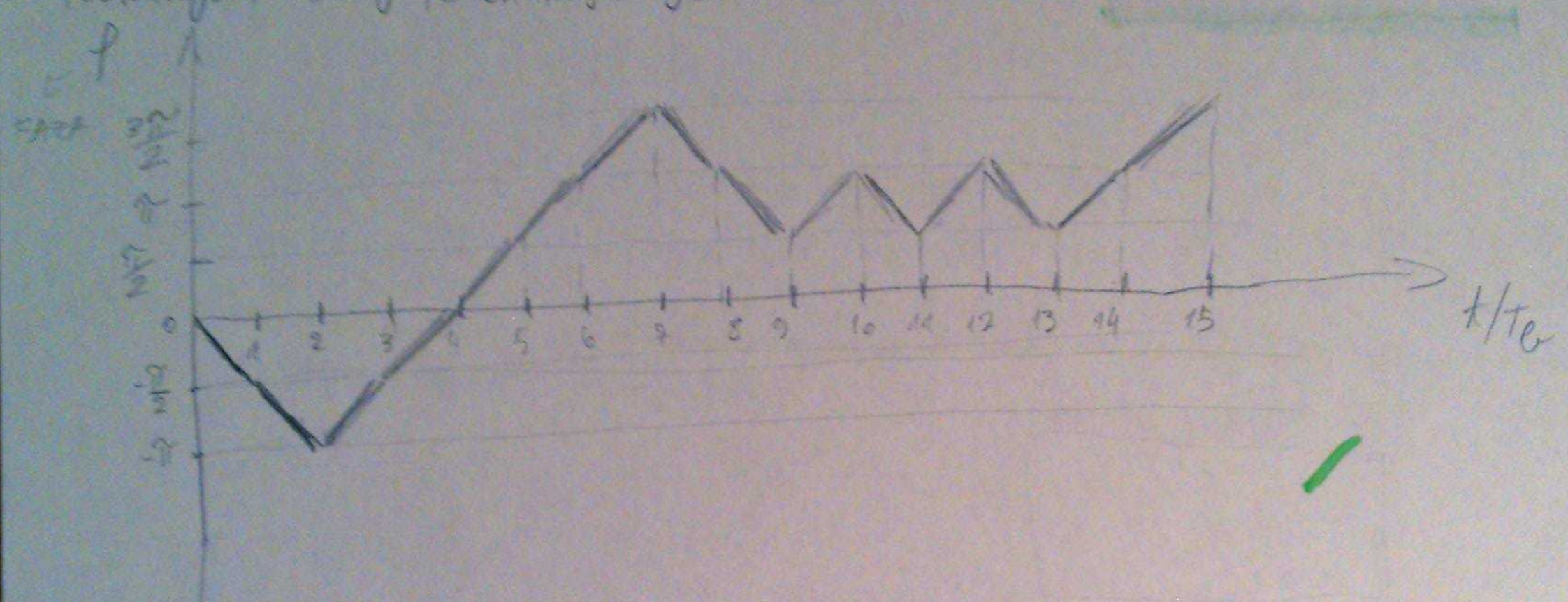
C_{IZLAZ} MORA IMATI BITI 90dB VEĆI OD PRIJEMA DA BI SE KOMPENZIRALO GUŠENJE ($L = 90$dB):

$$C_{IZLAZ}\Big|_{dB} = C_{PRIJEM}\Big|_{dB} + 90\text{dB} \Rightarrow C_{IZLAZ} = C_{PRIJEM} \cdot 10^{90/10} = 88.6 \text{ W}$$

(6.) (3. AUDITORNE - 6. ZADATAK): BINARNI SLIJED PODATAKA 0 0 1 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 TRENUTKU $t=0$ BILA JEDNAKA $f_0=0$.

KOD MSK MODULACIJE INDEKS MODULACIJE JE $m_F=0.5$. INAČE SU KOD DISKRETNIH POSTUPAKA (UZ IZNIMKE) PROMJENE FAZE $\pm\pi m_F$. KOD MSK POSTUPKA ONE IZNOSE UPRAVO $\pm\frac{\pi}{2}$ (POZITIVNO ZA "1", NEG. ZA "0") U INTERVALU JEDNOG BITA $\left(\Delta f=\pm\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{T_b}\right)$.

POZNAVAJUĆI TEORIJU, ZADATAK JE JEDNOSTAVAN :):



(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 ŠUM.

PRETPOSTAVLJA SE PSK ILI QAM POSTUPAK JER JE PREMALO PODATAKA ZA FSK ILI ASK. $R_b=140$ Mbit/s ; $B=30$ MHz ; $\alpha=0.25$

$$S.U.=\frac{R_b}{B}=4.67 \; ; \; B=B_N(1+\alpha), \text{ A } B_N=R_S \text{ KOD PSK \& QAM}$$

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

DA BI UGURALI TOLIKU BRZINU U TOLIKI POJAS, TAJ BROJ (5.83) ĆEMO ZAOKRUŽITI NA PRVI NAJVEĆI. KADA BI ZAOKRUŽILI NA MANJI, ŠIRINA POJASA NAM NE BI BILA DOVOLJNA ZA BRZINU KOJA JE ZADANA. ČIM JE VEĆA SPEKTRALNA UČINKOVITOST, VEĆA JE BRZINA PRIJENOSA BITA KOJU MOŽEMO "UGURATI" U ISTU ŠIRINU POJASA (A DNA SE POVEĆAVA POVEĆANJEM BROJA BITA PO SIMBOLU). NEGATIVNA STRANA JE POVEĆANA OSJETLJIVOST NA GREŠKE. RJEŠENJE: 64-QAM ($2^6=64$ [illegible]

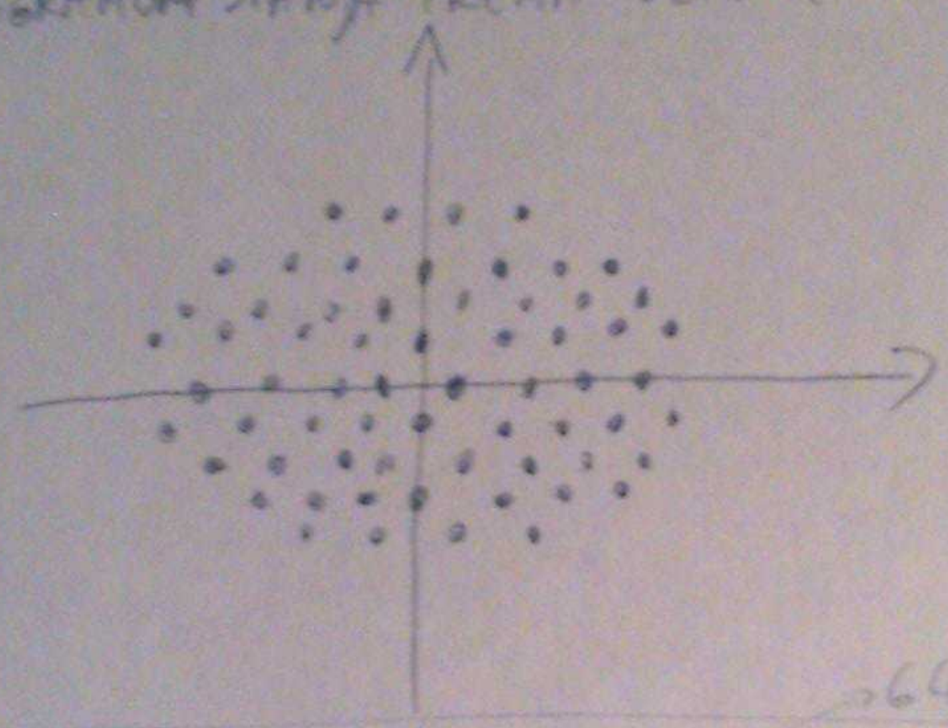
(8) (3. AUDITORNE – 8. ZADATAK): ZA PRIMJER NIZA BINARNIH ZNAKOVA NAPIŠITE VREMENSKI I ZELETNE FAZE DE-BPSK SIGNALA! 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0, $f_0 = 0$.

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

BINARNI NIZ	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
FAZA DE-BPSK SIGNALA, $k\pi$	0	π	π	π	0	π	0	0	π	0

$\pi + \pi = 2\pi = 0$

(9) (3. AUDITORNE – 9. ZADATAK): KOLIKA JE IDEALNA SPEKTRALNA UČINKOVITOST MODULACIJSKOG POSTUPKA S DIJAGRAMOM STANJA PREMA SLICI?



64 STANJA!

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

$$s_u = \frac{R_b}{B} = \frac{R_b}{B_N} = \frac{R_b}{R_S} = 6$$

$B_N = R_S$

6 BITA/SIMBOL (64-QAM)

JER JE $W = 6 = \log_2 64$

(10) (3. AUDITORNE – 10. ZADATAK): OVO JE ZADATAK VIŠE POLAZNE NARAVI OD KORIŠTENJE FOURIEROVE ANALIZE, PA JE DAN U PRILOGU; 11. I 12. ZADATAK SPADAJU U SLJ. CJELINU (ISTO SU DIO 3. AUDITORNIH, AL JE GRADIVO OFDM, 4. PREDAVANJE).

ZADACI KOJI SE ODNOSE NA 3. PREDAVANJE, TE SU IZVAN AUDITORNIH - S ISPITA I SL.

(2. LABOS - 2.3.1. ZAD.): ODREDI RELATIVNU FAZU $\pi/4$ DQPSK SIGNALA ZA SLJEDEĆI SLIJED SIMBOLNIH ZNAKOVA: M 00 11 01 10 10. POČETNA FAZA (PRIJE OVOG SLIJEDA) JE π.

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

"00" → $+\pi/4$; "01" → $-\pi/4$; "11" → $-\frac{3\pi}{4}$; "10" → $+\frac{3\pi}{4}$

SLIJED	11	00	11	01	10	10
REL. FAZA: $\Delta\varphi$	$\pi/4$	$\pi/2$	$-\frac{\pi}{4}=\frac{7\pi}{4}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\pi/4$	π

(2. LABOS, 2.3.2. ZAD.): DIGITALNIM ODAŠILJAČEM RLAZNE SNAGE 100W POSTIŽE SE 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:

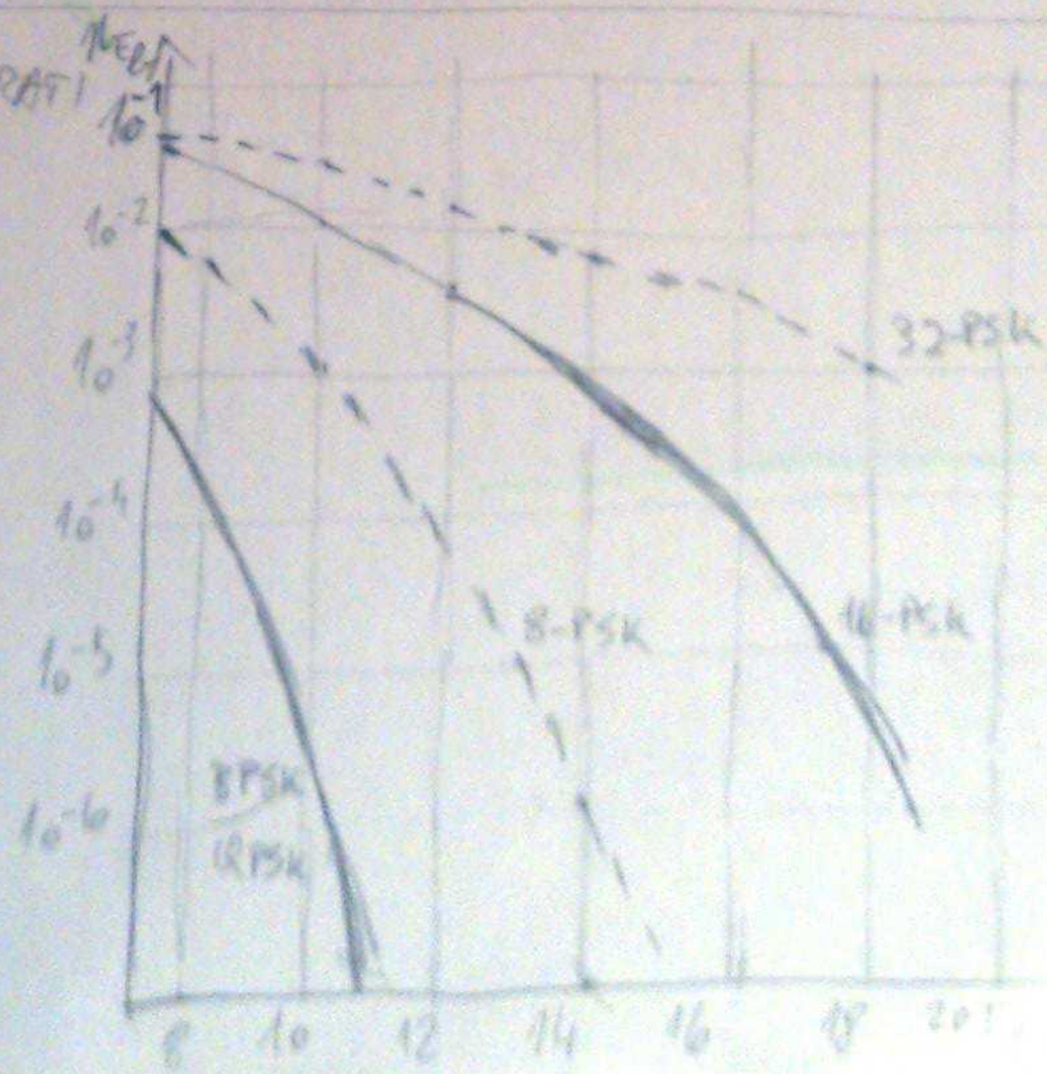
1) QPSK 2) 8-PSK 3) 16-PSK

b) KOLIKA JE DOVOLJNA 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 OVDJE PRECRTANA ZDESNA:

ZBOG KORIŠTENJA GRAYEVA KODA KOD PRIDRUŽIVANJA BITA SIMBOLIMA (PAREVA ZNAKOVA STANJIMA), QPSK IMA ISTU P_{EB} KAO I BPSK, JER POGREŠKA IZAZIVA PROMJENU SAMO JEDNOG OD ZNAKA PRIDRUŽENOG SIMBOLU.



a) IZ GRAFA SE POMOĆU OČITAJU VRIJEDNOSTI E_b/N_0:

BPSK -> 9.6dB QPSK -> 9.6dB 8-PSK -> 13dB 16-PSK -> 17.7dB

1) SNAGA JE ISTA JER JE p_{EB} ISTI KOD BPSK & QPSK (100 W)

2) E_b/N_0 JE KOD BPSK 9.6dB, DOK JE KOD 8-PSK 13dB, TJ. 3.2dB RAZLIKE

TO ZNAČI DA ENERGIJA BITA MORA BITI 3.2 dB VEĆA OD GUSTOĆE ŠUMA KOD 8-PSK NEGO KOD BPSK DA BI SE DOBILA ISTA $p_{EB}=10^{-5}$, ISTO VRIJEDI I ZA PRIPADNE SNAGE:

$$10\log\frac{P_{12,8\text{-}PSK}}{P_{12,BPSK}} = 3.2\,dB \Rightarrow P_{12,8PSK} = \underbrace{P_{12,BPSK}}_{100W}\cdot 10^{0.32} = 208.3\,W$$

3) ISTO KAO POD 2), SAMO ŠTO JE (SADA) $\Delta P = 7.4\,dB$

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

b) OZNAČI LI SE S P'_{BPSK} SNAGA OD 100W IZ a) DIJELA ($p_{EB}=10^{-5}$ PRI BPSK), TE ISTO TAKO P'_{QPSK}, $P'_{8\text{-}PSK}$, $P'_{16\text{-}PSK}$ ZA PRIPADNE SNAGE (UZ $p_{EB}=10^{-5}$)

OČITANJEM IZ GRAFA SE RAČUNAJU RAZLIKE OD $p_{EB}=10^{-4}$ DO $p_{EB}=10^{-5}$ ZA ZADANE POSTUPKE (RAZLIKE OD a) DIJELA DO NULOG): $E_b/N_0(BPSK)=8.8$; $E_b/N_0(QPSK)=8.8$; $E_b/N_0(8\text{-}PSK)=11.8$; $E_b/N_0(16\text{-}PSK)=15.8$

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

2) ISTO KAO KOD 1), QPSK i BPSK IMAJU ISTU $p_{EB} \Rightarrow P_{12,QPSK} = 79.43\,W$

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

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

(3. LABOS - 3.3.1. ZAD.): DIGITALNI PODACI BRZINE 32 kbit/s PRENOSE SE U FREKV. POJASU OD 948.1 MHz DO 948.5 MHz MODULIRANI POSTUPKOM ASK.

a) KOJE SE frekv. KORISTE ZA PRIJENOS ZNAKA "0" I "1" ZNAKA "1"?

b) DA LI SE IST FREKV. MOGU KORISTITI ZA PRIJENOS DIGITALNIH PODATAKA BRZINE 64 kbit/s? OBRAZLOŽI!

c) KOLIKA JE NAJVEĆA MOGUĆA UKUPNA PROMJENA FAZE MSK-SIGNALA TJEKOM INTERVALA U TRAJANJU 3 BINARNA ZNAKA (3T)? OBRAZLOŽI!

d) KOLIKA JE MINIMALNO POTREBNA ENERGIJA BITA MSK-SIGNALA KOJOM SE POSTIŽE VJEROJATNOST POGREŠKE BITA OD 10^{-4} KAD GUSTOĆA SNAGE ŠUMA IZNOSI $3 \cdot 10^{-15}$ Ws?

e) ZA KOLIKO Ws 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 PODVRSTA FSK POSTUPKA, KADA JE $\Delta f_p = 0.5 \cdot R_b$ DA IMA DOBRE OSOBINE (S.O. ...), A UVJETI SU DA JE PRIJENOSNA FREKVENCIJA, f_p, NEPARNI VIŠEKRATNIK $\frac{1}{4T_b}$, A f_0 & f_1 VIŠEKRATNICI $\frac{1}{2T_b}$. $f_1 - f_0 = 2\Delta f = \frac{1}{2T_b}$.

$\boxed{f_1 = f_p + \frac{1}{4T_b}}$ I $\boxed{f_0 = f_p - \frac{1}{4T_b}}$. PROMJENA FAZE UNUTAR TRAJANJA INTERVALA JEDNOG BITA JE $\pm\frac{\pi}{2}$. PRVE NULTOČKE U SPEKTRU, OKO PRIJENOSNOG SIGNALA SU $\boxed{f_p \pm \frac{3R_b}{4}}$.

---

a) UKOLIKO SE UZME 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 = NEPARNI VIŠEKRATNIK $\frac{R_b}{4}$. KRADA:

$\frac{f_p}{R_b/4} = 11853.75$. ZAOKRUŽIVANJEM NA NAJBLIŽE NEPARNE VIŠEKRATNIKE DOBIJE SE: $f_{p,1} = 11853 \cdot 80 = 948.24$ MHz; $f_{p,2} = 11855 \cdot 80 = 948.4$ MHz.

OSTALI VIŠEKRATNICI NE DOLAZE U OBZIR, JER BI TADA FREKVENCIJE ZA PRIJENOS "0" I "1" IZLAZILE IZVAN OPSEGA ($\langle 948.1, 948.5 \rangle$). PRIPADNE FREKVENCIJE ZA "0" I "1" SU:

$f_{0,1} = f_{p,1} - \frac{R_b}{4} = 948240 - 80 = 948160$ kHz; $f_{1,1} = f_{p,1} + \frac{R_b}{4} = 948320$ kHz

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

b) IAKO SE MOŽE DOVOBITI U PITANJE TOČNA POSTAVLJENOST ZADATKA ZBOG VEĆEG OBIMA RAČUNANJA a) DIJELA ZADATKA, UZME LI SE DA JE ZADATAK TOČNO POSTAVLJEN, RJEŠENJE b) DIJELA SLIJEDI:

POTREBNO JE PROVJERITI ZADOVOLJAVAJU LI IZRAČUNATE FREKVENCIJE UVJETE (f_p = NEPARNI VIŠEKRATNIK $\frac{1}{4T_b}$ & f_0 & $f_1 = k \cdot \frac{1}{2T_b}$; $k \in N$); (UZ $R_b = 64$ kbit/s):

$$\frac{f_{p,1}}{R_b/4} = 59265 \checkmark \qquad \frac{f_{p,2}}{R_b/4} = 59275 \checkmark$$

$R_b/4 = 16$ kbit/s

ODGOVOR: MOŽE!

$$\frac{f_{0,1}}{R_b/2} = 29630 \checkmark \qquad \frac{f_{0,2}}{R_b/2} = 29635 \checkmark$$

$$\frac{f_{1,1}}{R_b/2} = 29635 \checkmark \qquad \frac{f_{1,2}}{R_b/2} = 29640 \checkmark$$

c) AKO JE U JEDNOM T_b MAX. PROMJENA FAZE $= \pm\pi/2$, TADA JE U $3T_b$

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

d) OČITANJEM SA SLAJDOVA (GRAF): $E_b/N_0 = 9\,dB$ (ZA $P_{eb} = 10^{-4}$)

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

$$E_b = \underbrace{10^{0.9}}_{=9\,dB} \cdot N_0 = 10^{0.9} \cdot 3 \cdot 10^{-15} = 2.38 \cdot 10^{-14}\,Ws$$

e) MSK JE SLUČAJ GMSK POSTUPKA UZ $B \cdot T_b = \infty$. PONOVO SE OČITAVAJU VRIJEDNOSTI S GRAFA (SA SLAJDOVA): $E_b/N_0\big|_{BT_b=0.25} = 10\,dB$; $E_b/N_0\big|_{B \cdot T_b = 0.2} = 11.5\,dB$ (UZ $P_{eb} = 10^{-4}$)

VIDI SE DA JE PROMJENA ODNOSA $\Delta\left(\frac{E_b}{N_0}\right) = 1.5\,dB$, ŠTA AKO SE PRETPOSTAVI ISTI ŠUM, N_0 U OBA SLUČAJA (ŠTO JE LOGIČNO), ISPADA DA SE E_b MORA POVEĆATI ZA $1.5\,dB = 10^{0.15} = 1.41$ PUTA. AKO SE UZME N_0 IZ d) DIJELA ZADATKA, TO JE:

$$E_b\big|_{B \cdot T_b = 0.25} = N_0 \cdot 10 = 3 \cdot 10^{-14}\,Ws \quad ; \quad \frac{E_b/N_0\big|_{B \cdot T_b = 0.2}}{E_b/N_0\big|_{B \cdot T_b = 0.25}} = 1.41 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta E_b = 0.41 \cdot E_b\big|_{B \cdot T_b = 0.25} = 1.23 \cdot 10^{-14}\,Ws$$

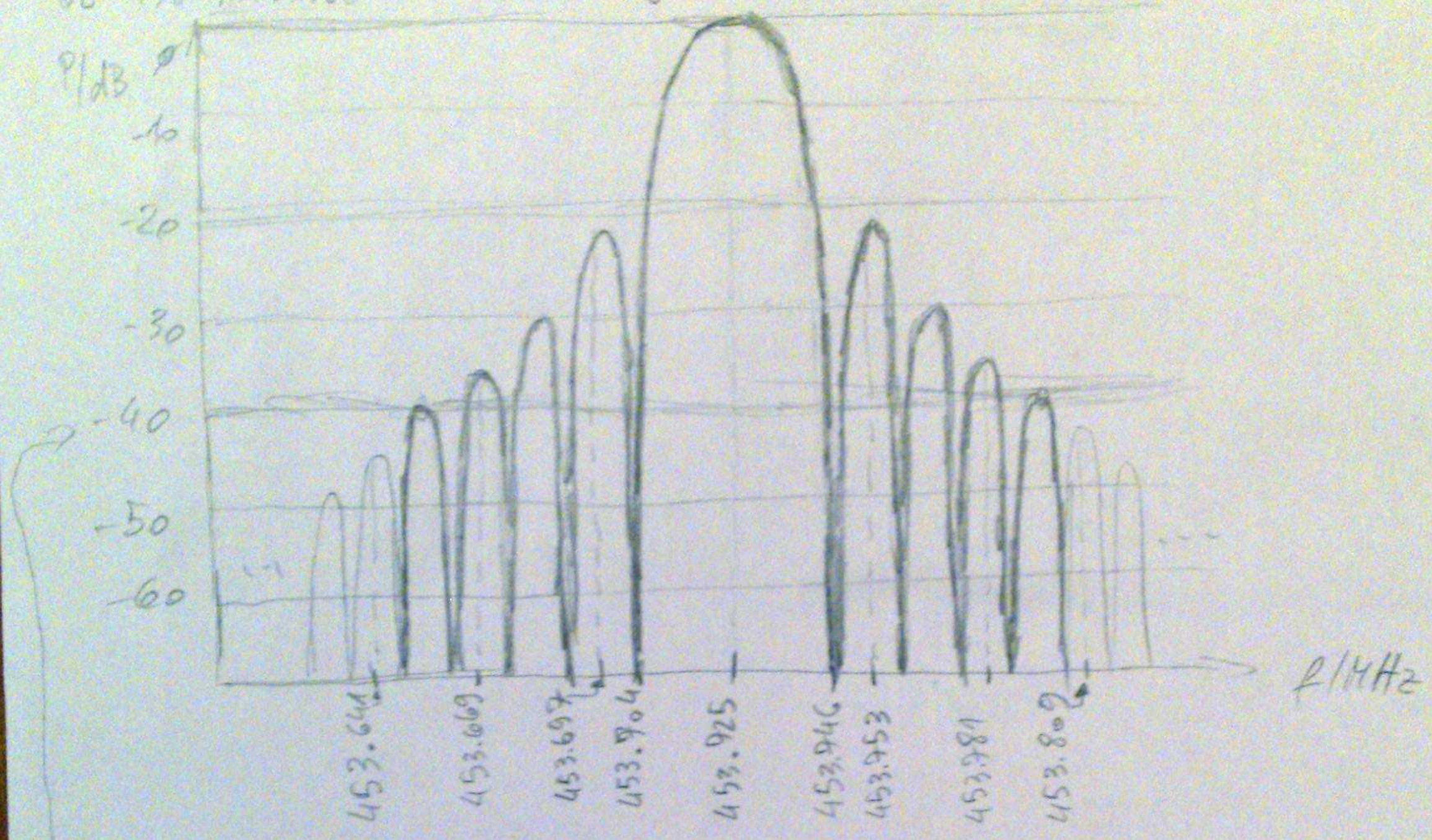
37

(3. LABOS – 3.3.2. ZADATAK): ANALIZATOROM SPEKTRA SNIMLJENA SU OBILJEŽJA MSK-SIGNALA PREMA SLICI. POTREBNO JE ODREDITI:

a) FREKVENCIJU PRIJENOSNOG SIGNALA

b) BRZINU PRIJENOSA DIGITALNIH PODATAKA

c) ŠIRINU POJASA KOJU ZAUZIMAJU SVE KOMPONENTE KOJE IMAJU AMPLITUDU VEĆU OD 1% AMPLITUDE KOMPONENTI NAJVIŠE RAZINE!



a) $f_p = 453.725\ MHz$ (OČITANO)

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

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

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

c) AMPLITUDA VEĆA OD 1% OZNAČAVA NAPON VEĆI OD 1% MAKSIMALNOG =>

$$20\log\left(\frac{0.01A}{A}\right) = -40dB$$

(1%A; A – MAX. AMPLITUDA)

(40dB JE 40dB U SNAZI ILI NAPONU, SVEJEDNO...)

GLEDANJEM NA GRAFU, GRANICE ODREĐUJEMO (4. STUPIĆI OD SREDNJEG) ARITMETIČKOM SREDINOM NEPOSREDNIH STUPIĆA:

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

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

$$B = f_{GORNJA} - f_{DONJA} = 140\ kHz$$

(11. ZADATAK - 2. M1 - 2008/09): KOLIKA JE MAKSIMALNA SPEKTRALNA UČINKOVITOST 256-QAM MODULACIJSKOG POSTUPKA?

256-QAM IMA 8 BITA PO JEDNOM SIMBOLU ($\log_2 256 = 8 = N$).

$S.U. = \frac{R_b}{B}$; KAD. S.U. SE OSTVARUJE UPOTREBOM NYQUISTOVOG IDEALNOG FILTRA (B_N) $\Rightarrow$ $S.U. = \frac{R_b}{B_N}$; KOD 256-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. M1 - 2008/09): DIGITALNI SIGNAL BRZINE 270 kbit/s PRENOSI SE MODULACIJSKIM POSTUPKOM 8-PSK. ŠIRINA POJASA MODULIRANOG SIGNALA OGRANIČAVA SE UZ POMOĆ NYQUISTOVOG POLUSINUSNOG FILTRA. KOD KOJE SE ŠIRINE POJASA FILTRA DOBIVA NAJVIŠA MOGUĆA SPEKTRALNA UČINKOVITOST?

8-PSK $\Rightarrow$ 3 BITA/SIMBOL ($N = 3$)

MAKSIMALNA S.U. SE DOBIVA UZ B_N - (NYQUISTOV FILTAR)

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

(8. ZADATAK - 2. M1 - 2008/09): NA KOJEM RAZMAKU SE NALAZE DISKRETNE FREKVENCIJE MSK-SIGNALA PRI BRZINI DIGITALNOG SIGNALA OD 9600 bit/s?

$$f_1 - f_0 = \frac{1}{2T_b} = \frac{R_b}{2} = 4800 \text{ Hz}$$

(13. ZADATAK - 2. M1 - 2008/09): DIGITALNI PODACI BRZINE 200 kHz (GREŠKA, TREBA BITI 200 kbit/s) PRENOSE SE UZ POMOĆ DISKRETNIH FREKVENCIJA: 937.2, 937.4, 937.6 i 937.8 MHz. KOLIKI JE INDEKS MODULACIJE?

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

$m_{FSK} = 2\Delta f T_S$; $N = 2$ (2 BITA/SIMBOL)

$\leftarrow 2\Delta f = 937.4 - 937.2 \text{ MHz} = 937.8 - 937.6 \text{ MHz} \ldots = 0.2 \text{ MHz}$

JEDNOLIKO RAZMAKNUTE FREKV. ZA $2\Delta f$

$$m_{FSK} = \frac{2\Delta f}{R_S} = \frac{2\Delta f \cdot 2}{R_b} = 2$$

(1. ZADATAK - 2. MI - 2008/09): DIGITALNI SIGNAL PRENOSI SE MODULACIJOM POSTUPKOM 4-FSK S DISKRETNIM STANJIMA FREKVENCIJE: 1000 Hz, 1600 Hz, 2200 Hz, 2800 Hz. KOJOM JE BRZINOM DIGITALNOG SIGNALA CE SIMBOLI 4-FSK SIGNALA BITI ORTOGONALNI?

RAZMAK FREKVENCIJA JE $2\Delta f = 600\,Hz$

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

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

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

(2. ZADATAK - Z1 - 2011/12): BPSK MODEMOM PRENOSE SE DIGITALNI PODACI BRZINE 1200 bit/s ANALOGNIM TELEFONSKIM KANALOM. GRANIČNE FREKVENCIJE TELEFONSKOG KANALA ZA PRIJENOS GOVORA SU 300 Hz I 3400 Hz. ZNAKU "0" PRIDRUŽENA JE FREKVENCIJA 1000 Hz, A ZNAKU "1" 2000 Hz.

a) KOLIKA JE FREKVENCIJA PRIJENOSNOG SIGNALA?
b) KOLIKA JE DEVIJACIJA FREKVENCIJE?
c) KOLIKI JE INDEKS MODULACIJE?

(PODACI O ŠIRINI TELEFONSKOG KANALA SU NEPOTREBNI)

$f_0 = 1000\,Hz \quad f_1 = 2000\,Hz$

a) $f_c = \frac{f_0 + f_1}{2} = 1500\,Hz$

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

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

$$m_{FSK} = 2\Delta f T_b = \frac{2\Delta f}{R_b} = 1$$

(3. ZADATAK - Z1 - 2011/12): KOMUNIKACIJSKI SUSTAV MORA IMATI BRZINU 40 MBit/s. IMAMO KANAL SA $B = 25\,MHz$, A FAKTOR ZAOBLJENJA JE 0.25.

a) KOLIKA JE NYQUISTOVA ŠIRINA POJASA?
b) KOLIKA JE OSTVARIVA BRZINA SIMBOLA?
c) KOJIM POSTUPKOM MODULACIJE ĆEMO DOBITI NAJVEĆU OTPORNOST UŠUM U TOM KANALU SA TAKVIM POSTAVKAMA?

a) $B = B_N(1+\alpha) \Rightarrow B_N = \frac{B}{1+\alpha} = \frac{B}{1.25} = 20\,Hz$

b) PRETPOSTAVLJA SE PSK/QAM POSTUPAK JER JE PREMAŠEN POGATAK ZA ASK/FSK, A APSK/FM NEMA SMISLA.

$R_S = B_N = 20\ kBd$

c) $\frac{R_b}{B} = \frac{R_b}{B_N(1+\alpha)} = \frac{R_b}{R_S(1+\alpha)} = 4.4 \Rightarrow \frac{R_b}{R_S} = 5.5$, ZNAČI NAJMANJE 5 BITA PO SIMBOLU. DA BI DOBILI TRAŽENU BRZINU R_b U ZADANOM POJASU MORAM $\underbrace{\frac{R_b}{R_S}}_{(BIT)} > 5.5$, A PRVI CJELI BROJ (VEĆI) JE 6. PSK POSTUPAK S 64 STANJA FAZE (2^6) NEMA SMISLA, PA SE OČITO RADI O

64-QAM POSTUPKU KOJI IMA MANJU OSJETLJIVOST NA ŠUM.

(11. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): ZA KOMUNIKACIJU IZMEĐU OBAĆIVAČA I PRIJAMNIKA KORISTI SE BFSK POSTUPAK S INDEKSOM MODULACIJE $m_F = 2$. ZA PRIJENOS ZNAKA "0" KORISTI SE FREKVENCIJA $f_0 = 99.2\ MHz$, DOK SE ZA PRIJENOS ZNAKA "1" KORISTI FREKVENCIJA $f_1 = 99.4\ MHz$. ODREDI FREKVENCIJU PRIJENOSNOG SIGNALA f_p, BRZINU PRIJENOSA PODATAKA R_b I PRIBLIŽNU ŠIRINU POJASA B KORISTEĆI CARSONOVO PRAVILO!

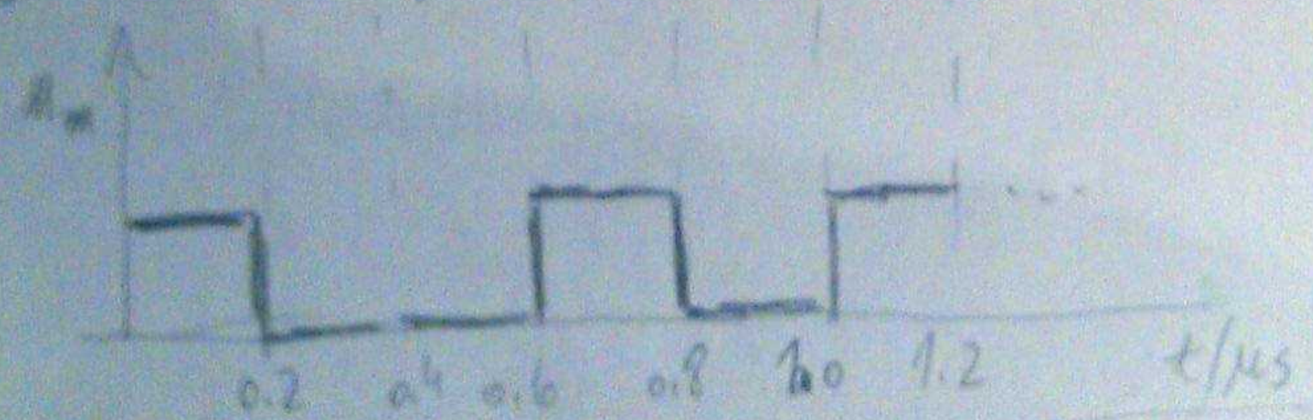
$f_p = \frac{f_0 + f_1}{2} = 99.3\ MHz$

$m_F = 2\Delta f T_b = \frac{2\Delta f}{R_b} = 2$; $2\Delta f = f_1 - f_0 = 0.2\ MHz$

$R_b = \frac{2\Delta f}{m_F} = \Delta f = 0.1\ Mbit/s$

$B = 2\left(\Delta f + \frac{1}{2T_b}\right) = 2\left(\Delta f + \frac{1}{2}R_b\right) = 0.3\ MHz$

(15. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12.): PRIJENOSNI SIGNAL FREKVENCIJE 900 MHz BOLJEG SE DIGITALNIM UNIPOLARNIM SIGNALOM PRIKAZANIM NA SLICI, UZ UPORABU MSK MODULACIJSKOG POSTUPKA. KOJE SU DISKRETNE FREKVENCIJE MODULIRANOG SIGNALA? ZA KOLIKO SE PROMJENI FAZA MSK SIGNALA UNUTAR INTERVALA JEDNOG BITA?



TRAJANJE BITA SE OČITA IZ SLIKE: $T_b = 0.2\,\mu s$

KOJ SKOK POSTUPKA TRAJUJE?

$$f_1 = f_p + \frac{1}{4T_b} = 901.25\,MHz \qquad f_0 = f_p - \frac{1}{4T_b} = 898.75\,MHz$$

FAZA SE KOD SKOKA SIGNALA U TRAJANJU T_b PROMJENI ZA MAKSIMALNO $\pm\frac{\pi}{2}$.

(3. ZADATAK - 1. PI - 2011/12): S GRAFA SE OČITAVAJU VRIJEDNOSTI KORIŠTENOG QPSK POSTUPKA: $P_{eb} = 10^{-5} \Rightarrow \frac{E_b}{N_0} = 9.9\,dB$. ZA KOLIKO SE TREBA POVEĆATI SNAGA DA BI VJEROJATNOST POGREŠKE KOD 16-PSK POSTUPKA IZNOSILA $P_{eb} = 10^{-6}$, AKO JE PRI TOJ VJEROJATNOSTI OČITANA VRIJEDNOST (KOD 16-PSK) $\frac{E_b}{N_0} = 18.5\,dB$?

$10\log\left(\frac{E_{b1}}{N_0}\right)_{QPSK} = 9.9\,dB$ | $10\log\left(\frac{E_{b2}}{N_0}\right)_{16\text{-}PSK} = 18.5\,dB$. AKO SE PRETPOSTAVE ISTE VRIJEDNOSTI ŠUMA U OBA SLUČAJA, ONDA SE RJEŠAVAJU JEDNADŽBE:

$$10\log\left(\frac{E_{b1}}{N_0}\right) = 9.9 \Rightarrow 10^{0.99}\cdot(E_{b1}) = N_0 = 10^{-1.85}\cdot E_{b2}$$

QPSK, 16-PSK

$$\frac{E_{b2}}{E_{b1}} = 10^{-0.99+1.85} = 7.244 \text{ PUTA ILI } 8.6\,dB$$

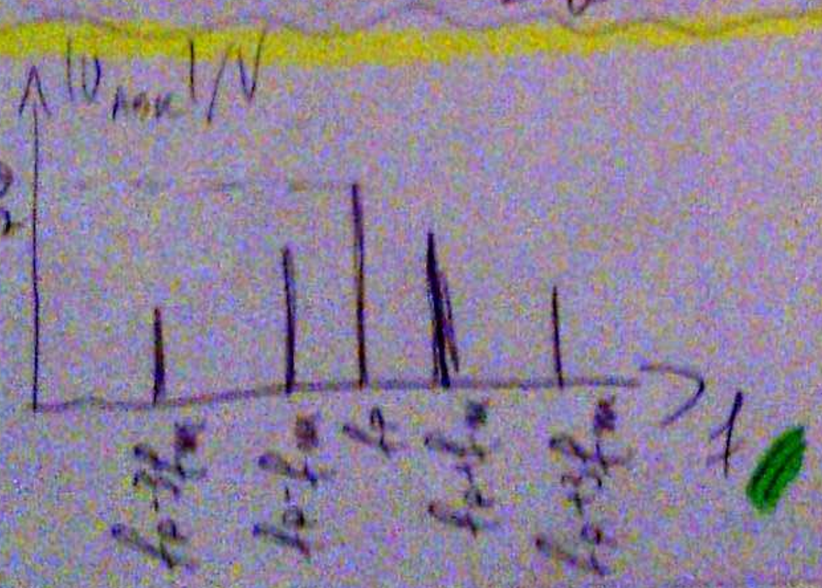
(10. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): KOD ASK MODULACIJE, MODULACIJU OBAVLJA PERIODIČNI PRAVOKUTNI SIGNAL KOJI ODGOVARA ALTERNIRAJUĆIM ZNAKOVIMA "0" I "1", TE SE KAO REZULTAT DOBIJE SIGNAL: $u_{ASK}(t) = 10\cos 2\pi 10^8 t\left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi}\cos 2\pi 10^3 t - \frac{2}{3\pi}\cos 3\cdot 2\pi 10^3 t + \dots\right]$

NACRTAJ MODULIRANI SIGNAL U VREMENSKOJ I FREKV. DOMENI!

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

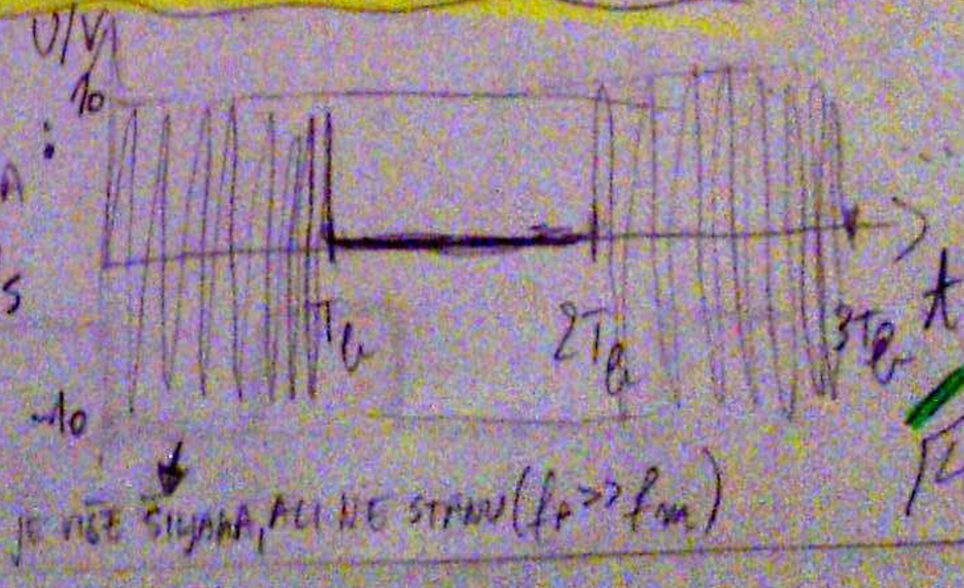
$$f_m = \frac{1}{2T_b}$$

SPEKTAR:



$f_m = 1\,kHz$
$f_p = 10^8\,Hz$

VREM. DOMENA:



JOŠ JE NIŽE SIGNALA, ALI NE STANU ($f_p >> f_m$)

GRADIVO KOJE SE TIČE GRADIVA POSLIJE 3. PREDAVANJA I SL. (OD SVUDA:)

(11. ZADATAK - 3. AUDITORNE): PARAMETRI COFDM POSTUPKA ZA DIGITALNU ZEMAQJSKU TELEVIZIJU (DVB-T, DIGITAL VIDEO BROADCASTING - TERRESTIAL) ZA TZV. "8k" NAČIN SU:

- 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. FREKVENCIJSKI RAZMAK OFDM-PODNOSILACA
5. UKUPNA ŠIRINA POJASA OFDM-SIGNALA?

OFDM MODULACIJA SE REALIZIRA PODJELOM RASPOLOŽIVOG FREKVENCIJSKOG POJASA NA PODNOSIOCE. PRITOM JE NUŽNO DA RAZMAK PODNOSIOCA BUDE $\boxed{\Delta f = \frac{1}{T_0}} = f_0$ KAKO SI ONI BILI MEĐUSOBNO ORTOGONALNI (NE BI SI SMETALI).

PRITOM JE f_0 OSNOVNA FREKVENCIJA, TE SE PODNOSIOCI RASPOREĐUJU NA VIŠEKRATNIKE TE TEMELJNE FREKVENCIJE. TRAJANJE SIMBOLA (OSNOVNO, NETTO), T_0, OZNAČAVA TRAJANJE JEDNOG (OFDM) SIMBOLA (KAO T_S KOD DISKRETNIH MODULACIJA). PODJELOM FREKVENCIJSKOG POJASA B NA PODNOSIOCE; $\boxed{B_{OFDM} = N_{NETTO} \cdot \Delta f}$ (ISKORIŠTENI POJAS; N_{NETTO} = BROJ (ISKORIŠTENIH) PODNOSIOCA); TE VREMENA NA TRAJANJE SIMBOLA, T_0, STVARA SE MATRICA FREKVENCIJA-VRIJEME. BRUTO, UKUPNO TRAJANJE SIMBOLA UVEĆAVA SE ZAŠTITNIM INTERVALOM KOJI JE UVIJEK MANJI OD OSNOVNOG TRAJANJA SIMBOLA ($T_{Z1} = \frac{T_0}{4}, \frac{T_0}{8}$ ILI SL.).

$\boxed{T_{OFDM} = T_0 + T_{Z1}}$

KAKO SE SVAKI PODNOSIOC MODULIRA 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 OBIČNIH SIMBOLA (RAZLIKOVATI OD OFDM-SIMBOLA!) JE $\boxed{R_{OFDM} \cdot N_{NETTO} = R_S}$, JER SE SVAKIM OFDM SIMBOLOM PRENOSI N_{NETTO} OBIČNIH 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} SIMBOLA KOJI SU DOBIVENI NEZIM OD MODULACIJSKOG POSTUPKA (16-QAM U OVOM ZADATKU). N_{NETTO} JE PROJ KORIŠTENIH PODNOSIOCA (6817). 16-QAM ZNAČI DA SE SVAKI OBIČNI SIMBOL SASTOJI OD 4 BITA ($\log_2 16 = 4 = W$) (JEDAN POTKANAL).

BROJ BITA KOJI ČINE JEDAN OFDM SIMBOL JE:

$$\underbrace{N_{NETTO}}_{\text{BROJ POTKANALA}} \cdot \underbrace{W}_{\text{BROJ BITA/SIMBOL (1 POTKANAL)}} = 6817 \cdot 4 = 27268$$

3. BRUTO BRZINA PRIJENOSA BITA ZNAČI DA MORAMO URAČUNATI I ZAŠTITNI INTERVAL U RAČUNICU (I REDUDANTNE PODATAKE):

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

BRZINA PRIJENOSA "OBIČNIH" SIMBOLA:

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

$$R_b = \underbrace{4}_{N=4\ (16\text{-QAM})} \cdot R_S = 24.35\ Mbit/s$$ ... BRUTO BRZINA

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

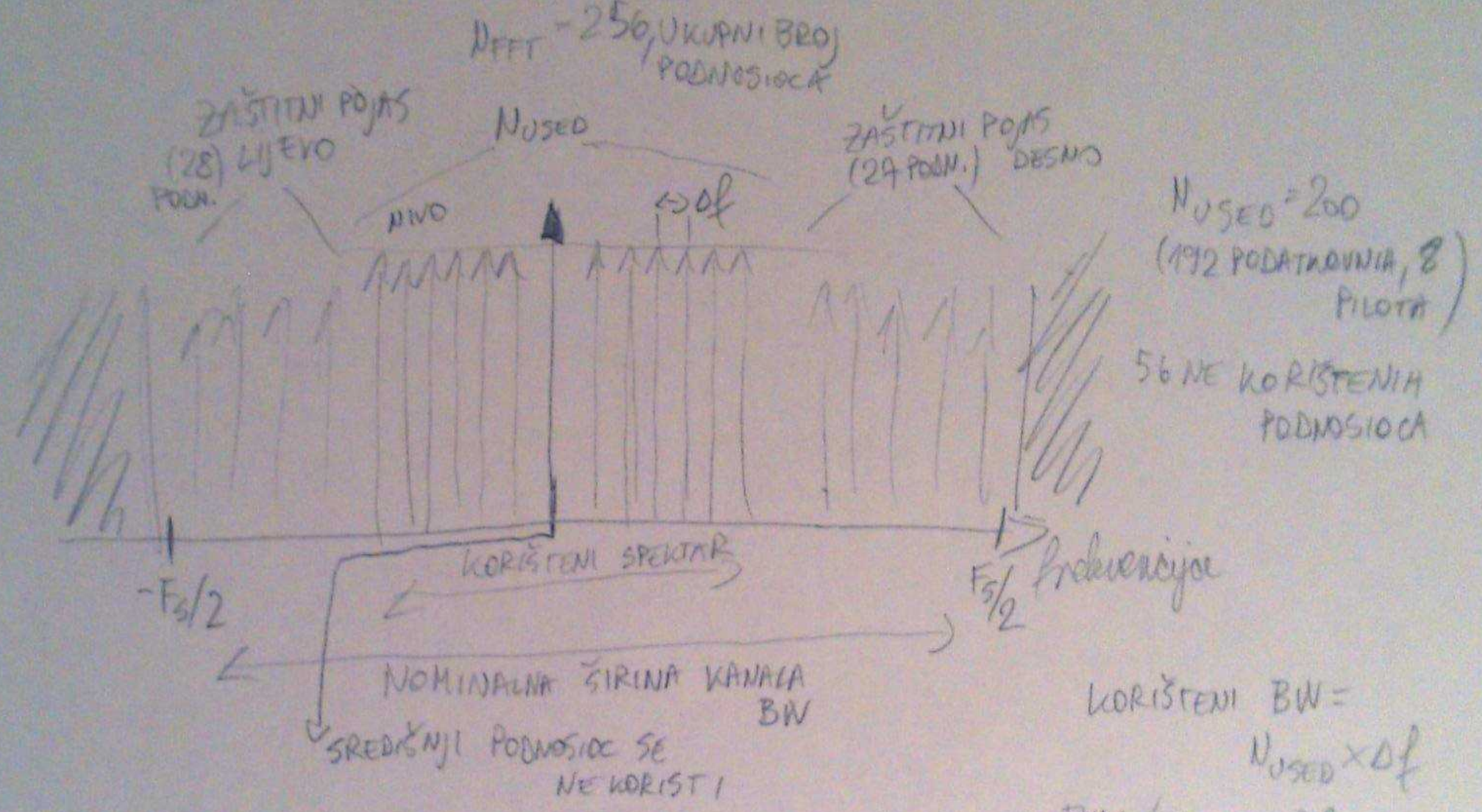
5. $B_{OFDM} = N_{NETTO} \cdot \Delta f = 7.61\ MHz$

PRETPOSTAVLJA SE DA SE MISLI NA KORIŠTENI POJAS, INAČE SE NA NJEGA JOŠ DODAJE ZAHTJEVNA ŠIRINA, KOJI SLUŽI ZA ZAŠTITU (A I NIJE MOGUĆ IDEALAN FILTAR).

(12. ZADATAK - 3. AUDITORNE): FIKSNI WiMAX SUSTAV (OPISAN NORMOM IEEE 802.16-2004) IMA DEFINIRANE SLJEDEĆE OFDM PARAMETRE:

- MOGUĆI MODULACIJSKI POSTUPCI: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- UKUPAN BROJ PODNOSILACA: 256
- BROJ PODATKOVNIH PODNOSILACA: 192
- ŠIRINA OFDM KANALA: 3,5 MHz (NOMINALNA ŠIRINA KANALA)
- RAZMAK IZMEĐU PODNOSILACA: 15,625 kHz
- OMJER TRAJANJA ZAŠTITNOG INTERVALA I KORISNOG VREMENA SIMBOLA: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.

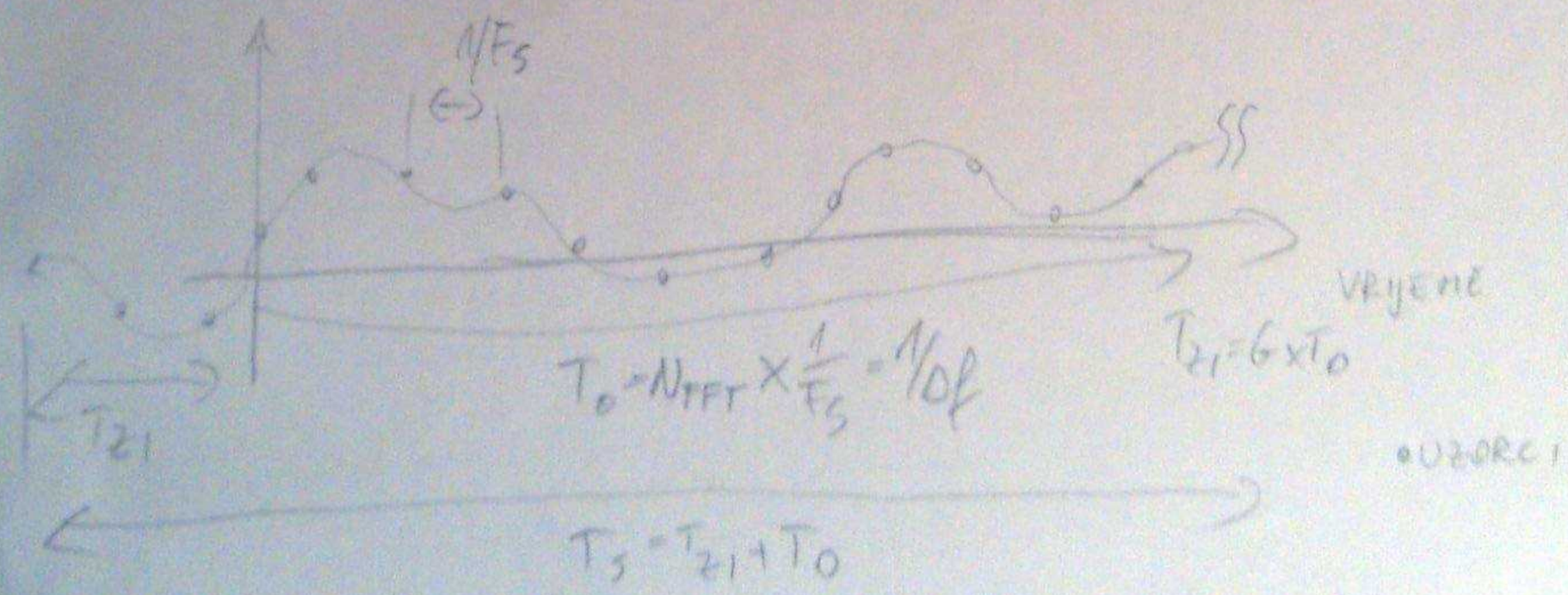
1. KOLIKA JE MAKSIMALNA I MINIMALNA BRZINA PRIJENOSA KORISNIČKIH PODATAKA?
2. KOLIKA JE MAKSIMALNA SPEKTRALNA UČINKOVITOST ZA TAKO DEFINIRANU WiMAX TEHNOLOGIJU? (KODIRANJE JE ZANEMARENO)



KORIŠTENI BW = $N_{USED} \times \Delta f$

$BW \neq N_{USED} \times \Delta f$

VREMENSKA DOMENA?



Slika iz zadatak!

1. MAKSIMALNA BRZINA PODATAKA SE DOBIJE UZ MINIMALAN T_{21} (NAJMANJA REDUNDANCJA), I MAKSIMALNU MODULACIJU (ČIM VEĆA SPEKTRALNA UČINKOVITOST - VEĆA BRZINA U ISTOM POJASU, TJ. VIŠE BITA PO SIMBOLU)

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

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

$$T_{OFDM} = \frac{33}{32} T_0 = T_0 + \underbrace{\frac{1}{32} T_0}_{T_{21}} \Rightarrow R_S = \frac{192 \cdot 32}{33 T_0} = \frac{192 \cdot 32 \cdot \Delta f}{33}$$

$\frac{1}{T_0} = \Delta f$

$\Delta f = 15.625\,kHz$

$R_S = 2.4\,MBd$

$R_b = W \cdot R_S = 6 \cdot R_S = 17.455\,Mbit/s$

MINIMALNA BRZINA SE DOBIJE UZ MAKSIMALNI T_{21} ($T_{21} = \frac{1}{4} T_0$), I MINIMALNU MODULACIJU (BPSK; $W=1$)

$$R_b = W \cdot R_S = W \cdot \underbrace{192}_{N_{NETO}} \cdot \underbrace{\frac{4}{5 T_0}}_{\frac{1}{T_{OFDM}}} = 192 \cdot \frac{4}{5} \cdot \underbrace{\Delta f}_{\Delta f = \frac{1}{T_0}} = 2.4\,Mbit/s$$

2. MAKSIMALNA SPEKTRALNA UČINKOVITOST SE DOBIJE UZ MAKSIMALNU BRZINU, DOK SE ŠIRINA POJASA UZIMA ONA KOJA JE ZADANA (3.5 MHz), A NE KORISNA ŠIRINA POJASA, JER SE UVIJEK KAD JE MOGUĆE UZIMA ČIM REALNIJI SLUČAJ (OSIM AKO JE DRUKČIJE ZADANO). A I NAPOMENA NAVODI NA TO...

$$\left(\frac{R_b}{B}\right)_{MAX} = \frac{R_{b,MAX}}{B} = \frac{17.455}{3.5} = 4.99$$

(4. ZADATAK - ZI-2011/12.): OPERATER U GSM-U JE DAO 2 FREKVENCIJSKA PODRUČJA, 800 MHz DO 812 MHz I 900 MHz DO 912 MHz. UREĐAJ KORISTI FREKVENCIJU OD 803 MHz.

a) U KOJEM SMJERU SE KORISTI NAVEDENA FREKVENCIJA?

b) ODREDITE KOJA SE FREKVENCIJA KORISTI U DRUGOM SMJERU?

c) KOJI SE MODULACIJSKI POSTUPAK KORISTI U GSM-U?

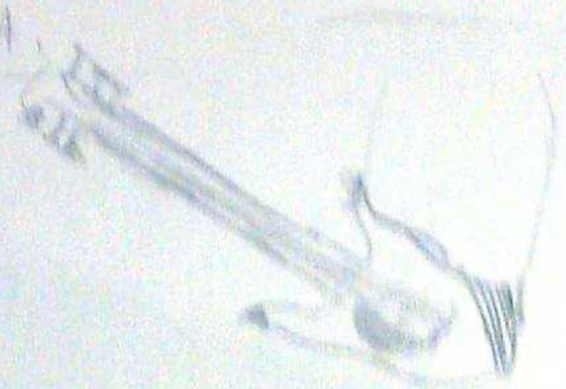
KORISNIČKI GSM UREĐAJI KORISTE NIŽU FREKVENCIJU ZA ODAŠILJANJE OD BAZNIH POSTAJA, JER JE NA NIŽIM FREKVENCIJAMA MANJE GUŠENJE, A UREĐAJI IMAJU MANJU SNAGU OD BAZNE POSTAJE (PA IM JE I POTREBNO MANJE GUŠENJE). SVI OPERATERI (DAVATELJI USLUGA) ORGANIZIRAJU FREKVENCIJSKO PODRUČJE U 2 POJASA, UPLINK (UREĐAJI ŠALJU 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)

4. U ZADATKU SU ZADANA 2 PODRUČJA (POJASA) TE SU OČITO UPLINK -> 800-812 MHz, A DOWNLINK -> 900-912 MHz. KAKO SE KORISTI FREKVENCIJA 803 MHz, ONA SE NALAZI U UPLINKU (ODLAZNOM SMJERU).

2. SVAKA FREKVENCIJA IMA PAR U DRUGOM POJASU... 803 MHz JE UDALJENO OD POČETKA ZA 3 MHz (803-800). ZNAČI DA JE NJEN PAR U POJASU 900-912 MHz ISTO UDALJENA OD POČETKA ZA 3 MHz, TE SE U DRUGOM SMJERU (DOLAZNOM) KORISTI FREKVENCIJA 903 MHz.

3. GMSK

(5. ZADATAK - ZI-2011/12.): U RADIJSKOJ LOKALNOJ MREŽI PO NORMI IEEE 802.11g KORISTI SE FREKVENCIJSKI MULTIPLEKS ORTOGONALNIH PODNOSILACA (OFDM) S 52 POTKANALA OD KOJIH SE 4 KANALA KORISTE ZA PRIJENOS PILOTSKIH SIGNALA, ZA PRIJENOS PODATAKA BRZINOM OD 48 Mbit/s U SVAKOM SE POTKANALU KORISTI MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM UZ TRAJANJE OFDM SIMBOLA OD 4μs TE ZAŠTITNI INTERVAL U NAJVEĆEM 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_{ch} = 2340 MHz UZ JASNO NAVEDENE VRIJEDNOSTI NA OSI APSCISA.



OFDM SIGNAL SE DOBIVA IFFT POSTUPKOM, GDJE SU ULAZNI PODACI U IFFT PSK ILI QAM SIMBOLI KOJI ONDA OBREBUJU AMPLITUDU I FAZU POJEDINOG NOSIOCA. ZBOG SVOJSTVA IFFT POSTUPKA, ULAZNI BROJ PODATAKA (SIMBOLA) MORA BITI POTENCIJA BROJA 2, PA SE REDUNDANTNI BROJ IZLAZA DOBIVA (KORIŠTENI IZLAZI SU POTKANALI U OFDM POSTUPKU). MAKSIMALNI PAK PREPORUČENI $T_{Z1} = T_0/4$.

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

$T_{Z1} = \frac{T_0}{4}$ (NAJVEĆI PREPORUČENI).

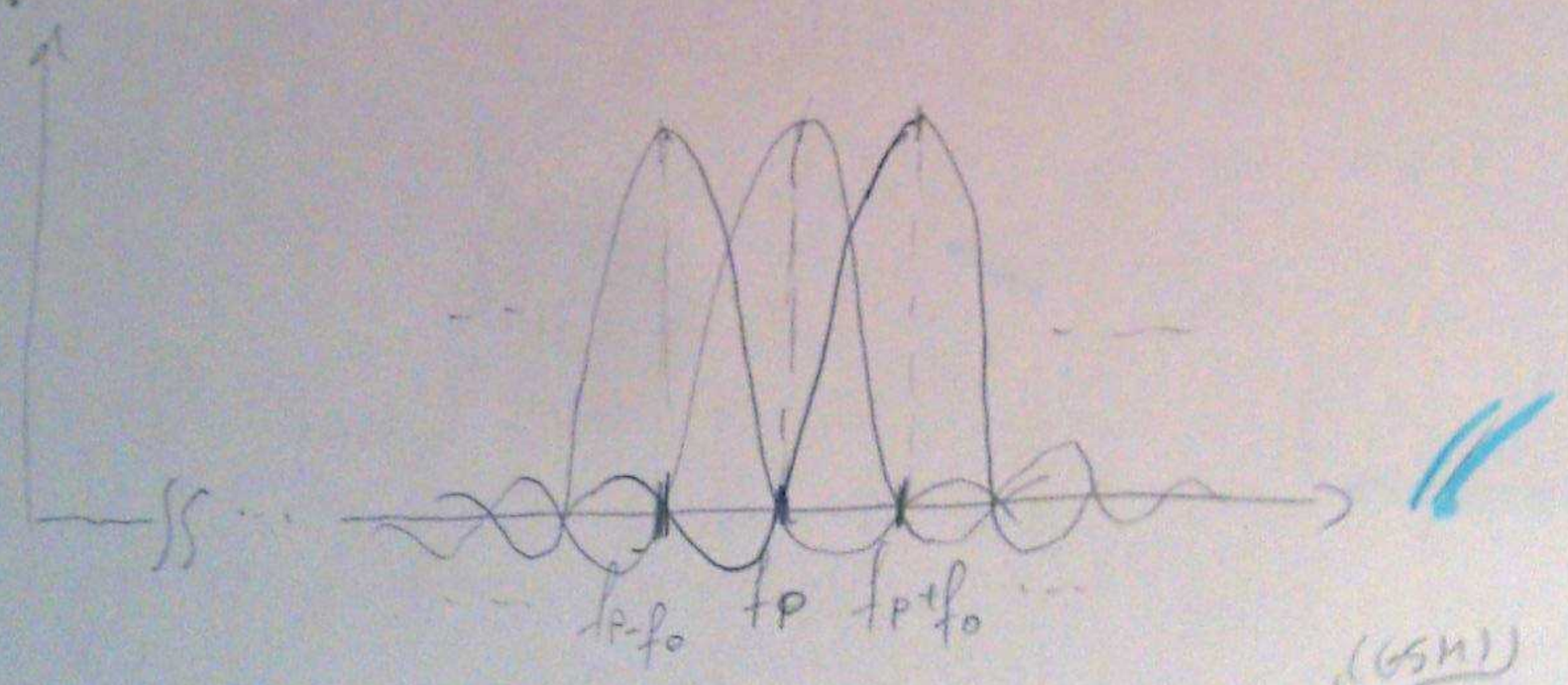
ULAZNI BROJ SIMBOLA U IFFT MORA BITI $\geq$ OD BROJA POTKANALA (UZ UVJET DA JE TO POTENCIJA BROJA 2):

ULAZNI BROJ $\geq 48 = 64$ ($2^6 = 64$, $2^5 = 32 < 48$)

$T_{OFDM} = T_0 + T_{Z1} = T_0 + \frac{1}{4}T_0 = \frac{5}{4}T_0 \Rightarrow T_0 = \frac{4}{5}T_{OFDM} = 3.2\,\mu s$

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

ZADANI $f_0 = 234$ MHz $= f_{0,Z}$. ZADANI $f_{0,Z}$ NIJE VIŠEKRATNIK f_0, PA SE NE SHVAĆA TOČNO ŠTO SE TRAŽI U ZADATKU; INAČE SPEKTAR OFDM SIGNALA JE:



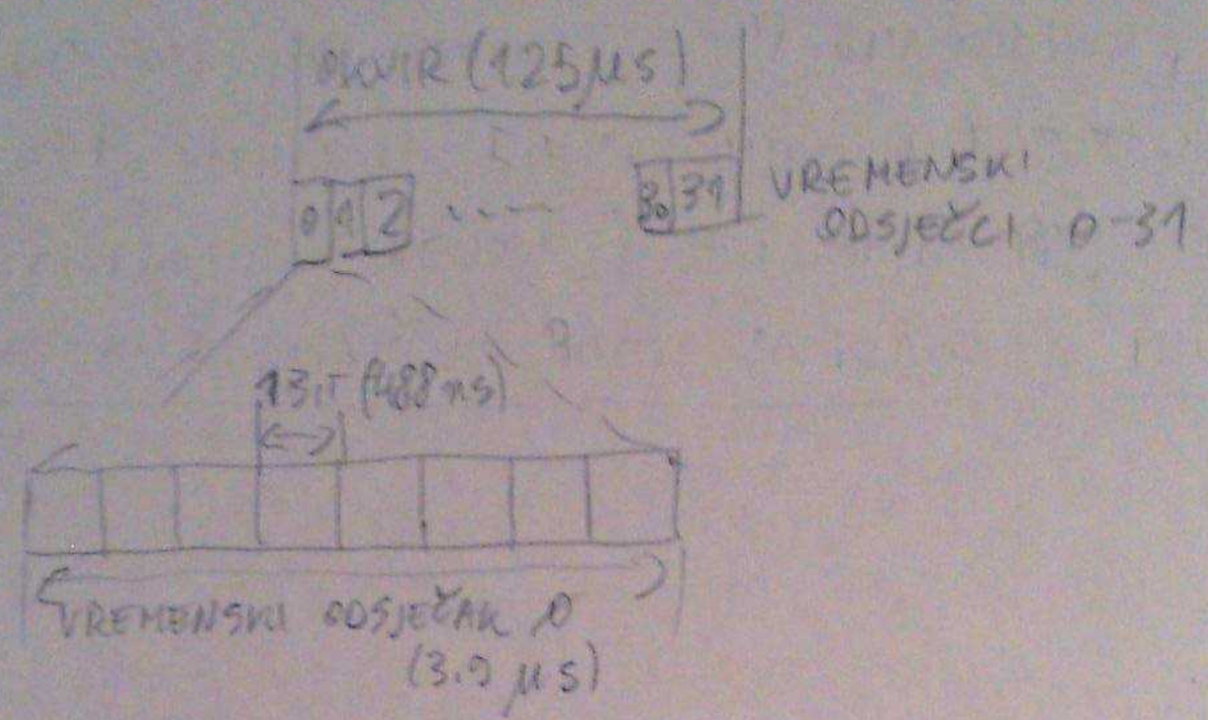
(6. ZADATAK - Z1-2011/12): U MOBILNIM KOMUNIKACIJAMA (GSM) KORISTI SE 27 ĆELIJA, SVAKA PO 2 KANALA. KOLIKO MAKSIMALNO KORISNIKA MOŽE POZVATI NA ISTOM PODRUČJU? ŠTO TREBA NAPRAVITI DA SE TAJ BROJ POVEĆA BEZ DA SE MIJENJA BROJ KANALA PO ĆELIJI?

KOD GSM-a SE KORISTI TDMA/FDMA MULTIPLEKSIRANJE ZA DOBIJELU VREMENSKOG I FREKVENCIJSKOG PODRUČJA VIŠE KORISNIKA. PRITOM SE KORISTI TDMA S 8 VREMENSKIH ODSJEČAKA, PA JE U JEDNOM FREKVENCIJSKOM KANALU ISTOVREMENO MOGUĆE 8 POZ. I

27 ĆELIJA × 2 KANALA ČINI UKUPNO 54 KANALA, NO BROJ ISTOVREMENIH POZIVA JE 54·8 = 432, JER SE KORISTI TDMA S 8 ODSJEČAKA (8 ISTOVREMENIH KORISNIKA PO KANALU).

DA SE POVEĆA TAJ BROJ, BEZ MJENJANJA BROJA KANALA PO ĆELIJI, NUŽNO JE DA SE POVEĆA BROJ ĆELIJA UZ SMANJENJE RADIJUSA POKRIVANJA POJEDINE ĆELIJE.

(6. ZADATAK - ZI-2011/12.): NA SLICI JE PRIKAZANA GRADA O EUROPSKOJ PDH HIJERARHIJI. TREBA ODREDITI BRZINU (PRIMARNU) EI PRIJENOSA!



I ZZ POZNAVANJA TEORIJE, AKO JE $T_a = 488\,ns$, ONDA JE R_a (PRIMARNA BRZINA) ⇒

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

(4. LABOS - 4.2.1. ZADATAK): U RADIJSKOJ LOKALNOJ MREŽI PO NORMI IEEE 802.11g KORISTI SE MODULACIJSKI POSTUPAK OFDM S 54 POTKANALA OD KOJIH SE 4 POTKANALA KORISTE ZA PRIJENOS PILOTSKIH SIGNALA. ZA PRIJENOS PODATAKA BRZINOM OD 54 Mbit/s U SVAKOM SE POTKANALU KORISTI MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM. ODREDITI:

a) BRZINU PRIJENOSA 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 5 μs, U KOJEM JE UKLJUČENO TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA U NAJVEĆEM PREPORUČENOM IZNOSU, MOŽE DOBITI POTREBNI RAZMAK PODNOSILACA NA FREKVENCIJSKOJ OSI.

a) OFDM SIMBOL SE SASTOJI OD SIMBOLA SVIH POTKANALA?

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

$R_b = 54$ Mbit/s

$R_S = \frac{R_b}{W} = \frac{54}{6}$ MBd $= 9$ MBd

JER 1 SIMBOL (OFDM) = 50 SIMBOLA, OBIČNIH (50 POTKANALA)

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

b) ULAZNI BROJ MORA BITI POTENCIJA BROJA 2 i VEĆI (ILI JEDNAK) OD BROJA POTKANALA

BROJ ≥ 54

BROJ $= 64$ (32 JE PREMALO)

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

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

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

$\Delta f = 0.25$ MHz

(4. LABOS - ZADATAK 4.2.2.): U SUSTAVU ZA RADIOFUZIJU 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 SE IFFT-POSTUPAK KORISTI ZA DOBIVANJE OFDM SIMBOLA (TRAŽI SE BROJ ULAZNIH PODATAKA U IFFT)? b) KOLIKO JE TRAJANJE OFDM SIMBOLA? c) KOLIKA JE UKUPNA BRZINA PRIJENOSA BITA? d) KOLIKA JE SPEKTRALNA UČINKOVITOST? e) KOLIKA JE SPEKTRALNA UČINKOVITOST UKOLIKO SE TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA $T_{Z1} = \frac{19}{256} T_0$ PROMJENI U $T_{Z1} = \frac{T_0}{32}$? f) KOLIKA JE SPEKTRALNA UČINKOVITOST UKOLIKO SE MODULACIJSKI POSTUPAK 64-QAM ZAMIJENI MODULACIJSKIM POSTUPKOM 256-QAM $\left(T_{Z1} = \frac{19 T_0}{256}\right)$?

a) $2^{14} = 16\,384$ → BROJ VALJANIH POD-NOSITELJA = 16384 (16384 > 13633)

$2^{13} = 8192$

b) $T_{OFDM} = T_0 + T_{Z1} = \frac{256+19}{256} T_0 = 1925\,\mu s$

c) 64-QAM → $w = 6$

$R_b = R_s \cdot w = w \cdot \underbrace{R_{OFDM} \cdot N_{NETTO}}_{\text{BROJ PRENESENIH 'OBIČNIH' SIMBOLA U SEKUNDI}} = w \cdot N_{NETTO} \cdot \frac{1}{T_{OFDM}} = 42.49$ Mbit/s

d) ZA 'B' UZIMAMO 8 MHz (ZADANI PODATAK) → REALAN SLUČAJ (A NE IDEALNI, KOJI JE $\Delta f \cdot N_{NETTO}$):

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

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

$T_{OFDM} = \frac{33}{32} T_0 = 1848\,\mu s$

$R_b = \frac{w \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 44.26$ Mbit/s

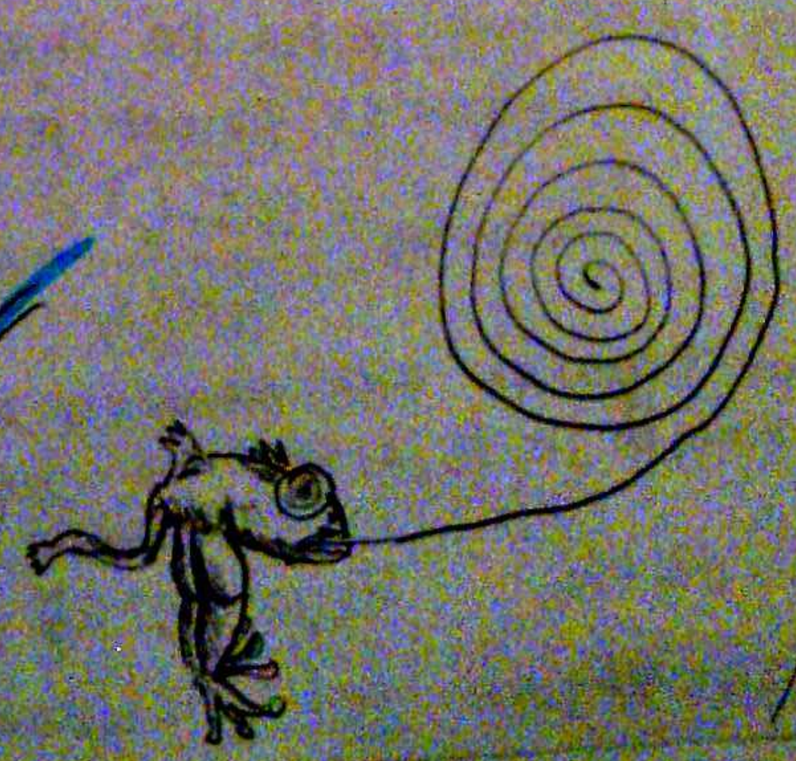
$S.U. = \frac{R_b}{B} = 5.53$ bit/s/Hz

f) OVAJ PUT SE MIJENJA MOD. POSTUPAK ⇒ $w = 8$ $(2^8 = 256)$;

$T_{OFDM} = 1925\,\mu s$; $w = 8$

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

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

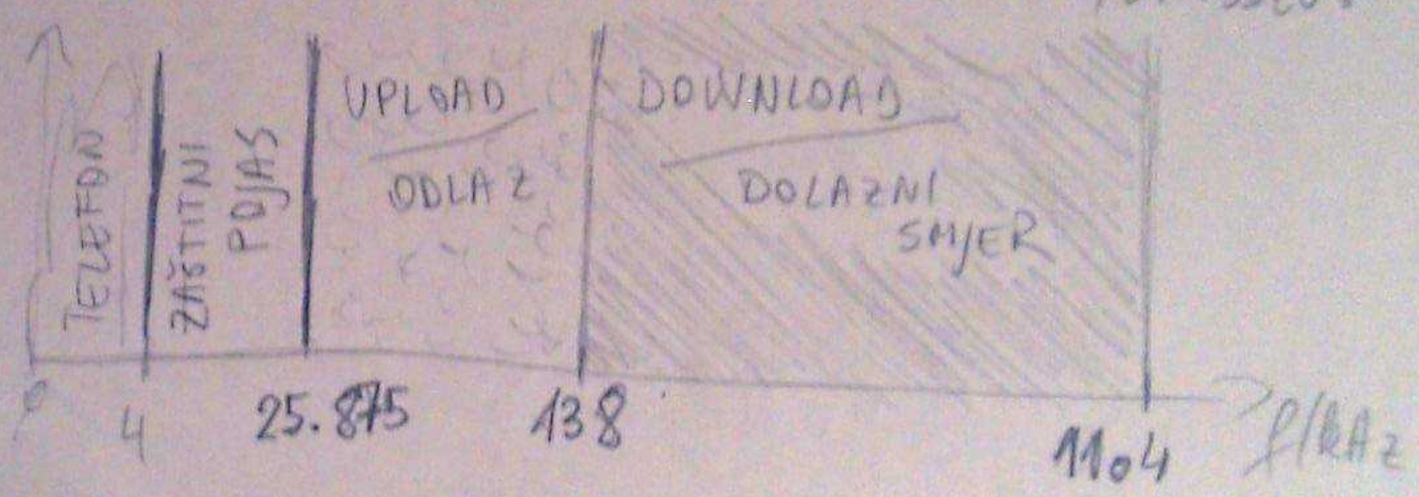


(5. LABOS - 5.2.1. ZADATAK) 3. a) IZRAČUNAJTE OMJER IZMEĐU NAJVEĆIH TEORIJSKIH BRZINA PRIJENOSA KORISNIČKIH BITOVA U DOLAZNOM I ODLAZNOM SMJERU KOD G.DMT VERZIJE ADSL-a. KOLIKE SU TE TEORIJSKE BRZINE PRIJENOSA? NAPOMENA: PO JEDAN (FDM) KANAL ZA SVAKI SMJER PRIJENOSA PODATAKA KORISTI SE ZA UPRAVLJANJE (NE PRENOSI KORISNIČKE BITOVE).

b) (SLI KAO 9. ZADATAK NA ZI-2011/12): ZBOG KARAKTERISTIKE KANALA NIJE MOGUĆE OSTVARITI MAKSIMALNU BRZINU PRIJENOSA PODATAKA U DOLAZNOM SMJERU VEĆ SE PRIMJENJUJE PRENOSE NA SLJEDEĆI NAČIN: U 10 POTKANALA PRENOSI SE 10 BITA/SIMBOL, U 60 POTKANALA PRENOSI SE 7 BITA/SIMBOL, U 50 POTKANALA PRENOSI SE 5 BITA/SIMBOL, U 5 POTKANALA PRENOSI SE 4 BITOVA/SIMBOLU I U OSTALIM POTKANALIMA PRENOSI SE MAKSIMALNI BROJ BITOVA/SIMBOLU. KOLIKA JE SADA OSTVARENA BRZINA PRIJENOSA KORISNIČKIH BITOVA U DOLAZNOM SMJERU?

KOD G.DMT VERZIJE ADSL-a, ŠIRINA JEDNOG POTKANALA JE 4312.5 Hz; NIŽE FREKVENCIJE SE ZBOG MANJEG GUŠENJA KORISTE ZA SLANJE (KORISNIK), DOK SE VIŠE FREKV. KORISTE ZA PRIMANJE PODATAKA (KORISNIK). KORISTI SE DEDM, S 4000 Bd PO POTKANALU, TE M-QAM POSTUPAK S 0-15 BITA/SIMBOLU.

FREKVENCIJSKO PODRUČJE:



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

$B_{UPLOAD} = 138 - 25.875 = 112.125$ kHz

BROJ KORIŠTENIH KANALA PO SMJERU RAČUNAMO IZ FREKVENCIJSKOG PODRUČJA (DJELJENJEM SA ŠIRINOM JEDNOG POTKANALA): (UZ ODUZIMANJE 1 KANALA ZA UPRAVLJANJE, VIDI NAPOMENU U ZADATKU)

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

BRZINE PRIJENOSA BITA RAČUNAMO IZ BROJA POTKANALA, BRZINE (4000 Bd) I BROJA BITA/SIMBOL (MAKSIMALNO JE 15, A TRAŽI SE NAJVEĆA BRZINA...): $R_{b,DOWNLOAD} = W \cdot N_{DOWNLOAD} \cdot 4000 \text{ Bd} = 13.38$ Mbit/s

$R_{b,UPLOAD} = \underset{N_{UPLOAD}}{25} \cdot \underset{W}{15} \cdot \underset{\text{BRZINA POTKANALA}}{4000} = 1.5$ Mbit/s

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

6) IZ OLIGEM ZNANO DA JE BROJ VANALA = 223 (DOKUMENTAC.) NE SMIJEM
KORISTITI BUDE SAMO 6) DIO, PA SE BROJEVI VANALA
TREBAJU UREDITI NAPAMET (223)

10 VANALA → 10 bit/SIMBOL
60 " → 7 "
50 " → 5 "
5 " → 4 "
OSTALO = 223 − 10 − 60 − 50 − 5 = 98 → MAKSIMALNO = 15 bit/SIMBOL

BRZINA PRIJENOSA BITA U OPĆEM DOWNLOADU DOBIJE SE MNOŽENJEM
BRZINE SIMBOLA PO KANALU (4000 Bd) S BROJEM VANALA I NJIHOVIM
PRIPADNIM BROJEVIMA BITA/SIMBOL:

$$R_{b,DOWNLOAD} = 4000\,(10\cdot 10 + 60\cdot 7 + 50\cdot 5 + 5\cdot 4 + 98\cdot 15)$$

4000 → 1 POTVANAL (BRZINA SIMBOLA)
10 → BROJ POTVANALA
7 → PRIPADNI BROJ BITA/SIMBOL

$R_{b,DOWNLOAD} = 9{,}04$ Mbit/s

(15. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): KOLIKA JE UKUPNA BRZINA PRIJENOSA OFDM SUSTAVA S 6817 PODNOSILACA MODULIRANIH QPSK MODULACIJOM POSTUPKOM UZ TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA $T_{Z1} = T_0/4$ I $T_0 = 896\,\mu s$? KOLIKI JE BROJ ULAZNIH PODATAKA U POSTUPAK IFFT?

QPSK → $w = 2$ $(2^2 = 4)$ $N_{NETTO} = 6817$ → KORISNI POTVANALI

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

$$R_b = w \cdot R_s = w \cdot N_{NETTO} \cdot \underbrace{R_{OFDM}}_{1/T_{OFDM}} = 12{,}17 \text{ Mbit/s}$$

(PRETPOSTAVLJA SE DA JE TRAŽENA BRZINA PRIJENOSA BITA)

Σ BROJ ULAZA ≥ 6817 ; $2^{12} = 4096$
$2^{13} = 8192 \Rightarrow 8192 \geq 6817$

BROJ ULAZA = 8192

(27. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): U JEDNOM GROZDU GSM MREŽE POTREBNO JE OMOGUĆITI 400 ISTOVREMENIH POZIVA. AKO SE GROZD SASTOJI OD 6 ĆELIJA I U NJIMA NIJE MOGUĆE PONAVLJANJE FREKVENCIJA, POTREBNO JE ODREDITI KOLIKO MINIMALNO FREKVENCIJSKIH KANALA MORA BITI NA RASPOLAGANJU U TOM GROZDU!

GSM KORISTI TDMA S 8 VREMENSKIH ODSJEČAKA, PA JE NA JEDNOJ FREKVENCIJI MOGUĆE IMATI 8 ISTODOBNIH POZIVA...:

NIJE MOGUĆE PONAVLJANJE, NO UKUPNI BROJ FREKVENCIJSKIH KANALA:

$$\frac{400}{6} = 66.67 \text{ POZIVA PO ĆELIJI} \Rightarrow \frac{66.67}{8} = 8.33 \text{ FREKVENCIJA PO ĆELIJI}$$

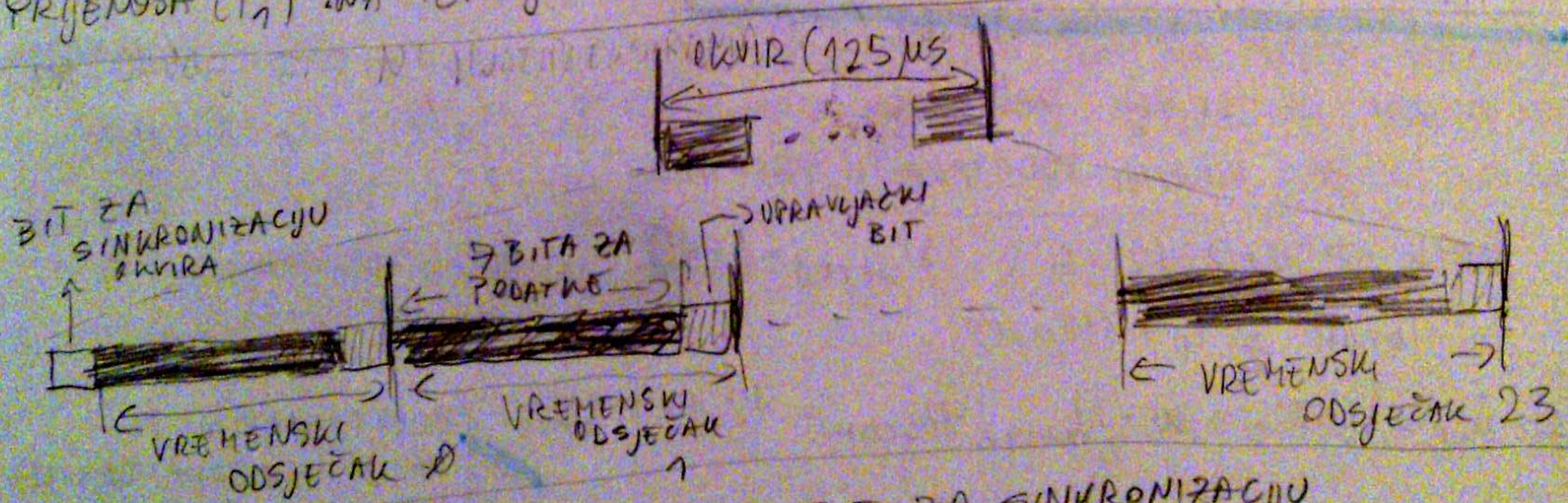
$\downarrow$

ZAOKRUŽENO NA VEĆE: 9 (DA BUDE ZADOVOLJENO MINIMALNO 400 POZIVA)

BROJ KANALA FREKVENCIJA = 9

(UKOLIKO SE POD 'NE PONAVLJANJEM' SMATRA *NE PONAVLJANJE UNUTAR JEDNE ĆELIJE, A NE U GROZDU)

(29. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): NA SLICI JE PRIKAZANA GRAĐA OKVIRA PODATAKA U AMERIČKOJ PDH HIJERARHIJI ZA PRIMARNU BRZINU PRIJENOSA. PRIJENOSA (T_1). NA TEMELJU SLIKE IZRAČUNAJTE PRIMARNU BRZINU PRIJENOSA.



24 ODSJEČKA PO 8 BITOVA + 1 BIT ZA SINKRONIZACIJU OKVIRA

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

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

(1. ZADATAK - ZIMSKI ISPITNI ROK - 2011/12): KOLIKA JE VJEROJATNOST POGREŠKE BITA AKO SE KOD KORIŠTENJA IDEALNOG 8-PSK MODULACIJSKOG POSTUPKA PRI BRZINI PRIJENOSA PODATAKA DO 1.2 Mbit/s UNUTAR JEDNOG SATA POGREŠNO PRENESE 1944 BITA?

BIT ERROR RATE (BER) JE OMJER POGREŠNO PRENESENIH BITA KROZ UKUPNI BROJ BITA. U DIGITALNIM KOMUNIKACIJAMA, ON OZNAČAVA VJEROJATNOST POGREŠKE (I NJERI SE), IDEALNO SE UZIMA DO VRIJEME PROMATRANJA.

$R_b = 1.2$ Mbit/s => UKUPNI BROJ POSLANIH BITA U JEDNOM SATU JE:

$$\underbrace{10^6 \cdot 1.2}_{R_b} \cdot \underbrace{60}_{\text{60 MINUTA SATU}} \cdot \underbrace{60}_{\text{60 SEKUNDI U MINUTI}} = 4320 \cdot 10^6$$

$$BER = \frac{1944}{4320 \cdot 10^6} = 4.5 \cdot 10^{-6}$$

(1. ZADATAK - LJETNI ISPITNI ROK - 2012/13): KOLIKA JE FREKVENCIJA KANALA VZLAZNE VEZE KOD GSM KOMUNIKACIJE AKO JE FREKVENCIJA KANALA SILAZNE VEZE 940 MHz, A DUPLEKSNI RAZMAK 45 MHz?

DUPLEKSNI RAZMAK JE RAZMAK MEĐU POJEDINIM KANALIMA VZLAZNE I SILAZNE VEZE (FREKVENCIJA), SILAZNA VEZA JE NA VIŠOJ FREKVENCIJI ($f_{DOWNLINK} > f_{UPLINK}$) (RADI MANJEG GUŠENJA):

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

(8. ZADATAK - JESENSKI ISPITNI ROK 2012/13): OFDM POSTUPKOM WZ 6817 PODNOSILACA, PRENOSE SE PODACI. OD TOGA 701 JE PILOTSKIH, A 51 SINKRONIZ. PODNOSILACA. KORISNI PODNOSIOCI SU MODULIRANI QPSK POSTUPKOM, A PILOTSKI I SINKRONIZACIJSKI SA BPSK POSTUPKOM. KOLIKO BITOVA IMA U JEDNOM OFDM SIMBOLU I KOLIKA JE UKUPNA NETTO I BRUTO BRZINA?

BROJ BITOVA JE: $\underbrace{701}_{\text{BROJ PILOTSKIH}} \cdot 1 + \underbrace{51}_{\text{SINKRO}} \cdot 1 + \underbrace{(6817 - 701 - 51)}_{\text{KORISNI}} \cdot \underbrace{2}_{\text{BIT/SIMBOL}} = 12882$ BITA

BIT/SIMBOL

OFDM SIMBOL ČINE SIMBOLI POTKANALA KOJI SE SASTOJE DO ODREĐENOG BROJA BITA, OVISNO O TOME KOJI SE MODULACIJSKI POSTUPAK U KOJEM POTKANALU KORISTI (U JEDNOSTAVNIJEM SLUČAJU SVI ĆE KORISTITI ISTI).

ZA RAČUNANJE NETTO & BRUTO BRZINE FALI NAM JOŠ PODATAKA (T_0), KO KAD BI IH IMALI, $R_{b,NETTO}$ BI IZRAČUNALI IZ T_0 (BEZ T_{ZI}), I UZIMALI SAMO KORISNE PODNOSIOCE, DOK BI ZA $R_{b,BRUTO}$ UZIMALI I T_{ZI} U RAČUN, KAO I REDUNDANTNE PODNOSIOCE.

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

$$T_{OFDM} = 10\mu s = T_0 + \underbrace{T_{ZI}}_{2\mu s} \Rightarrow T_0 = 8\mu s$$

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

(5. ZADATAK - 21. 2008/09): UZ $BER = 10^{-5}$ I BRZINU PRIJENOSA OD $10\,kbit/s$, OBREDITI BROJ POGREŠAKA U JEDNOM SATU?

$$BER = \frac{\text{BROJ POGREŠNO POSLANIH BITA}}{\text{UKUPNI BROJ BITA}} \rightarrow \underbrace{3600}_{1\,SAT = 3600\,SEKUNDI} \cdot \overbrace{10^4 \frac{bit}{s}}^{\text{BITA U SEKUNDI}}$$

$$\text{BROJ POGREŠAKA} = \underbrace{BER}_{10^{-5}} \cdot 3600 \cdot 10^4 = 360$$

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

$$R_S = \underbrace{R_{OFDM}}_{\frac{1}{T_{OFDM}}} \cdot \underbrace{N_{NETTO}}_{24\ \text{POTKANALA}}$$

$$R_b = \underbrace{N}_{=3\,(2^3=8;\ \text{JER JE 8-PSK})} \cdot R_S = \frac{N \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 72\,Mbit/s$$

(5. ZADATAK - Z1-2008/08): OFDM POSTUPKOM S 48 POD-NOSIOCA I ČETVERO-MOD. POD-NOSIOCA TRAŽI SE BROJ ULAZNIH POLAZNIH U IFFT-ALGORITAM!

$2^5 = 32 < 48$

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

BROJ ULAZA JE: 64

(6. ZADATAK - Z1-2008/09): POTREBNO JE ODREDITI SPEKTRALNU UČINKOVITOST OFDM POSTUPKA S TRAJANJEM SIMBOLA (OFDM) 120 μs, 6817 POD-NOSIOCA MODULIRANIH 16-QAM MODULACIJOM. ŠIRINA POJASA NA RASPOLAGANJU JE 8 MHz.

$$R_s = \underset{6817}{N_{NETTO}} \cdot \frac{1}{T_{OFDM}} \Rightarrow R_b = \underset{4\,(2^4=16;\ 16\text{-QAM})}{w} \cdot R_s = \frac{4 \cdot N_{NETTO}}{T_{OFDM}} = 24.346 \text{ Mbit/s}$$

$$S.U. = \frac{R_b}{\underset{8\,MHz\ (\text{"BRUTO" ŠIRINA POJASA})}{B}} = 3.04 \text{ bit/s/Hz}$$

✓

Dobro! !

OSTALO:

$$\boxed{\Delta f = \frac{1}{T_0} = f_0}$$

→ RAZMAK PODNOSIOCA, Δf KOD OFDM;
f_0 → OSNOVNA FREKVENCIJA; T_0 → OSNOVNO TRAJANJE OFDM SIMBOLA

$$\boxed{B_{OFDM} = N_{NETTO} \cdot \Delta f}$$

→ ŠIRINA OFDM ZAŠTITOG FREKV. POJASA (B_{OFDM})
N_{NETTO} → BROJ KORISNIH PODNOSIOCA; Δf → RAZMAK POD NOSIOCA

$$\boxed{T_{OFDM} = T_0 + T_{ZI}}$$

→ TRAJANJE OFDM SIMBOLA (T_{OFDM}); T_0 → OSNOVNO TRAJANJE OFDM SIMBOLA
T_{ZI} → TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA

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

→ BRZINA PRENOSA "OBIČNIH SIMBOLA" (R_S);
R_{OFDM} → BRZINA PRENOSA OFDM SIMBOLA, N_{NETTO} → BROJ KORISNIH PODNOSIOCA

ADSL: $R_S = 4000\,Bd$; $B_{POTKANAL} = 4312.5\,Hz$; $N_{DOWNLOAD} = 223$
$N_{UPLOAD} = 25$

(8 - 15) BITA/SIMBOL

$$\boxed{BER = \frac{\text{BROJ POGREŠNIH BITA}}{\text{UKUPNI BROJ BITA}}}$$