Elektroničke komunikacije

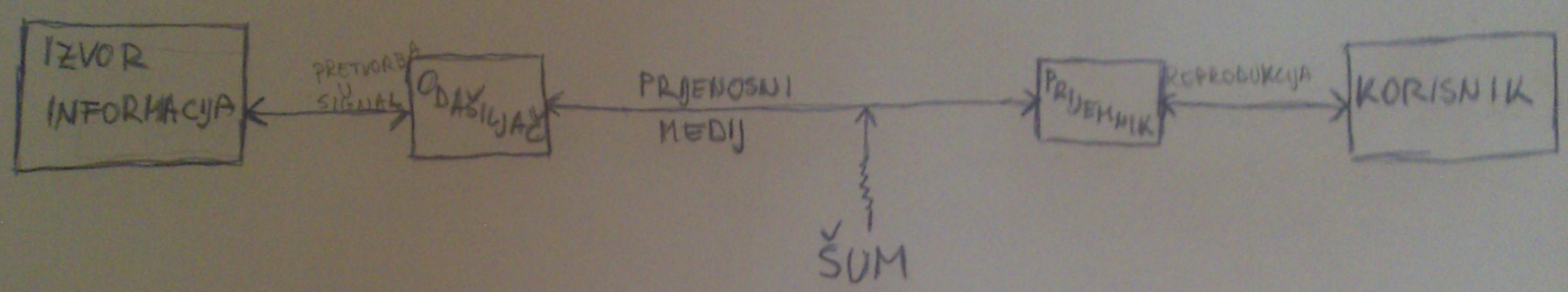
1. predavanje

by: egislov

1.DIO: Komunikacija, digitalni podaci

→ općenito:

- KOMUNIKACIJA JE PRIJENOS INFORMACIJE (PODATAKA, SMISLA) OD IZVORA PREKO UREĐAJA ZA SLANJE (ODAŠILJAČA) TE PRIJENOSNOG MEDIJA DO PRIJEMNIKA (UREĐAJA ZA PRIMANJE) I KORISNIKA
- PRITOM JE U BILO KOJEM DIJELU MOGUĆA GREŠKA, NO UZIMA SE DA ŠUM (NEŽELJENI) DJELUJE KOD PRIJENOSNOG MEDIJA I OZNAČAVA UTJECAJ OKOLINE (PA JE STOGA I STOHASTIČAN)



→ decibeli (dB):

- OMJER NAPONA, SNAGA (NAJČEŠĆE) ILI NEKIH DRUGIH VELIČINA KAKO BI SE ONE LAKŠE PRIKAZIVALE I SL.

$$\frac{P_2}{P_1}[dB] = 10 \log \frac{P_2[W]}{P_1[W]} \; ; \; \boxed{dBW \rightarrow P_1 = 1W} \; \boxed{dBm \rightarrow P_1 = 1mW}$$

- MNOŽENJE SNAGA SE SVODI NA ZBROJ DECIBELA, DIJELJENJE NA ODUZIMANJE;

$3dB = 2x$; $-3dB = \frac{1}{2}x$; AKO SE RADI O OMJERU NAPONA, FORMULA JE:

$$\boxed{\frac{P_2}{P_1}[dB] = 10 \log \left[\left(\frac{U_2^2}{R}\right) / \left(\frac{U_1^2}{R}\right) \right] = 10 \log \frac{U_2^2}{U_1^2} = 20 \log \frac{U_2[V]}{U_1[V]}}$$

→ oblici signala:

- SIGNAL KOJI SE ŠALJE KOMUNIKACIJSKIM KANALOM (PRIJENOSNIM MEDIJEM) MOŽE BITI ANALOGAN ILI DIGITALAN (MOGUĆE SU A\D I D\A KONVERZIJE)
- PODACI KOJI SE ŠALJU - U ODAŠILJAČU MOGU KOMPRIMIRATI RADI VEĆE BRZINE PRIJENOSA, ČIM JE VEĆA BRZINA POTREBNIJI JE ŠIRI FREKVENCIJSKI SPEKTAR (UZ ISTU KOMPRESIJU I OSTALE PARAMETRE)

• UREĐAJI KOJI NE VRŠE A/D ILI D/A PRETVORBU (ODAŠILJAČI/PRIJEMNICI):

ANALOGNA INF. ⟷ Telefon ⟷ ANALOGNI SIGNAL

DIGITALNA INF. ⟷ Transkoder ⟷ DIGITALNI SIGNAL

• UREĐAJI KOJI VRŠE A/D ILI D/A KONVERZIJU:

ANALOGNA INF. ⟷ Kodek ⟷ DIGITALNI SIGNAL

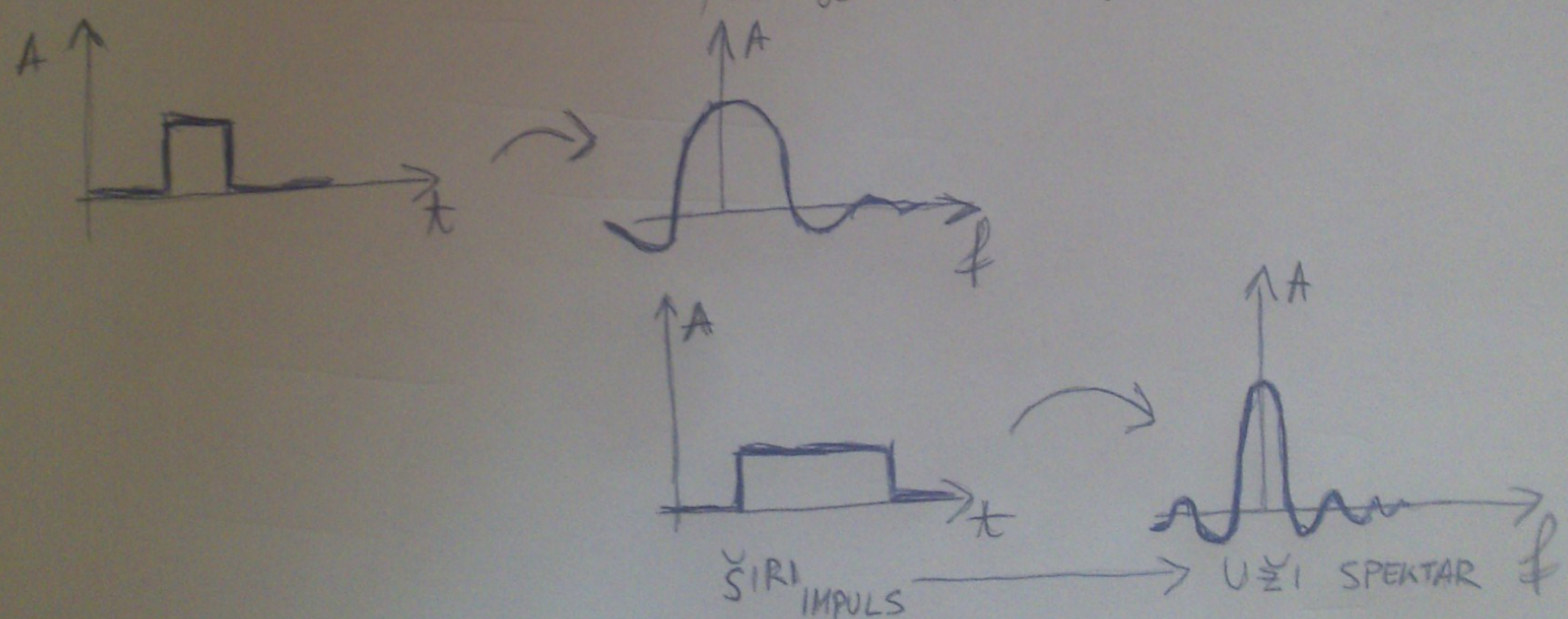
DIGITALNA INF. ⟷ Modem ⟷ ANALOGNI SIGNAL

ZVONKO KAVRAN

⇒ vrste i osnove digitalnih signala:

• DIGITALNI SIGNAL JE SIGNAL S DISKRETNIM RAZINAMA SIGNALA, PRAVOKUTNOG OBLIKA, PRI ČEMU JE NAJJEDNOSTAVNIJI ONAJ S DVIJE (NAPONSKE) RAZINE, "0" I "1"

• PRAVOKUTNI OBLIK SIGNALA U VREMENSKOJ DOMENI, U FREKVENCIJSKOJ DOMENI POPRIMA OBLIK ČEŠLA KOJEMU JE RAZMAK $\frac{\text{DIM.}}{x}$, TE ČIM JE SIGNAL UŽI U VREM. DOMENI, ŠIRI JE U FREKVENCIJSKOJ DOMENI I OBRATNO:

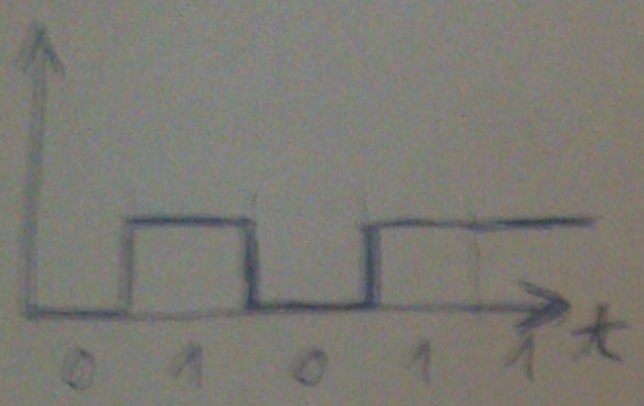


• PRIJE KOMPRESIJE, MODULACIJE I KONAČNOG SLANJA SIGNALA KANALOM, PODACI SE KODIRAJU (PREBOČUJU JEDNIM OD KODA)

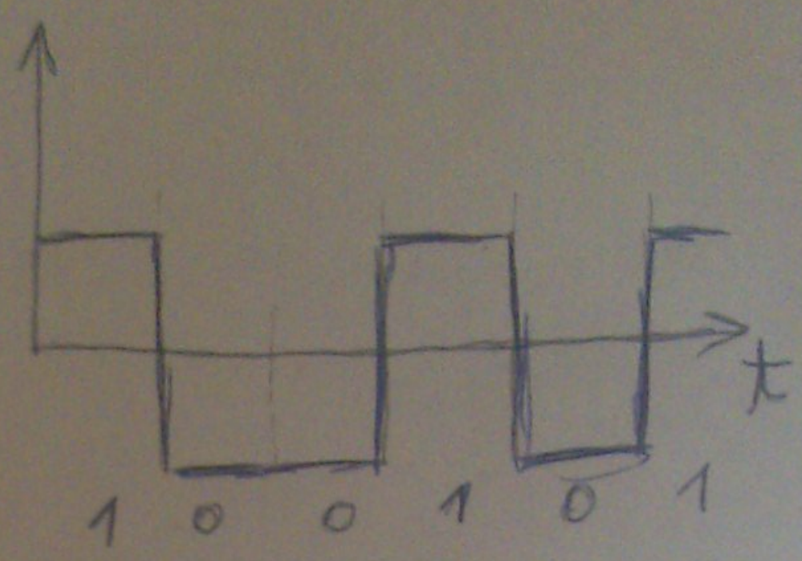
• SVAKI KOD IMA SVOJU PRIMJENU JER SE KODOVI MEĐUSOBNO RAZLIKUJU PO SPEKTRALNIM OBILJEŽJIMA, SREDNJOJ RAZINI SIGNALA I SL.

• BINARNI ZNAK MOŽE BITI PRIDRUŽEN RAZINI ELEKTRIČNOG SIGNALA ILI PROMJENI EL. SIGNALA PRI ČEMU JE BROJ RAZLIČITIH ZNAKOVA (SIMBOLA) PRIRODNA POTENCIJA BROJA 2, 2^n; $n \in N$ (U NAJJEDNOSTAVNIJEM SLUČAJU SAMO SU 2 ZNAKA - "0" I "1")

• **NRZ** KOD (Non Return to Zero) JE NAJJEDNOSTAVNIJI, SVAKI SIMBOL IMA SVOJU RAZINU



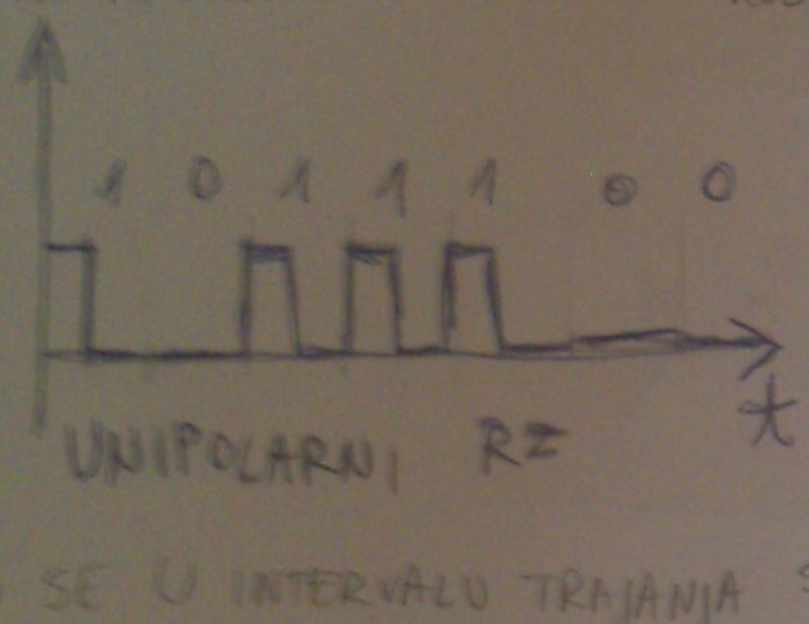
UNIPOLARNI NRZ



BIPOLARNI NRZ

• NRZ KOD IMA ISTOSMJERNU KOMPONENTU (SREDNJA RAZINA) KOJA SE SMANJUJE BIPOLARNIM OBLIKOM, NO POSTOJI PROBLEM U SINKRONIZACIJI TAKTA PRI DUGOM NIZU ISTIH SIMBOLA (JER SE NEZNA GDJE JE KRAJ, GDJE POČETAK JEDNOG ZNAKA)

• **RZ** KOD (Return to Zero), POGOTOVO BIPOLARNA INAČICA, RJEŠAVA PROBLEM DUGIH NIZOVA ISTIH SIMBOLA KOD NRZ KODA

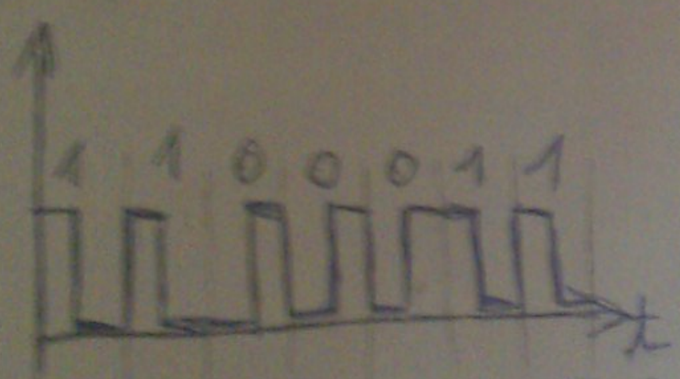


UNIPOLARNI RZ

BIPOLARNI RZ

• IAKO SE U INTERVALU TRAJANJA SIMBOLA RAZINA VRAĆA NA NULU, SVEJEDNO POSTOJI ISTOSMJERNA KOMPONENTA (KOJA JE BAR DUPLO MANJA OD RZ KODA), A I FREKVENCIJSKI POJAS JE DUPLO ŠIRI

• **MANCHESTER** KOD NEMA ISTOSMJERNU KOMPONENTU, NEMA PROBLEMA SA SINKRONIZACIJOM TAKTA, ALI MU JE FREKV. POJAS ŠIRI OD NRZ (KAO I RZ KOD)



UNIPOLARNI MANCHESTER KOD

BIPOLARNI MANCHESTER KOD

• **DIFERENCIJALNO KODIRANI** KODOVI – PROMJENA SIMBOLA PRI ODREĐENOM NAPONU :

IZVORNI NIZ		1	1	0	1	0	0	0	1
DIFER. KODIRANA "1"	0	1	0	0	1	1	1	1	0
DIFERENC. KODIRANA "0"	0	0	0	1	1	0	1	0	0

→ PRI POJAVI "1" U IZVORNOM, ZNAK SE MJENJA

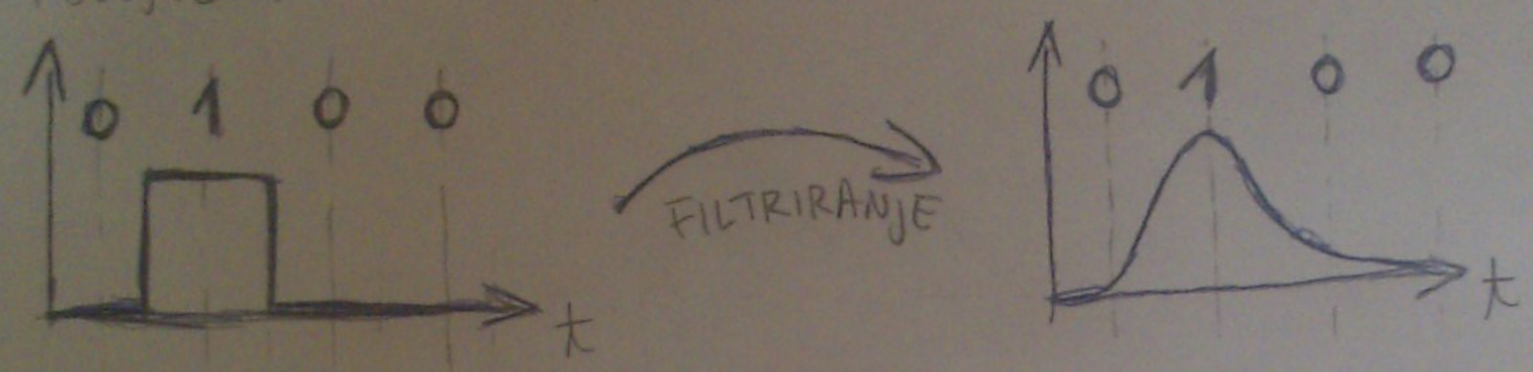
→ PRI POJAVI "0" U IZVORNOM, ZNAK SE MJENJA, INAČE OSTAJE ISTI

OBRATITI POZORNOST NA POČETNI ZNAK

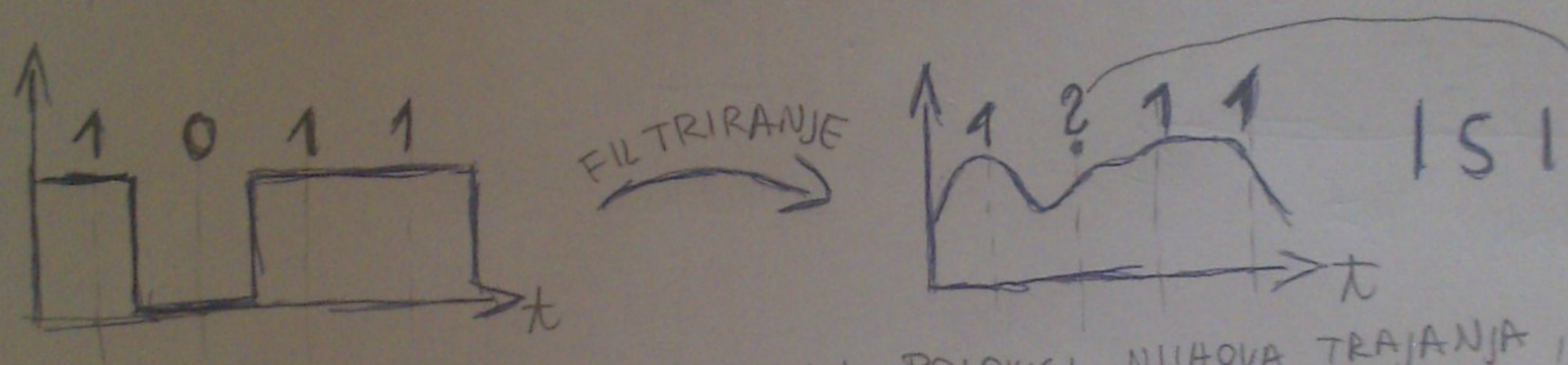
2. DIO: Prijenos (digitalnog) signala

⇒ filtriranje digitalnog signala:

- SIGNAL JE PRIJE MODULACIJE U OSNOVNOM POJASU FREKVENCIJE, TE PRAVOKUTNI IMPULS (OD KOJEGA SE DIGITAL. SIGNALI SASTOJE) ZAUZIMA BESKONAČNO ŠIROKI FREKVENCIJSKI POJAS ($\frac{\sin x}{x}$)
- KANAL KOJIME SE SIGNALI ŠALJU NIJE BESKONAČNE ŠIRINE, PA SE SIGNALI PRIJE SLANJA FILTRIRAJU. TO JE MOGUĆE JER $\frac{\sin x}{x}$ PRAKTIČKI IMA DOVOLJNO NISKE RAZINE KOJE SU NA VELIKIM FREKVENCIJAMA
- POSLJEDICA FILTRIRANJA SU IZOBLIČENJA SIGNALA (SIGNAL SE U FREKV. DOMENI SUŽUJE ŠTO ZNAČI DA SE U VREM. DOMENI ON ŠIRI)
- POSLJEDICA PROŠIRENJA IMPULSA (SIGNALA) JE INTER-SIMBOLNA-INTERFERENCIJA (ISI)



PROŠIRENJE IMPULSA

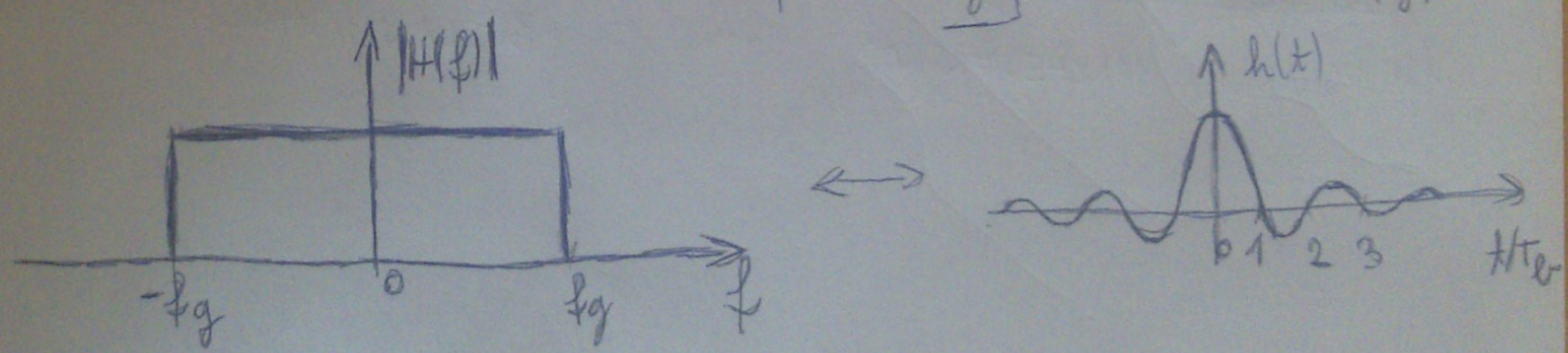


ISI

SOSTAV NEĆE ZNATI KOJI SU NEKI OD SIMBOLA

- KAKO SOSTAV OČITAVA IMPULSE NA POLOVICI NJIHOVA TRAJANJA, UZ ISI, NEKI OD NJIH ĆE BITI POGREŠNO ODREĐENI

- IDEALNI FILTAR:
  - IMA PRAVOKUTNU FREKV. KARAKTERISTIKU, GRANIČNE FREKV. f_g, ŠTO ZNAČI DA MU JE VREMENSKA KARAKTERISTIKA OBLIKA $\frac{\sin x}{x}$ S NULTOČKAMA U $k \cdot \frac{1}{2f_g} = kT_b$
  - KAKO SU NULTOČKE U kT_b, MINIMALNA ŠIRINA POJASA POSLIJE MODULACIJE, ODNOSNO BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA JE $\boxed{R_N = 2 \cdot f_g}$ (JER JE $T_b = \frac{1}{2f_g}$)

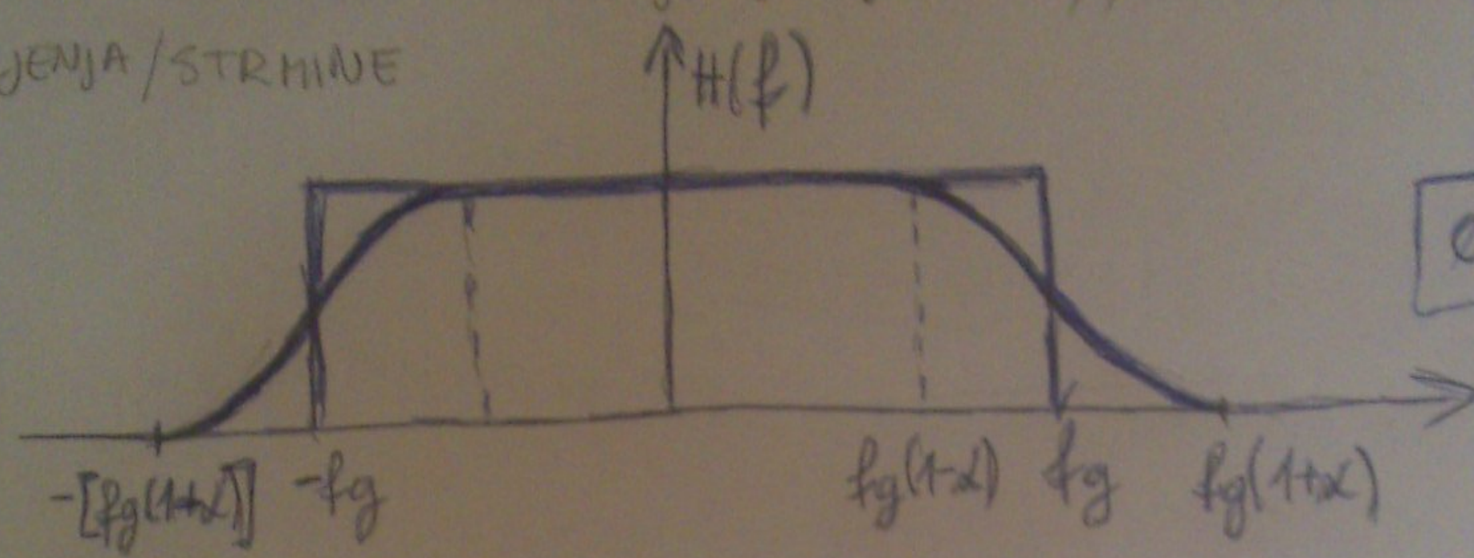


- SPEKTRALNA UČINKOVITOST JE OMJER PRENESENIH BITA U SEKUNDI I ŠIRINE POJASA:

$$\boxed{R_b / B}$$

- FILTAR S KOSINUSNIM ZAOBLJENJEM:

- REALNA KONSTRUKCIJA IDEALNOG FILTRA JE NEMOGUĆA, PA SE KORISTE ONI REALNO IZVEDIVI, POPUT KOSINUSNOG
- KOSINUSNI FILTAR SE DOBIJE SIMETRIČNIM PROŠIRENJEM IDEALNOG, ČIME IZ NYQUISTOVOG TEOREMA IZLAZI DA POLOŽAJ NULTOČKI U VREMENSKOJ DOMENI OSTAJE OČUVAN (DOK JE FREKVENCIJSKI POJAS ŠIRI ZA $\Delta f = f \cdot \alpha$)
- KOD KOSINUSNOG FILTRA OSTVARENI SU ISTI UVJETI ZA ISI (JER POLOŽAJ NULTOČKI VREMENSKE FUNKCIJE OSTAJE ISTI), A α SE NAZIVA FAKTOROM ZAOBLJENJA/STRMINE



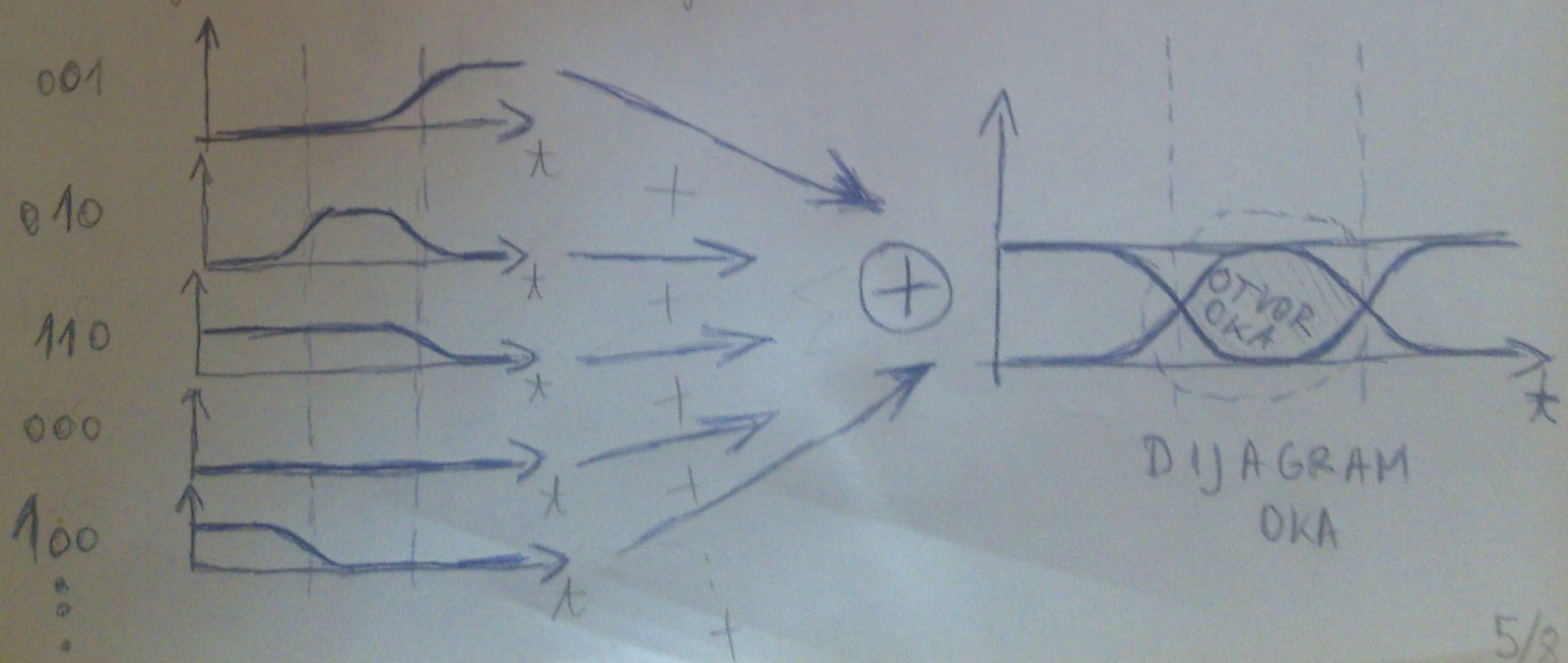
$\boxed{0 \leq \alpha \leq 1}$

- GAUSSOV FILTAR:

- IMA OBLIK GAUSSOVOG ZVONA U VREMENSKOJ KARAKTERISTICI PRI ČEMU JE ZVONO TO UŽE I VIŠE ŠTO JE VEĆI UMNOŽAK PARAMETARA: $B \cdot T_b$

⇒ dijagram oka:

- NASTAJE PREKLAPANJEM VELIKOG BROJA SIMBOLA NA ISTOM GRAFU, ČIME SE DOBIVA OBLIK OKA
- PRI IZOBLIČENJU SIMBOLA (ISI) OTVORENOST OKA SE SMANJUJE/POMIČE ŠTO SLUŽI ZA PROCJENU IZOBLIČENJA I KVALITETE
- OTVORENOST OKA JE IDEALNO 100%, U REALNIM SITUACIJAMA ISI GA SMANJUJE PA ZADOVOLJAVA >50%
- POMAK OKA USLIJED PODRHTAVANJA OKA
- OKO JE ASIMETRIČNO AKO JE PRIJENOS NELINEARAN



→ Smetnje, šum:

- KARAKTERISTIKA SIGNALA SE MNOŽI S KARAKTERISTIKOM FILTRA, KANALA TE KARAKTERISTIKOM PRIJEMNIKA
- FREKVENCIJSKA KARAKTERISTIKA KANALA NIJE RAVNA CRTA, PA SU RAZNE FREKVENC. KOMPONENTE SIGNALA RAZLIČITO PRIGOŠENE, IMAJU RAZLIČITO KAŠNJENJE TE IM JE SUPERPONIRAN STOHASTIČKI ŠUM
- GOŠENJE SIGNALA RASTE PORASTOM FREKVENCIJE, TE SE IZRAŽAVA U DECIBELIMA:

GOŠENJE: $L = 10 \log(P_{UL}/P_{IZL}) = 20 \log(U_{UL}/U_{IZL})$ [dB]

POJAČANJE: $A = 10 \log(P_{IZL}/P_{UL})$ [dB]

- BRZINA PROPAGACIJE SIGNALA JE FREKV. OVISNA PA RAZNE KOMPONENTE (FREKVENCIJSKE) IMAJU RAZLIČITO KAŠNJENJE
- ŠUM SE JAVLJA ZBOG UTJECAJA OKOLINE I UREĐAJA, TE SE DIJELI NA:

– TERMIČKI ŠUM – UZROKOVAN TEMPERATUROM (GIBANJEM ELEKTRONA), IZ OKOLINE TE SAMIH UREĐAJA ZA SLANJE/PRIMANJE, IMA PRIBLIŽNO JEDNOLIKU RASPODJELU DUŽ FREKVENCIJSKE OSI I RAZINA SE RAČUNA PO FORMULI:

$N = kTB$ [W]; k – BOLTZMANNOVA KONST., T – TEMP. U KELVINIMA, B – ŠIRINA POJASA U Hz

– INTERMODULACIJSKI ŠUM – SIGNALI KOJI SE ŠALJU NA RAZNIM FREKVENCIJAMA SI U ISTOM KANALU MEĐUSOBNO SMETAJU

– PRESLUŠAVANJE – SIGNALI KOJI IDU ISTIM PROSTOROM SI MEĐUSOBNO SMETAJU

– IMPULSNI ŠUM – JAVLJA SE USLIJED JAKIH IMPULSA UZROKOVANIH GRMLJAVINOM I SL.

- ZA MOGUĆU REPRODUKCIJU SIGNALA, ON MORA BITI VEĆI OD ŠUMA, ZATO SE ZA KVALITETU SIGNALA DEFINIRA ODNOS SIGNAL/ŠUM:

S/N [dB] $= 10 \log_{10}(S[W]/N[W])$ (* ILI C/N; E_b/N_0 U DIGITAL. PRIJ.)

- ZA PROCJENU KVALITETE DIGITALNE INFORMACIJE KORISTI SE I BER (Bit Error Rate) KOJI JE OMJER POGREŠNIH BITOVA NAD ODASLANIM:

$$\left\{ BER = \frac{n}{N} \right\}$$

n – POGREŠNI BITOVI
N – SVI ODASLANI BITOVI

- KAKO KANAL IMA FREKVENCIJSKI SELEKTIVNU KARAKTERISTIKU NA PRIJEMNOJ STRANI POKUŠAVA SE TO KOMPENZIRATI FILTRIMA S PROMJENJIVIM KOEFICIJENTIMA

→ kapacitet kanala i usporedba analognog/digit. prijenosa:

- KANAL IMA OGRANIČENU MAKSIMALNU BRZINU PRIJENOSA PODATAKA (T.J. KAPACITET), ON OVISI O ŠIRINI FREKV. POJASA, RAZINI ŠUMA, BROJU NAPONSKIH RAZINA I MINIMALNOM BER-U
- NYQUISTOVA FORMULA: $C = 2B\log_2 M$
  - M → BROJ NAPONSKIH RAZINA
- SHANNONOVA FORMULA: $C = B\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right)$
  - $\frac{S}{N}$ → NIJE U dB
- KOD ANALOGNIH SIGNALA KVALITETA NE OVISI O SADRŽAJU, OSJETLJIV JE NA ŠUM, NIJE MOGUĆA REGENERACIJA SIGNALA (PORASTOM UDALJENOSTI KVALITETA SE NEPOVRATNO GUBI)
- KOD DIGITALNIH SUSTAVA KVALITETA OVISI O SADRŽAJU, ALI SU SIGNALI MANJE OSJETLJIVI NA ŠUM I MOGUĆA JE REGENERACIJA SIGNALA; UREĐAJI SU JEFTINIJI I BOLJE JE ISKORIŠTEN SPEKTAR, MOGUĆE JE ŠIFRIRANJE SIGNALA

3. DIO: Prijenosni mediji

→ upletena parica:

- SPIRALNO UPLETENI VODIČ KAKO BI SE SMANJILI VANJSKI I MEĐUSOBNI UTJECAJ
- JEFTIN I JEDNOSTAVAN, ALI VELIKO GOŠENJE NA VELIKE UDALJENOSTI

→ koaksijalni kabel:

- 2 KABELA, TANJI UNUTAR VEĆEG, ŠUPLJEG; ODVOJENI IZOLATOROM
- PUNO VIŠE SMANJENI VANJSKI UTJECAJI, NO KOMPLICIRANIJI I SKUPLJI

→ svjetlovod:

- FLEKSIBILAN I JEFTIN, NO KRAJNJI UREĐAJI (LASERI) SU SKUPI
- MALO GOŠENJE, KORISTI SE NA VEĆE UDALJENOSTI, VELIKE BRZINE
- DVIJE VRSTE PRISTUPNIH UREĐAJA, LED (JEFTINIJI I LOŠIJI) I LASER (BOLJI, SKUPLJI)
- 2 VRSTE; VIŠEMODNI I JEDNOMODNI

→ radijski prijenos

- SIGNAL SE ŠALJE I PRIMA ANTENAMA ELEKTROMAGNETSKIM VALOM KROZ SLOBODNI PROSTOR
- PRIJENOS MOŽE BITI: - USMJEREN - OD TOČKE DO TOČKE
  - NEUSMJEREN - OLAŠILJAČ I PRIMAJU SVI KOJI TO MOGU

- DO 30 MHz EM-VAL SE REFLEKTIRA OD IONOSFERE, ŠTO SE KORISTI U KOMUNIKACIJAMA
- IZNAD 30MHz VAL PROLAZI KROZ IONOSFERU
- PRI JAKO MALIM FREKV. VAL PRATI ZAOBLJENOST ZEMLJE
- ZBOG RAZLIČITE GUSTOĆE ATMOSFERE VAL SE LOMI PREMA ZEMLJI PA BLAGO (VIŠE ILI MANJE) PRATI ZAOBLJENOST ZEMLJINE POVRŠINE
- DOMET EM-VALA (2 ANTENE):

$$d = 3.57\left(\sqrt{kh_1} + \sqrt{kh_2}\right)$$

; $k = 1$ ZA OPTIČKU VIDLJIVOST

$k = 4/3$ ZA RADIJSKI HORIZONT

- GUŠENJE EM-VALA VALNE DULJINE λ NA UDALJENOSTI d:

$$L = 10 \log\left(\frac{4\pi d^2}{\lambda}\right) [dB]$$

- GUŠENJE RASTE S UDALJENOSTI I FREKVENCIJOM
- ZBOG VIŠESTAZNOG ŠIRENJA VALA, ISTI VAL MOŽE SAM SEBI SMETATI (REFLEKSIJE)
- OSIM ANTENAMA, EM-VAL SE MOŽE SLATI I SATELITOM:
  - GEO - GEOSTACIONARNI, NAJVIŠI I NAJVEĆE KAŠNJENJE, MALI BROJ SATELITA
  - MEO - (Medium) - SREDNJI
  - LEO - (Low) - NAJNIŽI, NAJMANJE KAŠNJENJE, NAJVEĆI POTREBAN BROJ SATELITA
  - ZA SVAKU VEZU (downlink ILI uplink) I DODJELU VEZA BRINE SE UREĐAJ TRANSPONDER
- WLAN - BEŽIČNI PRIJENOS NA MALU UDALJENOST

Elektroničke komunikacije

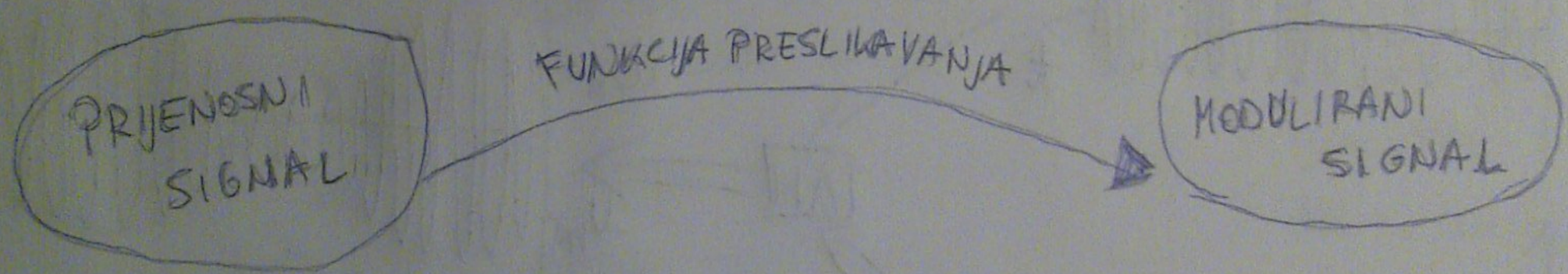
2. predavanje

by: egislov

1. DIO: Općenito i amplitudna modulacija (AM)

→ općenito:

- NAKON KODIRANJA, ŠIFRIRANJA I OBRADE PODATAKA, SIGNAL JE PRIJE SLANJA KOMUNIKACIJSKIM KANALOM POTREBNO MODULIRATI I NA PRIJEMNOJ STRANI DEMODULIRATI
- MODULACIJA JE PROMJENA PARAMETARA SIGNALA PRIJE SLANJA (AMPLITUDE, FAZNIH ODNOSA...) ČIME SIGNAL IZ OSNOVNOG POJASA (NIŽIH FREKVENCIJA; OD $0 - f_g$) PREBACUJEMO (MODULIRAMO) U VIŠI POJAS FREKVENCIJA
- SIGNAL (PODATKE) PRIJE MODULACIJE ZOVEMO MODULACIJSKI SIGNAL I ON UPRAVLJA PROMJENAMA PARAMETARA POMOĆNOG, PRIJENOSNOG SIGNALA
- DRUGIM RIJEČIMA: GENERATOROM SIGNALA GENERIRAMO PRIJENOSNI SIGNAL KOJI U SEBI NE NOSI KORISNU INFORMACIJU; ZATIM MIJENJAMO PARAMETRE PRIJENOSNOG SIGNALA OVISNO O PARAMETRIMA MODULACIJSKOG SIGNALA (KOJI SADRŽI PODATKE); REZULTATNI SIGNAL KOJI ŠALJEMO KANALOM ZOVE SE MODULIRANI SIGNAL:
- UREĐAJI KOJI VRŠE (DE)MODULACIJU ZOVU SE MODULATORI / DEMODULATORI



- FUNKCIJA PRESLIKAVANJA OVISI O PODACIMA (MODULACIJSKI SIGNAL) I MODULACIJSKOM POSTUPKU
- DEMODULACIJA SE DIJELI NA:
  - KOHERENTNU – PRIJEMNIK I ODAŠILJAČ SU SINKRONIZIRANI PO FAZI PRIJ. SIGNALA
  - NEKOHERENTNU – PRIJEMNIK I ODAŠILJAČ NISU SINKRONIZIRANI – II –
- MODULACIJE SE DIJELE NA:
  - KONTINUIRANE – OVO PREDAVANJE :) (PRIJ. → SINUSNI I MODULACIJSKI SIGNALI SU KONTINUIRANI)
  - DISKRETNE – 3. PREDAVANJE (PRIJENOSNI S. JE SINUS, MODULAC. JE DISKRETAN)
  - IMPULSNE – 4. PREDAVANJE (PRIJ. SIG. JE DISKRETAN, MODULACIJSKI ILI ANAL. ILI DISKR.)
  - DIGITALNE – NEĆE SE RADITI NA PREDMETU (KOMPLICIRANI POSTUPCI)

AM (Amplitude Modulation):

- AMPLITUDA PRIJENOSNOG SIGNALA LINEARNA JE FUNKCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA

PRIJENOSNI SIGNAL: $u_p(t) = U_{PM}\cos(\omega_p t + f)$; $U_{PM} = f(u_m(t)) = U_{PM} + k_a u_m(t)$;

ČIME SE DOBIVA AM-SIGNAL

- FAZA JE OVDJE NEBITNA, ONA SE NEĆE MODULIRATI PA MOŽEMO PISATI $f=0$; A MODULACIJSKI SIGNAL FOURIEROVOM ANALIZOM MOŽEMO RASTAVITI NA KOSINUSE RAZNIH FREKVENCIJA (RADI JEDNOSTAVNOSTI PRVO ĆE SE UZETI SAMO JEDAN OD TIH KOSINUSA):

AM-SIGNAL: $u_{AM}(t) = U_{AM}\cos\omega_p t = \left[U_{PM} + k_a U_{MM}\cos\omega_M t\right]\cos\omega_p t$

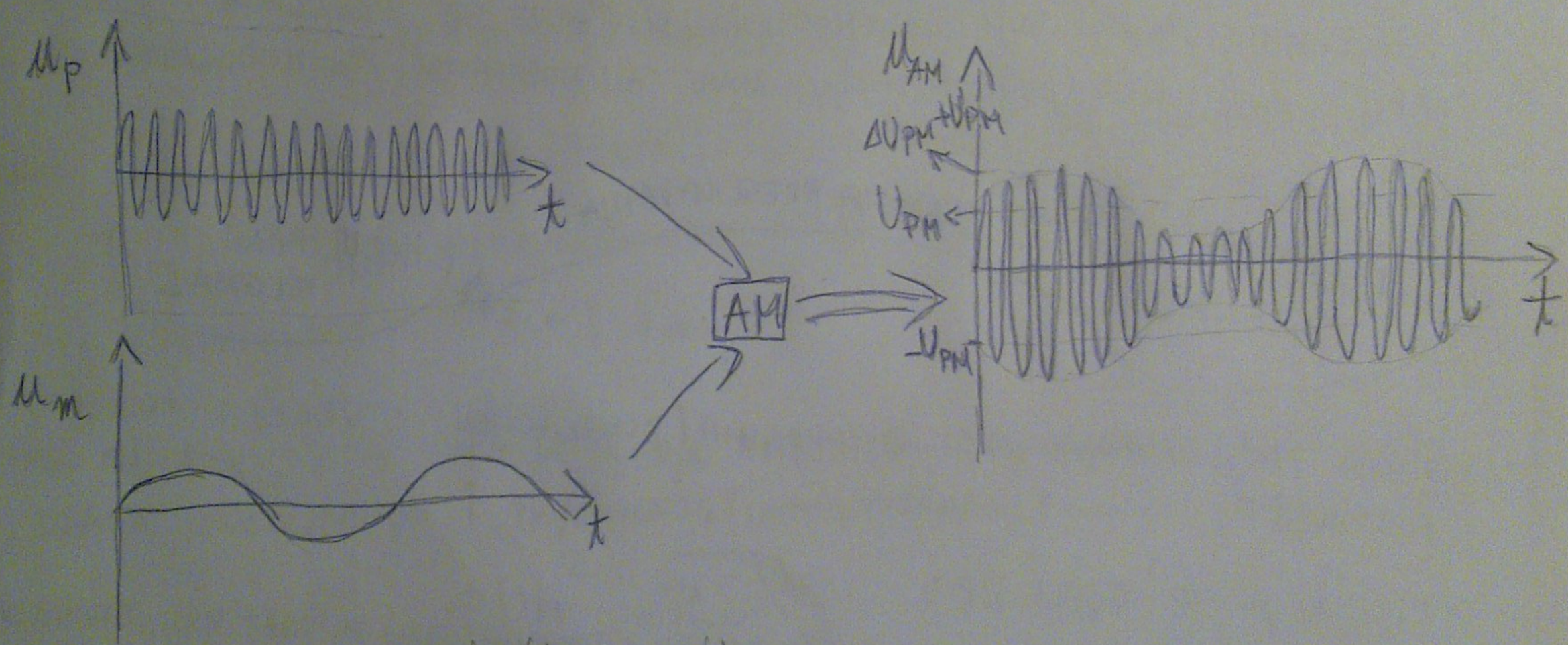
- MAXIMUM, TJ. MINIMUM AMPLITUDE JE PRI $\cos\omega_M t = \pm 1$

$$u_{AM}(t) = U_{PM}\left(1 + \frac{k_a U_{MM}}{U_{PM}}\cos\omega_M t\right)\cos\omega_p t$$

- PRITOM JE PRIJENOSNI SIGNAL PUNO VEĆE FREKVENCIJE OD MODULACIJSKOG KAKO BI PREBACILI NEMODULIRANI SIGNAL IZ OSNOVNOG POJASA U POJAS VIŠIH FREKVENCIJA;

$$\omega_p \gg \omega_M$$

- REZULTAT, AM-SIGNAL JE U MNOŽAK PRIJENOSNOG SIGNALA I LINEARNE FUNKCIJE MODULACIJSKOG

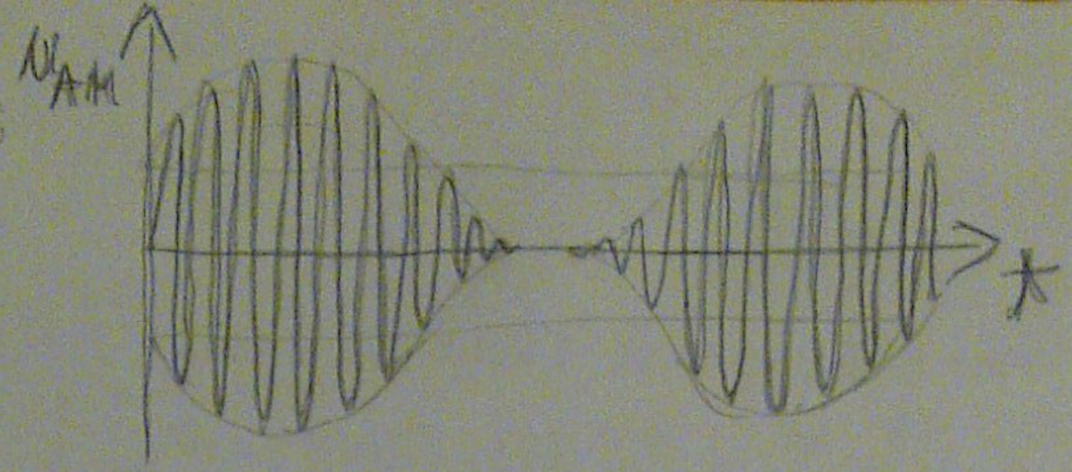


$\Delta U_{PM} = k_a U_{MM}$; $\frac{k_a U_{MM}}{U_{PM}} = \frac{\Delta U_{PM}}{U_{PM}} = m_a$ ... INDEKS MODULACIJE AM-SIGNALA

$$u_{AM}(t) = U_{PM}(1 + m_a\cos\omega_M t)\cos\omega_p t$$

- INDEKS MODULACIJE GOVORI O "DUBINI" MODULACIJE, KADA JE $m_a \leq 1$ OVOJNICA ĆE PRATITI (NEPREKIDNO) PROMJENU VREMENA, PRI $m_a > 1$ DOĆI ĆE DO PREMODULACIJE, TJ. OVOJNICA ĆE SE IZOBLIČITI JER ĆE BITI $\Delta U_{PM} > U_{PM}$ (VIDI SLIKU NA SLJ. STRANICI)

PREMODULACIJA:



IZOBLIČENJE OVOJNICE

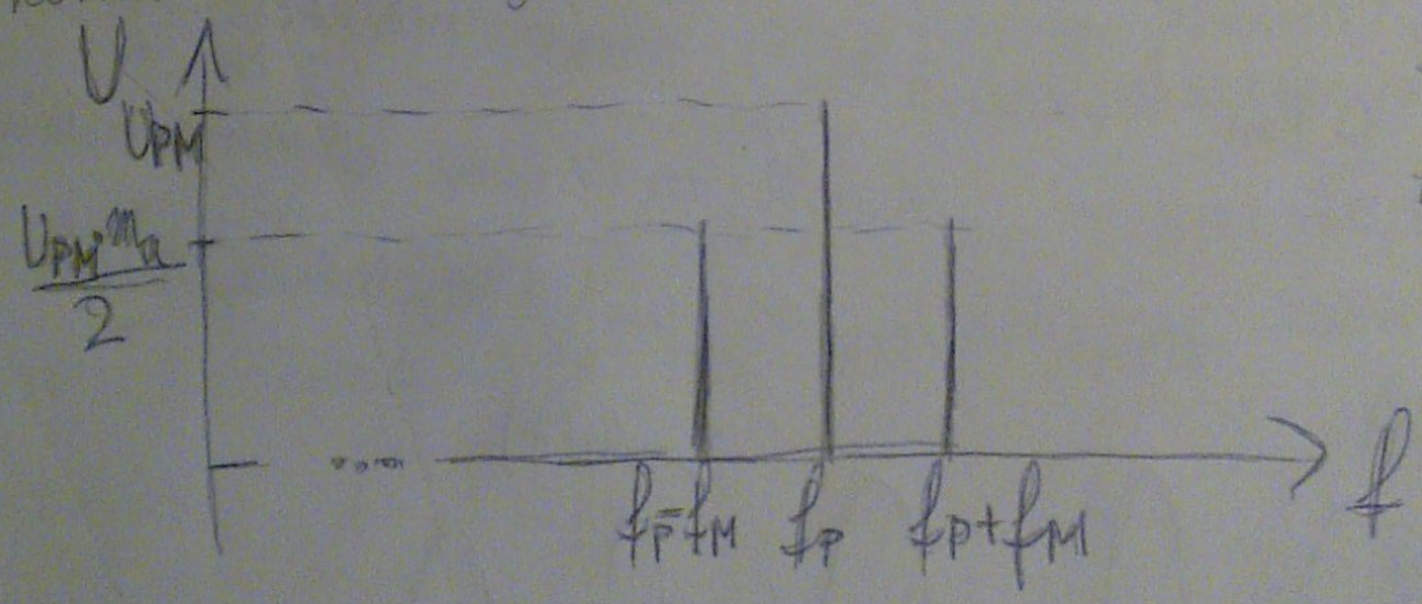
- KORIŠTENJEM FORMULE ZA UMNOŽAK KOSINUSA AM-SIGNAL PRELAZI U:

$$u_{AM}(t) = U_{PM}\left[\cos\omega_p t + \frac{m_a}{2}\cos(\omega_p t + \omega_M t) + \frac{m_a}{2}\cos(\omega_p t - \omega_M t)\right]$$

- PREBACI LI SE GORNJA FORMULA U FREKVENCIJSKU DOMENU VIDI SE DA SE AM-SIGNAL MODULIRAN KOSINUSOM JEDNE FREKV. (ω_M) SASTOJI OD 3 KOMPONENTE!

FREKVENCIJA:	$\omega_p - \omega_M$	ω_p	$\omega_p + \omega_M$
AMPLITUDA	$U_{PM}\cdot\frac{m_a}{2}$	U_{PM}	$U_{PM}\cdot\frac{m_a}{2}$

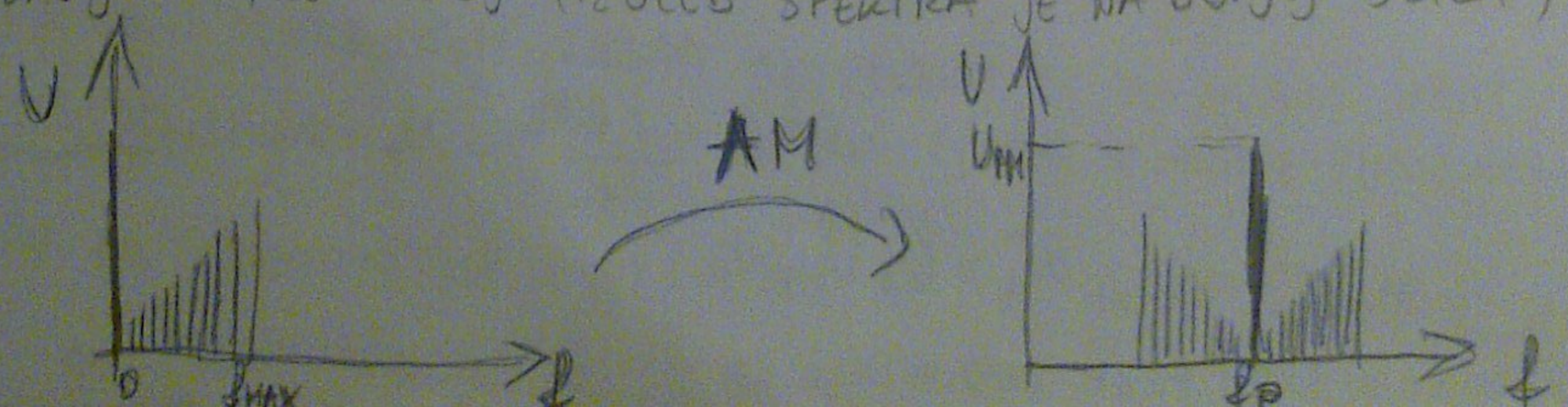
- FREKVENCIJSKA ŠIRINA POJASA JE OČITO: $B = (\omega_p + \omega_M) - (\omega_p - \omega_M) = 2\omega_M$ tj. $2f_M$
- AM JE LINEARNI MODULACIJSKI POSTUPAK JER ČUVA BROJ FREKVENCIJSKIA KOMPONENT, PRIJE I POSLIJE MODULACIJE ŠIRINA POJASA JE OSTALA ISTA (PRIJE MODULACIJE NISMO BROJALI I NEGATIVNE FREKV. KOMP. MODULACIJSKOG SIGNALA KOJE SE POSLIJE AM POMIČU NA POZITIVNI DIO OSI PA ONDA I NJIH BROJIMO), ZA RAZLIKU OD PM I FM POSTUPKA GDJE SE PRI MODULACIJI JAVLJAJU NOVE FREKV. KOMPONENTE PA POJAS BODE ∞



SPEKTAR AM-SIGNALA

$$B_{AM} = 2f_M$$

- AKO SE RADI O REALNOM SLUČAJU, MODULACIJOM KOSINUSIMA (VIŠE OD JEDNE MODULACIJSKE FREKVENCIJE), TADA JE $B_{AM} = 2f_{MAX}$, GDJE JE f_{MAX} NAJVIŠA OD MODULACIJSKIH FREKVENCIJA (IZGLED SPEKTRA JE NA DONJOJ SLICI)



• AM-SIGNAL SE MOŽE PRIKAZATI I U KOMPLEKSNOM OBLIKU:

$$u_{AM}(t) = U_{PM}\,\mathrm{Re}\left\{ e^{j\omega_P t} + \frac{m_a}{2} e^{j(\omega_P+\omega_M)t} + \frac{m_a}{2} e^{j(\omega_P-\omega_M)t} \right\}$$

• SREDNJA SNAGA AM-SIGNALA SE DOBIJE INTEGRIRANJEM (NA OTPORU 'R') PO PERIO

$$P_{AM} = \frac{U_{PM}^2}{2R}\left(1+\frac{m_a^2}{2}\right) = P_{P0}\left(1+\frac{m_a^2}{2}\right)$$; P_{P0} ... SNAGA PRIJENOSNOG SIGNALA (NEMODULIRANOG)

• DEMODULACIJA AM-SIGNALA NA PRIJEMNOJ STRANI RADI SE NA 2 NAČINA:

- KOHERENTNI POSTUPAK (RJEĐE) – OSNIVA SE NA MNOŽENJU AM-SIGNALA S JEDNIM POMOĆNIM SIGNALOM KOJI TREBA BITI ČIM SLIČNIJI IZVORNOM PRIJENOSNOM SIGNALU U MODULATORU
- NEKOHERENTNI POSTUPAK – DETEKCIJA OVOJNICE, PRI ČEMU TREBA BITI $f_P \gg f_M$ I $m_a < 1$

2. DIO: Modulacija faze i frekvencije (PM i FM)

→ PM (Phase Modulation):

• FAZA (RELATIVNA) PRIJENOSNOG SIGNALA JE LINEARNA FUNKCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA (AMPLITUDA SE NE MJENJA):

$$f(t)_{PM} = f_0 + k_P u_M(t)$$; $f_0 = \emptyset$ JER JE IONAKO SVEJEDNO

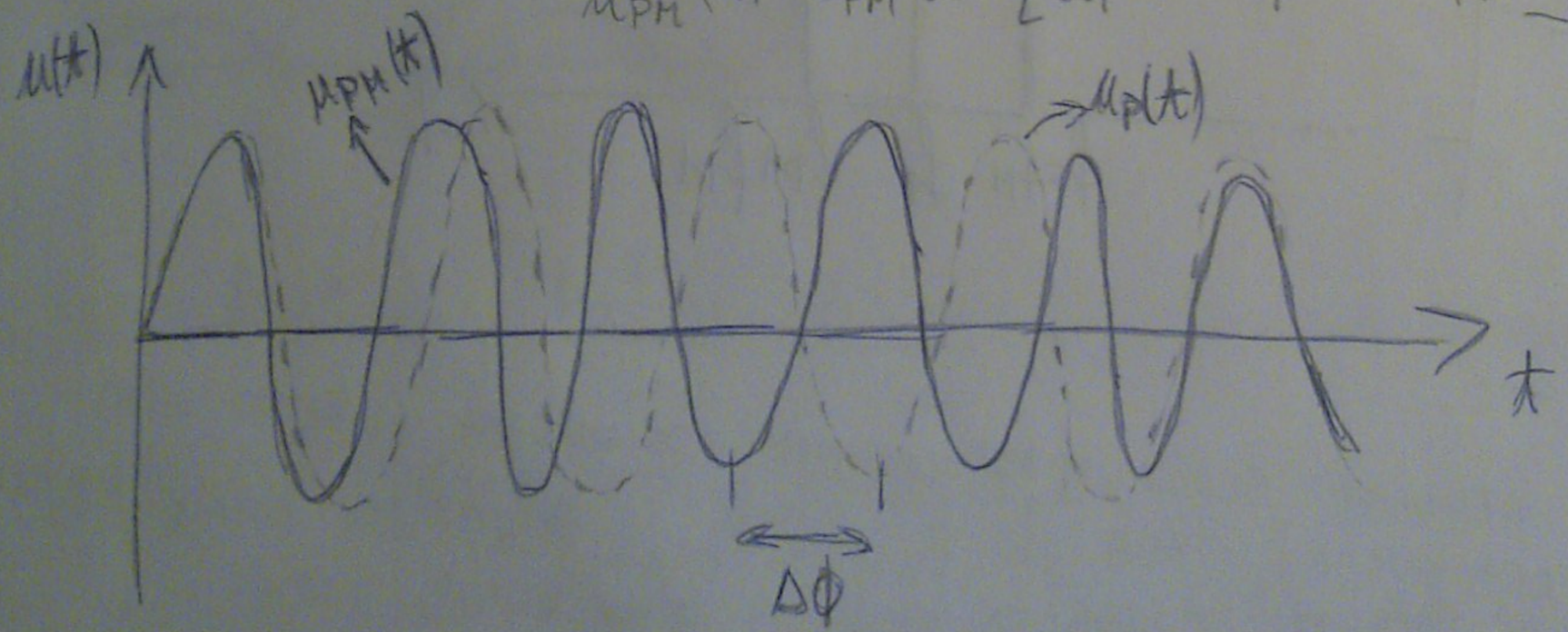
$$u_{PM}(t) = U_{PM}\cos\left(\omega_P t + k_P u_M(t)\right)$$

• AKO SE MODULACIJSKI SIGNAL SASTOJI OD KOSINUSA JEDNE FREKVENCIJE, $u_M(t) = U_{MM}\sin\omega_M t$, TADA JE (MAKSIMALNA) DEVIJACIJA (ODSTUPANJE) FAZE OD PRIJENOSNE:

$$\Delta\phi_{PM} = k_P U_{MM} = m_P$$ ... INDEKS MODULACIJE PM-SIGNALA

$m_P \in \mathbb{R}$ (ZA RAZLIKU OD AM-SIGNALA)

$$u_{PM}(t) = U_{PM}\cos\left[\omega_P t + m_P \sin(\omega_M t)\right]$$



• MODULACIJOM FAZE MIJENJA SE I TRENUTNA FREKV. MODULIRANOG SIGNALA (JER JE DEFINICIJA FREKVENCIJE – DERIVACIJA FAZE): $\omega(t)_{PM} = \frac{d\phi(t)_{PM}}{dt} = \omega_P + m_P\omega_M \cos(\omega_M t)$

$\Delta\omega_{PM} = m_P\omega_M = \Delta\phi_{PM}\omega_M = k_P U_{MM}\omega_M$; PM I FM POSTUPCI SU USKO POVEZANI, SINUSNOM PROMJENOM FAZE FREKVENCIJA SE MIJENJA PO KOSINUSU!

M (Frequency Modulation):

- FREKVENCIJA PRIJENOSNOG SIGNALA JE LINEARNA FUNKCIJA MODULACIJSKOG SIGNALA

$$\omega(t)_{FM} = \omega_p + k_F u_M(t)$$

- KAKO JE FREKVENCIJA DERIVACIJA FAZE, TADA JE FAZA FM-SIGNALA INTEGRAL FAZE PO VREMENU:

$$\phi(t)_{FM} = \int_0^t \omega(t)_{FM}\,dt = \omega_p t + k_F \int_0^t u_M(t)\,dt$$

- AKO JE MODULACIJSKI SIGNAL KOSINUS JEDNE FREKVENCIJE, TADA JE JEDNOSTAVNO IZRAČUNATI POTREBNE PARAMETRE:

$$u_M(t) = U_{MM} \cos \omega_M t$$

$$\boxed{\Delta\omega_{FM} = k_F U_{MM}}$$

$$\phi(t)_{FM} = \omega_p t + \frac{k_F}{\omega_M} U_{MM} \sin \omega_M t = \omega_p t + \frac{\Delta\omega_{FM}}{\omega_M} \sin \omega_M t$$

$$\boxed{\Delta\phi_{FM} = \frac{\Delta\omega_{FM}}{\omega_M} = \frac{k_F U_{MM}}{\omega_M} = m_F \quad \text{... INDEKS MODULACIJE}}$$

$$u_{FM}(t) = U_{PM} \cos\left[\omega_p t + m_F \sin(\omega_M t)\right]$$

- MODULACIJOM PO KOSINUSU, FAZA ĆE SE MJENJATI PO SINUSU! OBLIK MODULIRANIH SIGNALA PM I FM JE JEDNAK (AKO JE JEDAN PO KOSINUSU A DRUGI PO SINUSU I OBRATNO), TE IM JE I SPEKTAR JEDNAK, JEDINA RAZLIKA JE U DEFINIRANIM INDEKSIMA MODULACIJE I DEVIJACIJAMA FAZE/FREKVENCIJE

- AKO JE $m < 0.4$ PRIBLIŽNIM APROKSIMACIJAMA DOBITI ĆE SE 3 SPEKTRALNE KOMPONENTE I KAŽEMO DA SE RADI O USKOPOJASNOJ MODULACIJI ARGUMENTA;

FREKVENCIJA	$f_P - f_M$	f_P	$f_P + f_M$
AMPLITUDA	$U_{PM} \cdot \frac{m}{2}$	U_{PM}	$U_{PM} \cdot \frac{m}{2}$

(PRI $m < 0.4$ SPEKTAR PM I FM SIGNALA JEDNAK JE AM-SIGNALU)

- UKLJUČIO SE FAZA MJENJA PO SINUSNOM ZAKONU; $u_{PM/FM} = U_{PM} \cos\left[\omega_p t + m \boxed{\sin(\omega_M t)}\right]$, DONJA BOČNA KOMPONENTA ĆE BITI NEGATIVNA $\left(-U_{PM} \cdot \frac{m}{2}\right)$, JER JE SINUS NEPARNA FUNKCIJA

- PRI $m > 0.4$ RADI SE O ŠIROKOPOJASNOJ MODULACIJI I SPEKTAR SE NE MOŽE APROKSIMIRATI S 3 KOMPONENTE
- PRI ŠIROKOPOJASNOJ MODULACIJI SPEKTRALNE KOMPONENTE SE RAČUNAJU S BESSELOVIM FUNKCIJAMA I JACOBIJEVIM REDOVIMA
- FREKVENCIJSKI POJAS ĆE PRI $m > 0.4$ BITI JOŠ ŠIROK JER SE JAVLJA BESKONAČNO MNOGO BOČNIH SPEKTRALNIH KOMPONENTI OKO f_P, PA SE PM I FM NAZIVAJU <u>NELINEARNIM MODULACIJAMA</u> (ZA RAZLIKU OD AM)
- U PRAKSI ONE UDALJENE FREKV. KOMPONENTE SE MOGU ZANEMARITI JER IMAJU MALE AMPLITUDE, PA SE KORISTI EMPIRIJSKA FORMULA ZA $m > 0.4$, ZVANA <u>CARSONOVO PRAVILO</u>, ZA ODREĐIVANJE ŠIRINE POJASA:

$$\left\{ m > 0.4 \Rightarrow B_{PM/FM} \approx 2 f_M (m+1) \right\}$$

- OBUHVAĆENE SU SPEKTRALNE KOMPONENTE AMPLITUDA VEĆIH OD 10% MODULIRANOG SIGNALA (TJ. SNAGA VEĆIH OD 1% UKUPNE SNAGE MODULIRANOG SIGNALA
- PRI $m < 0.4$ ŠIRINA POJASA JE:

$$\boxed{m < 0.4 \Rightarrow B_{PM/FM} \approx 2 f_M}$$

- AKO SE MODULACIJSKI SIGNAL SASTOJI OD KOSINUSA (S) VIŠE FREKVENCIJA, f_M U FORMULAMA SE ZAMJENI S MAKSIMALNOM FREKVENCIJOM MODULACIJSKOG SIGNALA i f_{MAX}
- KAKO SE KOD PM I FM NE MIJENJA AMPLITUDA PRIJENOSNOG SIGNALA, SNAGA MODULIRANOG I PRIJENOSNOG (NEMODULIRANOG) SIGNALA JEDNAKA JE:

$$P_{PM/FM} = \frac{U_{PM}^2}{2R} = P_P$$

- PM I FM SIGNALI SE DEMODULIRAJU NEKOHERENTNIM POSTUPKOM, MODIFICIRANOM DETEKCIJOM OVOJNICE

Elektronička komunikacije

3. predavanje

Ivy Gislov

1. DIO: ASK (Amplitude-Shift Keying)

→ općenito o diskretnim postupcima:

- DISKRETNE MODULACIJE NASTAJU KADA JE MODULACIJSKI SIGNAL DISKRETAN (NIZ JEDINICA I NULA, ODNOSNO DISKRETNIH RAZINA); PRIJENOSNI S. JE ANALOGAN
- PONOVO SE MJENJA JEDAN OD PARAMETARA PRIJENOSNOG SIGNALA (AMPLITUDA-ASK, FREKVENCIJA-FSK, FAZA-PSK), ILI VIŠE PARAMETARA ODJEDNOM - HIBRIDNI POSTUPCI (NPR. QAM)
- BRZINA PRIJENOSA BITA I SIMBOLA (T_s JE TRAJANJE SIMBOLA):

$$R_s = \frac{1}{T_s} \quad [Bd] \qquad R_b = R_s \log_2 M \quad [bit/s]$$

- POSTUPAK MODULACIJE SE BIRA S OBZIROM NA KOMPLEKSNOST POTREBNIH UREĐAJA, UČINKOVITOST SNAGE ILI SPEKTRALNU UČINKOVITOST (BRZINA S OBZIROM NA POTREBNU ŠIRINU POJASA):

$$\text{SPEKTRALNA UČINKOVITOST} = \frac{R_b}{B} \quad [bit/s/Hz]$$

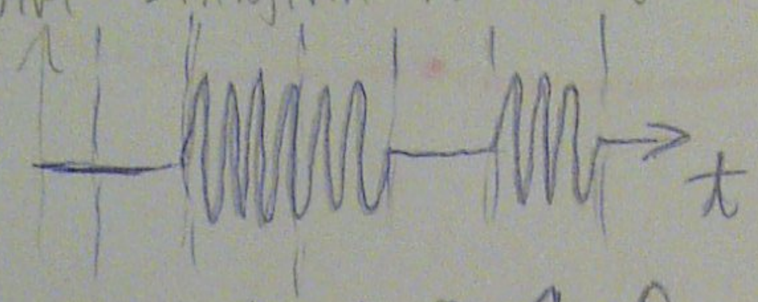
- PRI DEMODULACIJI, DEMODULATOR TREBA ODREDITI O KOJEM SE ZNAKU RADI:
  - HARD-DECISION: SAMO ODLUKA O KOJEM SE ZNAKU RADI
  - SOFT-DECISION: UZ ODLUKU DAJE I VJEROJATNOST TOČNOSTI ODLUKE
- U ANALOGNIM SUSTAVIMA KORISTI SE ODNOS SIGNAL-ŠUM KAO POKAZATELJ KVALITETE, A U DIGITALNIM (DISKRETNIM) SUSTAVIMA ODNOS SNAGE PRIJENOSNOG SIGNALA I ŠUMA U PROMATRANOM FILTRIRANOM PODRUČJU: C/N (Carrier/Noise)
- OSIM ODNOSA C/N, ČEŠĆE SE KORISTI BER KAO POKAZATELJ KVALITETE (OMJER KRIVO PRENESENIH BITA I UKUPNOG BROJA BITA)
- KORISTI SE I ODNOS ENERGIJE JEDNOG MODULIRANOG BITA I GUSTOĆE SNAGE ŠUMA (SNAGA ŠUMA U FREKV. ŠIRINI OD 1 Hz):

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} \cdot \frac{R_b}{B}$$

⇒ ASK:

• DISKRETNI MODULACIJSKI SIGNAL MODULIRA AMPLITUDU ANALOGNOG PRIJENOSNOG SIGNALA, ŠTO ZNAČI DA JE OVOJNICA PRIJ. SIGNALA PRAVOKUTNOG OBLIKA S DISKRETNIM STANJIMA MODULACIJSKOG S.; ASK JE LINEARAN POSTUPAK

$u_{ASK}(t)$:



MODULACIJSKI SIGNAL: 0 1 1 0 1 0

• ASK SE ZOVE I OOK (On-Off-keying), JER JE PRI "0" - MODULACIJ. SIG. MODULIRANI = NULA, A PRI "1" JE AMPLITUDA MODULIRANOG MAKSIMALNA

$$u_{ASK}(t) = \begin{cases} 0 \; ; & \text{MODULACIJSKI JE "0"} \\ U_{PM} \cos \omega_p t \; ; & \text{MODULACIJSKI JE "1"} \end{cases}$$

• OVOJNICA SNAGE U FREKVENCIJSKOJ DOMENI OBLIKA JE $\frac{\sin^2 x}{x^2}$ I TEORIJSKI JE FREKV. POJAS ∞ (S NULTOČKAMA U $\frac{k}{T_b}$)

• KORISTI SE U PRAKSI NYQUISTOV FILTAR ŠIRINE $1.6 f_M$ (f_M - FREKVENCIJA MODULACIJSKOG S.), PA JE ŠIRINA FREKV. POJASA:

$$\boxed{B_{ASK} = 2 \cdot 1.6 f_M = \frac{1.6}{T_b}}$$

SPEKTRALNA UČINKOVITOST $= \frac{R_b}{B} = \frac{\frac{1}{T_b}}{\frac{1.6}{T_b}} = \frac{1}{1.6} = 0.6$ bit/s/Hz

$$\sim \boxed{P_{ASK} \approx \frac{P_{PO}}{2} = \frac{U_{PM}^2}{4R}} \sim$$

• ASK SE DEMODULIRA NEKOHERENTNO (DETEKCIJOM OVOJNICE) ILI KOHERENTNO

2. DIO: FSK (Frequency-Shift Keying)

⇒ BFSK I GFSK (Binary i Gauss FSK):

• PRI FSK POSTUPKU MODULACIJSKI SIGNAL MODULIRA FREKVENCIJU PRIJENOSNOG SIGNALA, SVAKOJ RAZINI MODULAC. S. ODGOVARA ODREĐENA FREKVENCIJA MODULIRANOG SIGNALA; FSK JE NELINEARAN POSTUPAK

• KOD BFSK DVA SU STANJA FREKVENCIJE, KOD "0" FREKVENCIJA PRIJ. S. (f_P) SE UMANJUJE ZA Δf, A KOD "1" f_P SE UVEĆAVA ZA Δf

$$f_{ASK} = \begin{cases} f_P - \Delta f \; ; & \text{MODULACIJSKI SIGNAL} = \text{"0"} \\ f_P + \Delta f \; ; & \text{— " —} \quad = \text{"1"} \end{cases}$$

- INDEKS MODULACIJE JE OMJER DEVIJACIJE FREKVENCIJE I MAKSIMALNE FREKVENCIJE MODULACIJSKOG SIGNALA

$$\left(m_{FSK} = \frac{\Delta f}{f_m} = 2\Delta f \cdot T_b \right)$$

- UKOLIKO SE KORISTE 2 OSCILATORA TADA JE MODULACIJU MOGUĆE SAVRŠENO OSTVARITI, PREKAPČANJEM S JEDNOGA NA DRUGI (I TAKO MJENJAJUĆI FREKV.), ALI TADA SU MOGUĆI DISKONTINUITETI U FAZI PRI PROMJENI SIMBOLA MODULACIJSKOG SIGNALA
- AKO SE KORISTI JEDAN OSCILATOR KOJEMU SE MJENJA FREKVENCIJA, TADA SU PROMJENE U FAZI KONTINUIRANE (NEMA SKOKOVA USLIJED PREKAPČANJA), I RADI SE O CPFSK POSTUPKU (Continous Phase FSK)
- KONTINUIRANOST FAZE (CPFSK) JE OSIGURANA ZA CJELOBROJNE INDEKSE MODULACIJE (JER JE TADA $\Delta f = k \cdot f_m$)
- UNUTAR INTERVALA JEDNOG BITA FAZA SE PROMJENI ZA $\underline{\pm \pi m_{FSK}}$ I IZ ČEGA SE OPET VIDI UVJET ZA CPFSK
- ZA ODREĐIVANJE ŠIRINE POJASA KORISTI SE CARSONOVO PRAVILO (IZ FM-POSTUPKA):

$$\boxed{B_{FSK} \approx 2(\Delta f + f_m) = 2\Delta f + \frac{1}{T_b}}$$

- GFSK POSTUPAK OZNAČAVA GAUSSOV FILTAR ZA OBLIKOVANJE MODULACIJSKOG S.

→ M-FSK:

- ISTO KAO I FSK, SAMO SE KORISTI "M" FREKVENCIJA, U SVAKOM INTERVALU TRAJANJA $T_s = T_b \cdot \log_2 M$ FREKVENCIJA M-FSK SIGNALA POPRIMA JEDNU OD M VRIJEDNOSTI
- AKO JE RAZMAK DISKRETNIH FREKVENCIJA $2\Delta f$, ONDA JE INDEKS M.:

$$m_{M\text{-}FSK} = 2\Delta f \cdot T_s$$

- AKO JE $2\Delta f = \frac{1}{T_s}$, TADA SU SIMBOLI M-FSK ORTOGONALNI
- FSK POSTUPCI (I BFSK I M-FSK) SE DEMODULIRAJU KOHERENTNO ILI NEKOHERENTNO
- CPFSK MODULIRANI SIGNALI (BINARNI) MOGU SE RASTAVITI NA 2 ASK SIGNALA S OBRNUTIM VRIJEDNOSTIMA MODULACIJSKIH S. I S FREKVENCIJAMA $f_p + \Delta f$ I $f_p - \Delta f$

3.D10: PSK (Phase-Shift keying)

- PRI DISKRETNOJ MODULACIJI FAZE, MODULACIJSKI SIGNAL DISKRETNO MODULIRA (FAZU) ANALOGNOG PRIJENOSNOG SIGNALA I FAZA MODULIRANOG SIGNALA (RELATIVNA) POPRIMA JEDNO OD "M" VRIJEDNOSTI (M-PSK):

$$f_M = \left\{ \pi \frac{2n+c}{M} ; n = 0, 1, 2 \dots, M-1 \right\}$$

GDJE AKO JE "c" = $\emptyset$ FAZA IMA NAJNIŽU VRIJEDNOST $\emptyset$, A ZA "c" = 1 FAZI JE DODANO $\frac{\pi}{M}$, TJ. CIJELI JE KOORDINATNI SUSTAV POMAKNUT ZA $\frac{\pi}{M}$

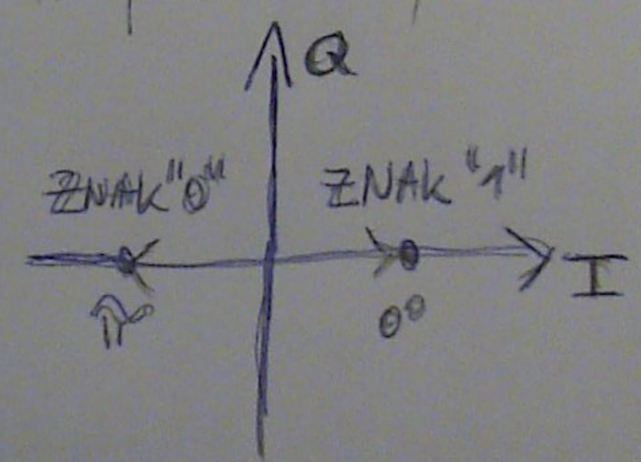
- PSK JE LINEARAN MODULACIJSKI POSTUPAK

- SVAKI PSK SIGNAL MOŽE SE PRIKAZATI KAO ZBROJ 2 ASK SIGNALA KOJI SU U KVADRATURNOM ODNOSU (ZAKRENUTI U FAZI ZA $\pi/2$), TJ. KOJI SU ORTOGONALNI (PA KAKO JE ASK LINEARAN POSTUPAK, ZBRAJANJEM 2 ASK SIGNALA OPET SE DOBI LINEARAN S.)

→ BPSK (Binary PSK):

- $M = 2$; $n = 0, 1$ i $f_{BPSK} = \emptyset$ ILI π (ZA $c = 0$), TJ. $\frac{\pi}{2}$ i $\frac{3\pi}{2}$ (ZA $c = 1$)

- FAZE I AMPLITUDE DISKRETNIH POSTUPAKA CRTAJU SE U DIJAGRAMU STANJA, GDJE JE APSCISA In-phase OS, A ORDINATA Quadrature-phase OS (I i Q)



$c = \emptyset$

- OVOJNICA SNAGE U FREKVENCIJSKOJ DOMENI IMA ISTI OBLIK KAO I ASK, $\frac{\sin^2 x}{x^2}$, S NULTOČKAMA U $\frac{1}{T_b}$ (ZA BPSK), TJ. $\frac{1}{T_s}$ (ZA M-PSK)

- SPEKTRALNA UČINKOVITOST PSK POSTUPAKA JE:

$$\frac{R_b}{B} = \frac{R_s \cdot \log_2 M}{\frac{1}{T_s}} = \frac{\frac{1}{T_s} \log_2 M}{\frac{1}{T_s}} = \log_2 M \text{ (IDEALNO)};$$

PA JE ZA BPSK ONA 1 bit/s/Hz

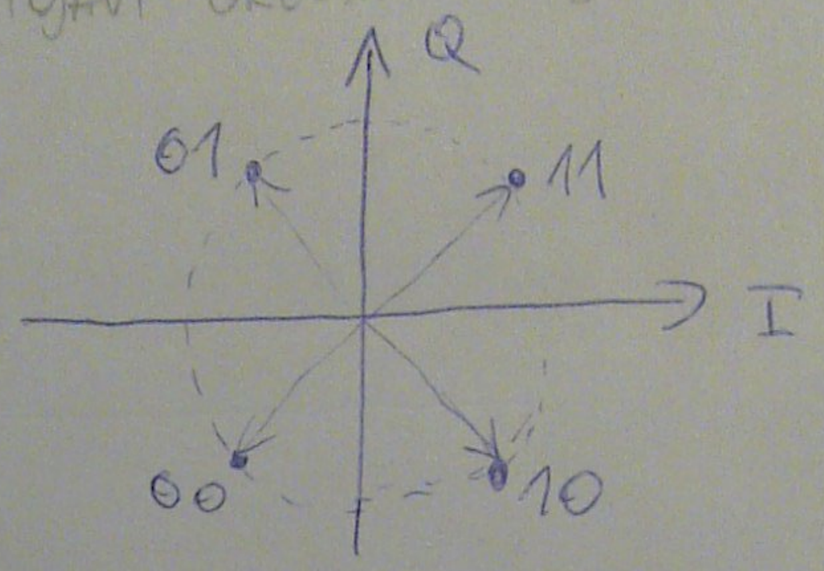
- SAMO DIFERENCIJALNO KODIRANI PSK POSTUPCI SE MOGU DEMODULIRATI NEKOHERENTNO (DIFERENCIJALNO), OSTALI SAMO KOHERENTNOM DEMODULACIJOM

→ QPSK (Quaternary PSK):

- SASTOJI SE OD 4 SIMBOLA S 4 DISKRETNE RELATIVNE FAZE:

$$\varphi_M = \left\{0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}\right\} \text{ ZA } e=0 \text{ , TJ. } \varphi_M = \left\{\pm\frac{\pi}{4}, \pm\frac{3\pi}{4}\right\} \text{ ZA } e=1$$

- ZAKON PRIDRUŽIVANJA (OPĆENITO M-PSK SIGNALA) SLIJEDI PRAVILO GRAYEVA KODA, JER SE ONDA SUSJEDNI SIGNALI RAZLIKUJU SAMO U 1 ZNAKU (ŠTO JE BOLJE PRI POJAVI GREŠAKA I DEMODULACIJI), DIJAGRAM STANJA JE:



$e=1$

- SPEKTAR QPSK JE DUPLO UŽI U ODNOSU NA BPSK; $B = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{2T_b}$, PA JE $\frac{R_b}{B} = 2$ bit/s/Hz (UZ MANJU OTPORNOST NA SMETNJE)
- KAKO SE PSK SIGNALI FILTRIRAJU (JER JE FREKV. POJAS ∞), FILTRIRANJEM DOLAZI DO TOGA DA AMPLITUDA VIŠE NIJE KONSTANTNA (OVOJNICA PRIJENOSNOG SIGNALA), ŠTO SE VIDI PRI PROMJENI SIMBOLA
- PRI PROMJENI SIMBOLA U DIJAMETRALNO SUPROTNI (NPR. 01 → 10) AMPLITUDA SIGNALA SE DRASTIČNO MIJENJA I PROLAZI I KROZ NULU, ŠTO JE NEPOVOLJNO ZA OČUVANJE AMPLITUDE I (DE)MODULACIJSKE UREĐAJE; OVO SE ISPRAVLJA UVOĐENJEM OQPSK I $\frac{\pi}{4}$-QPSK POSTUPAKA

→ OQPSK (Offset QPSK):

- KAKO SE QPSK MOŽE RASTAVITI NA I I Q KOMPONENTU, TO SE KORISTI I Q DIO SE U OQPSK SIGNALU POMIČE ZA $\frac{T_s}{2} = T_b$
- TIME SE POSTIŽE DA PRI PROMJENI FAZE ZA 180° (NAJNEPOVOLJNIJI SLUČAJ), SIGNAL POSTEPENO PRELAZI U SUPROTNO STANJE (PRVO SE PROMJENI I DIO PA ZA $\frac{T_s}{2}$ Q DIO, ČIME SE FAZA MIJENJA U 2 STUPNJA (2 POTA PO 90°)
- AMPLITUDA IMA MANJE OSCILACIJE, A SIGNAL NE PROLAZI KROZ ISHODIŠTE

→ $\frac{\pi}{4}$ - QPSK:

- 8 JE STANJA FAZE, PRI $c=0$ i $c=1$ UKOMPONIRANO U ISTI QPSK POSTUPAK
- PRAVILO JE JEDNOSTAVNO, AKO JE TRENUTNI SIMBOL U $c=1$, SLJEDEĆI ĆE BITI PRI $c=0$ I OBRNUTO
- TIME SE ONEMOGUĆUJE PROMJENA FAZE ZA $\pm\pi$, MAKSIMALNA PROMJENA JE SADA $\pm\frac{3\pi}{4}$; ŠTO ZNAČI MANJE PROMJENE AMPLITUDE (OD QPSK, ALI VEĆE OD OQPSK)
- $\frac{\pi}{4}$-QPSK SE UVIJEK DIFERENCIJALNO KODIRA (DIFER. KOD. JE OBJAŠNJENO U NASTAVKU)

→ 8-PSK:

- SVAKOM SIMBOLU SE PRIDRUŽUJE $\log_2 8 = 3$ BITA, 8 JE STANJA FAZE U DIJAGRAMU STANJA
- SPEKTAR JE 3 PUTA UŽI, PA JE $\frac{R_b}{B} = 3\ bit/s/Hz$, NO POVEĆANA JE

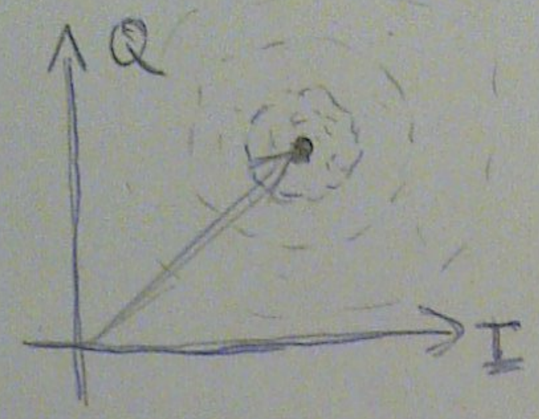
→ koherentno i diferencijalno kodirani PSK:

- KOD KOHERENTNO MODULIRANIH PSK INFORMACIJA SE NALAZI U RELATIVNOJ FAZI MODULIRANOG SIGNALA (ONO ŠTO SE OBJAŠNJAVALO DO SADA), KOD DIFERENCIJALNO, PAK, MODULIRANIH SIGNALA INFORMACIJA JE SADRŽANA U PROMJENI (RELATIVNOJ) FAZE
- TIME SE UKLANJA (POTREBA) ZA REFERENTNIM BITOVIMA/SIGNALOM S KOJIM ĆE SE RELATIVNA FAZA USPOREDIVATI, ALI JE VEĆA OSJETLJIVOST NA ŠUM
- DIFERENCIJALNI PSK SE DEMODULIRAJU DIFERENCIJALNO (NEKOHERENTNI POSTUPAK), ŠTO JE GLAVNI RAZLOG UVOĐENJA DIF. POSTUPAKA
- UOČITI DA JE SVEJEDNO POTREBNO SLATI SINKRONIZACIJSKI SIGNAL koji ĆE ODREDITI POČETAK I KRAJ POJEDINOG SIMBOLA
- KOD DIFERENCIJALNIH POSTUPAKA PROMJENE FAZE PRI SIMBOLIMA JEDNAKE SU APSOLUTNIM VRIJEDNOSTIMA FAZE KOD KOHERENTNIH POSTUPAKA (NPR. DQPSK: $00=\pi$, $01=\pi/2$, $11=0$, $10=\frac{3\pi}{2}$ ⇒ SIMBOLI I PRIPADNE PROMJENE FAZE PRI NJIHOVIM POJAVAMA)
- PROMJENE FAZE KOD $\pi/4$ - DQPSK:

SIMBOL	$\Delta\varphi$
00	$\pi/4$
01	$-\pi/4$
11	$-3\pi/4$
10	$3\pi/4$

→ Utjecaj šuma na PSK signale:

- ŠUM MIJENJA POLOŽAJ TOČAKA U DIJAGRAMU STANJA (AMPLITUDU I FAZU), ČIME SE KRUŽNO ŠIRI PODRUČJE POJEDINIH STANJA (AKO JE ŠUM NEKORELIRAN)
- NEĆE DOĆI DO POGREŠKE AKO JE PROMJENA FAZE MANJA OD π/M



- KOD VEĆIH M VEĆA JE VJEROJATNOST POGREŠKE JER SU STANJA U DIJAGRAMU BLIŽA (ČIM VEĆI M KOD M-PSK, VEĆA VJEROJATNOST GREŠKE, ALI I VEĆA SPEKTRALNA UČINKOVITOST)
- PRI VEĆIM M POTREBNIJI JE VEĆI ODNOS C/N (TJ. E_b/N_0)
- ISTO VRIJEDI I ZA DPSK U ODNOSU NA PSK (JER SE POGREŠKOM NA JEDNOM SIMBOLU GREŠKA JAVLJA I U SUSJEDNOM SIMBOLU, PA SE VIŠE GRIJEŠI KOD DPSK)

4. DIO: MSK I QAM

→ MSK (Minimum-Shift Keying):

- MSK (OZNAČAVA SE I FFSK - Fast FSK) JE POSEBAN SLUČAJ FSK SIGNALA, KADA JE $m_{FSK} = 0.5$, ŠTO ZNAČI DA JE RAZMAK DISKRETNIH FREKVENCIJA, $2\Delta f$, JEDNAK f_M (MAK. FREKVENCIJI MODULACIJSKOG SIGNALA)
- OSIGURANA JE KONTINUIRANOST FAZE JER PROMJENE FREKVENCIJE NASTUPAJU U NULTOČKAMA MODULIRANOG SIGNALA
- FAZA SE U INTERVALU SIMBOLA FSK POSTUPKA PROMIJENI ZA $\pm \pi m_{FSK}$, PA SE FAZA MIJENJA ZA $\pm \pi/2$
- MSK JE KOSINUS ZBROJA, PA AKO SE ON RASTAVI DOBIJE SE ISTI OBLIK KAO I QPSK, TJ. OQPSK
- OQPSK JE ZBROJ 2 ASK SIGNALA (KAO I BILO KOJI PSK), DOK JE MSK ZBROJ 2 AM SIGNALA KOJI SU U KVADRATURNOM ODNOSU (POMAK OD $\pi/2$)
- MSK JE POSEBAN SLUČAJ FSK, ALI I OQPSK POSTUPKA, ISTOVREMENO (MSK, TJ. FFSK JE OQPSK MODULIRAN KOSINUSNIM MODULACIJSKIM SIGNALOM
- KAKO SU PSK POSTUPCI LINEARNI, TAKO JE MSK ISTO <u>LINEARAN POSTUPAK</u> (IAKO JE ISTOVREMENO I POSEBAN SLUČAJ FSK POSTUPKA)
- I I Q KOMPONENTA SU POMAKNUTE (MEĐUSOBNO) ZA T_b (KAO I KOD OQPSK)

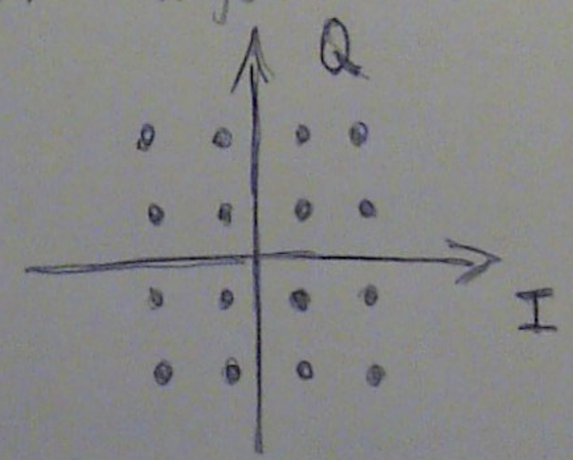
- SPEKTRALNI OBLIK JE ISTI KAO I KOD OQPSK, $\frac{R_b}{B}$ JE ISTO 2 bit/s/Hz, IAKO JE PRVA NULTOČKA OVOJNICE SNAGE U FREKV. DOMENI NA $\frac{3}{4T_b}$
- MSK SE MOŽE DEMODULIRATI KOHERENTNO ILI NEKOHERENTNO (DIFERENCIJALNO, JER SE FAZA MIJENJA ZA $+\pi$ ILI $-\pi$)
- GMSK JE MSK UZ PRIMJENU GAUSSOVA FILTRA S GLAVNOM VARIJABLOM NORMIRANOM ŠIRINOM POJASA; $B \cdot T_b$
- GMSK SMANJUJE ŠIRINU POJASA UZ MALO NARUŠENJE KVALITETE; KADA JE $B \cdot T_b = \infty$ DOBIVA SE OBIČNI MSK

→ QAM (Quadrature Amplitude Modulation):

- QAM NASTAJE ISTODOBNOM DISKRETNOM MODULACIJOM AMPLITUDE I FAZE, PA SE ZOVE HIBRIDNI MODULACIJSKI POSTUPAK (MODULIRAJU SE 2 KARAKTERISTIKE)
- NASTAJE ZBRAJANJEM 2 ASK SIGNALA S VIŠE AMPLITUDNIH RAZINA (2 × L-ASK), PA JE QAM LINEARAN POSTUPAK

$$u_{QAM} = I(t)\cos\omega_p t - Q(t)\sin\omega_p t$$

- M-QAM IMA SPEKTRALNU UČINKOVITOST $\log_2 M$ bit/s/Hz
- 4-QAM = QPSK, DOK ZA VEĆE M VRIJEDI M-QAM ≠ M-PSK; $M = 2^n$
- DIJAGRAM STANJA 16-QAM:



- ZA VEĆE M, STANJA QAM SIGNALA SU JEDNOLIKO RASPOREĐENA NA KRUGU (TJ. PROSTORU), BOLJE OD PSK SIGNALA GDJE SU STANJA POREDANA PO KRUŽNICI (PA SE PORASTOM M STANJA VIŠE PRIBLIŽAVAJU NEGO KOD QAM)
- PORASTOM M RASTE $\frac{R_b}{B}$, ALI I OSJETLJIVOST NA SMETNJE (POTREBAN VEĆI E_b/N_0)
- OBLIKOVANJEM STANJA U HEKSAGONALNI OBLIK (VIŠE NALIK KRUGU), OSJETLJIVOST NA ŠUM SE SMANJUJE U USPOREDBI S KVADRATNIM OBLIKOM
- QAM SE MOŽE DEMODULIRATI SAMO SINKRONO
- UTJECAJEM ŠUMA STANJA U DIJAGRAMU SE KRUŽNO ŠIRE (KAO I PSK), KORISTI SE GRAYEV KOD

5. DIO: Usporedba i kvaliteta diskretnih postupaka, sinkronizacija

- NAJVEĆA MOGUĆA SPEKTRALNA UČINKOVITOST (SHANNONOVA GRANICA) JE:

$$\frac{R_b}{B} = \log_2\left(1+\frac{C}{N}\right)$$

SVI DISKRETNI MODULACIJSKI POSTUPCI IMAJU (IDEALNO) MANJU R_b/B OD SHANNONOVE GRANICE

- PORASTOM BROJA SIMBOLA (M), R_b/B RASTE, NO RASTE I OSJETLJIVOST NA ŠUM (POTREBNIJI VEĆI C/N ODNOSNO E_b/N_0)
- KAKO ODREĐIVANJE BER-a MOŽE BITI KOMPLICIRANO, DEFINIRA SE JEDNOSTAVNIJA MJERA, VELIČINA VEKTORA POGREŠKE; EVM (Error Vector Magnitude)
- EVM JE JEDNAK MODULU RAZLIKE IDEALNOG POLOŽAJA ODREĐENOG STANJA I VEKTORA STANJA, OČITANOG
- DEFINIRA SE I OMJER POGREŠKE MODULACIJE, MER (Modulation Error Ratio) KOJI JE VEZAN UZ EVM I OMJER JE SNAGE IDEALNOG I EVM

→ Sinkronizacija:

- KOD NEKOHERENTNE MODULACIJE POTREBNO JE OBAVITI SINKRONIZACIJU SIMBOLA – ODREDITI POČETAK I KRAJ POJEDINOG INTERVALA SIMBOLA
- KOD KOHERENTNE (DE)MODULACIJE OSIM SINKRONIZACIJE SIMBOLA NUŽNO JE OBAVITI I SINKRONIZACIJU NOSIOCA – REFERENTNI SIGNAL U DEMODULATORU ISTE FREKVENCIJE I FAZE KAO I PRIJENOSNI SIGNAL (ŠTO NIJE JEDNOSTAVNO :)
- SINKRONIZACIJA SE MOŽE OSTVARITI PERIODIČNIM SLANJEM SINKRONIZIRAJUĆE SEKVENCE ILI, SPORIJE, IZDVAJANJEM I USPOREDBOM PODATAKA IZ MODULIRANOG SIGNALA

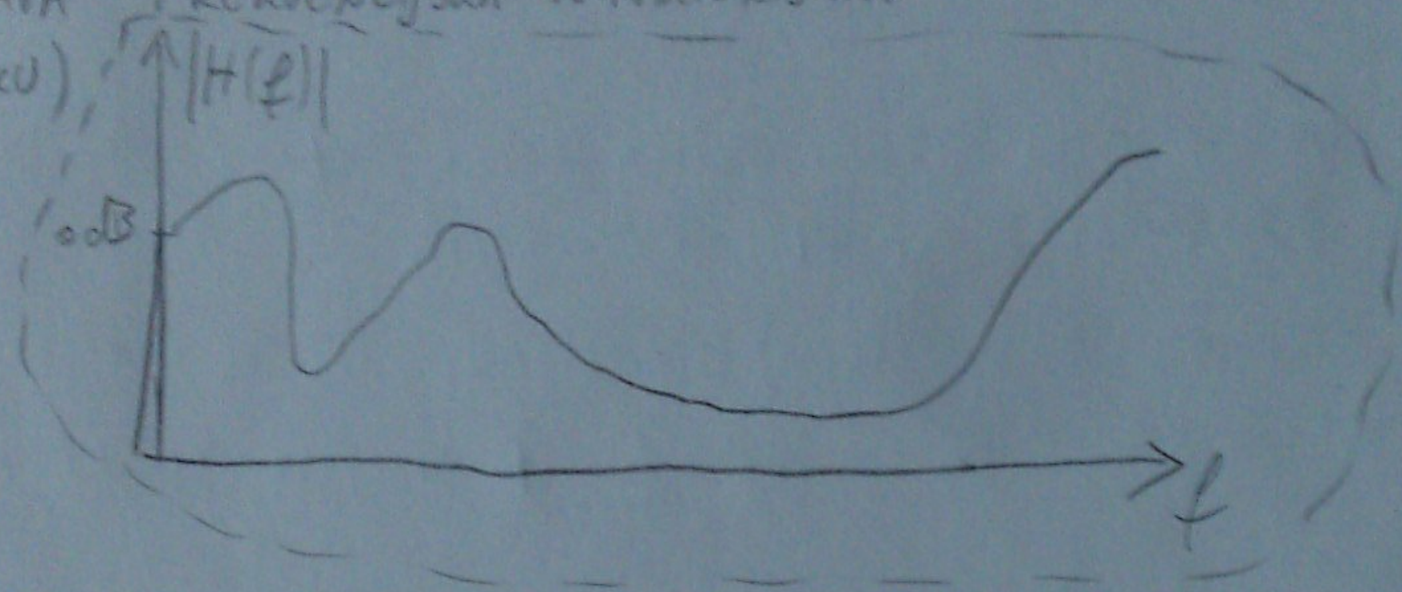
Elektroničke komunikacije

4. predavanje

by: egislav

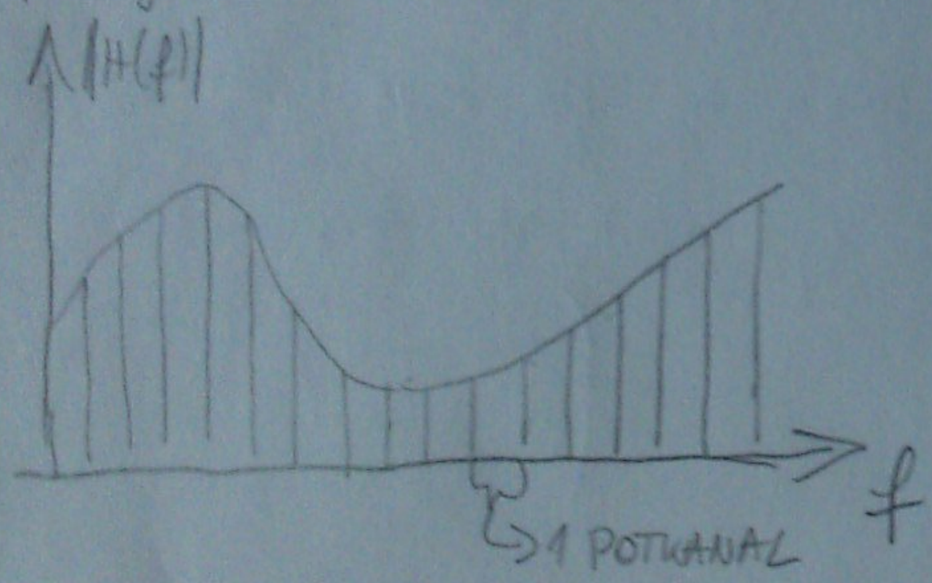
1. DIO: OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)

→ **problem:** • ZBOG VIŠESTAZNOG ŠIRENJA RADIJSKOG VALA (ODBIJANJE OD PREPREKA), TE SLIČNIH POJAVA FREKVENCIJSKA KARAKTERISTIKA IMA NAGLE PORASTE I PADOVE (VIDI SLIKU),



• DOLAZI DO SMETNJE MEĐU SIMBOLIMA (ISI) – JER SE PODACI ŠALJU SERIJSKI, JEDNIM KANALOM
↳ tj. BITOVIMA

→ **rješenje:** • PODIJELITI KANAL NA POTKANALE KOJI ĆE BITI DOVOLJNO MALI DA PROMJENE FREKV. KARAKTERISTIKE U NJIMA BUDU DOVOLJNO MALE (VIDI SLIKU)



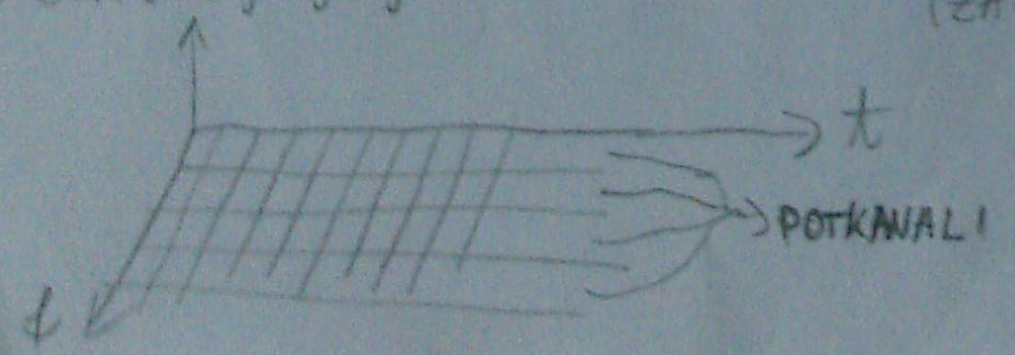
• POTKANALI SE NAPRAVE ORTOGONALNI KAKO SI NEBI MEĐUSOBNO OMETALI (ORTOGONALNI = NEZAVISNI)

• U SAMOM POTKANALU NE JAVLJAJU SE VELIKI SKOKOVI, PA NE DOLAZI DO ISI

* ISI = INTER SYMBOL INTERACT ili nešto slično

→ **Što je OFDM?** • PODACI KOJI SU PRIJE MODULIRANJA DIGITALIZIRANI, SADA MODULIRAJU SVAKI OD POTKANALA, TJ. SLIJED PODATAKA RASPODJELJUJE SE NA POTKANALE I MODULIRA POJEDINI POTKANAL

• OSIM DIJELJENJA FREKV. PODRUČJA, I VRIJEME SE DIJELI, TAKO DA DOBIVAMO MATRICU: (ZATO KAŽEMO MULTIPLEKSIRANJE)



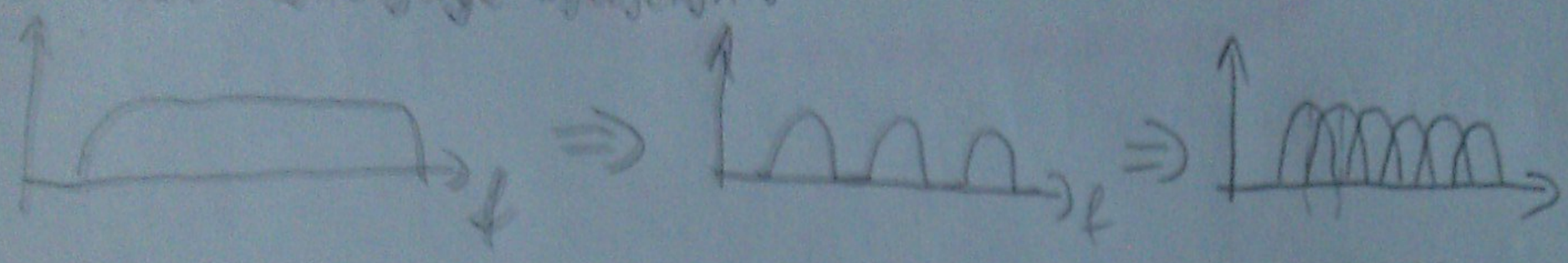
• BRZINA POJEDINOG POTKANALA JE MALA, ALI UKUPNA BRZINA JE VELIKA (MANJE FREKV. PODRUČJE POTKANALA = = MANJA BRZINA)

• POSTUPAK PRIJE SLANJA:

INFORMACIJA (ANALOGNA) → DIGITALIZIRANJE → RASPODJELA NA POTKANALE → MODULACIJA

• PRIMANJE JE OBRNUTO ☺

• SLIKOVITO OBJAŠNJENJE DJELOVANJA:



DIGITALNI FDM OFDM

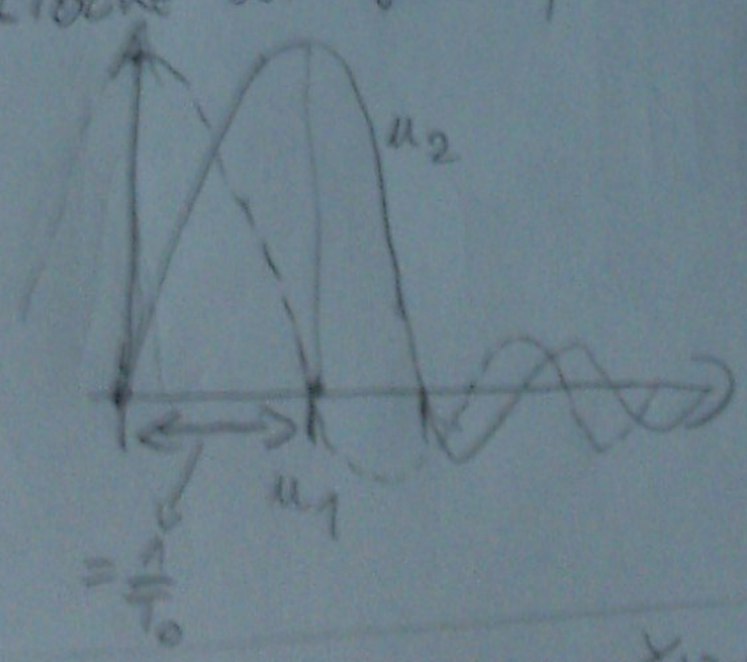
• UOČAVAMO DA UZ ISTU ŠIRINU POJASA MOŽEMO SLATI VIŠE PODATAKA (VEĆE BRZINE), DOK GOD SU PODNOSIOCI (POTKANALI) ORTOGONALNI

• POTREBAN RAZMAK PODNOSIOCA (MINIMALAN, I TAJ SE KORISTI) DA SE NE BI MEĐUSOBNO OMETALI JE $\Delta f = \frac{1}{T_0}$ I U TIM TOČKAMA SU NULTOČKE (MAKSIMUMI): $\frac{k}{T_0}$; $k \in \mathbb{Z}$

→ **zašto?**

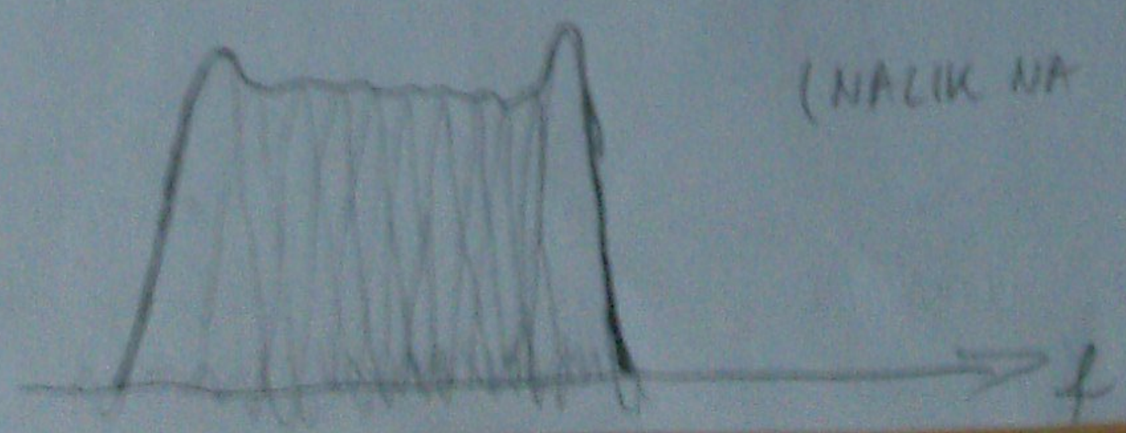
• U VREM. DOMENI ONI SU SKUP PRAVOKUTNIKA (DUŽINE T_0) KOJI U FREKV. DOMENI IZGLEDAJU (TJ. SLIJEDE OBLIK) $\frac{\sin x}{x}$; I ONDA MI OČITAVAMO PODATKE SAMO NA FREKVENCIJAMA $\frac{k}{T_0}$ PA MORAMO PAZITI DA NA POJEDINOM MJESTU SVI POTKANALI IMAJU NULTOČKE OSIM JEDNOG, I TAKO ZA SVAKU OD $\frac{k}{T_0}$ FREKV. (VIDI SLIKU)

(IAKO SE PREKRIVAJU, NE DOLAZI DO SMETNJE JER SU ORTOGONALNI)



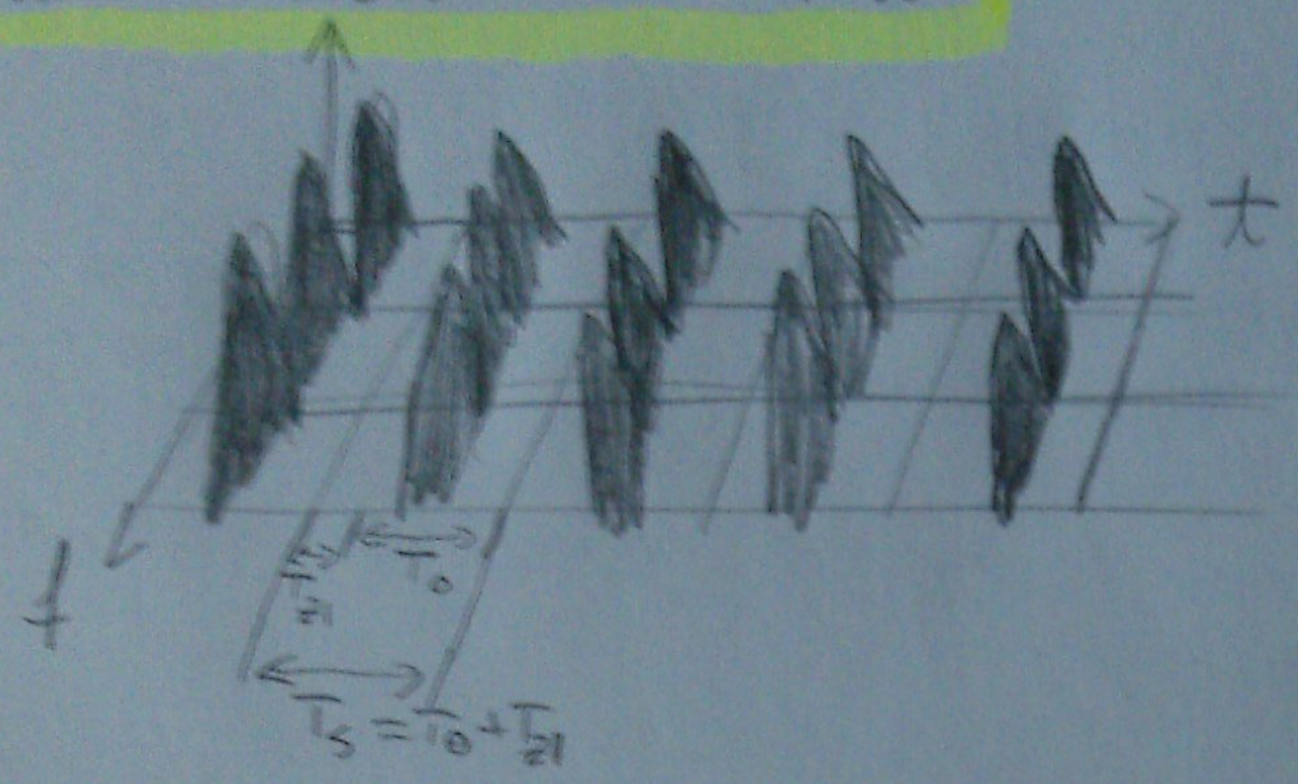
• TRAJANJE VREM. ODSJEČKA OFDM MATRICE $= T_0$; ŠIRINA POTKANALA $= \frac{1}{T_0}$

• KONAČNI OBLIK OFDM SPEKTRA (KRAJNJI POTKANALI SE NE KORISTE RADI NADVIŠENJA):



(NALIK NA PRAVOKUTNIK)

→ zaštitni interval u OFDM-u:



OPREZ!!
NA SLICI JE SIGNAL PRIKAZAN U FREKV. DOMENI ; U VREM. DOMENI ON IZGLEDA KAO ŠUM (JER IMA PUNO FREKV. KOMPONENATA)

(U VREM. DOMENI SIGNAL SE DOBI IFFT TRANSFORMACIJOM)

- IAKO ODBIJANJEM OD PREPREKA I SL. SIGNAL KASNI SAMO MANJI DIO TRAJANJA T_0, I TO SE MORA UKLONITI
- OFDM SIMBOL SE PRODUŽUJE ZA TRAJANJE ZAŠTITNOG INTERVALA, T_{z1}) KOJI SE DOBIVA PRESLIKAVANJEM KRAJA SIMBOLA NA (TJ. PRIJE) POČETAK SIMBOLA (TZV. CIKLIČKI PREFIKS)
- ZA T_{z1} SE UZIMA DO $T_0/4$, ŠTO ZNAČI DA AKO JE NAJVEĆE KAŠNJENJE MANJE OD $T_{z1} = T_0/4$ NEĆE DOĆI DO SMETNJE

→ pilotski signali, COFDM, OFDMA:

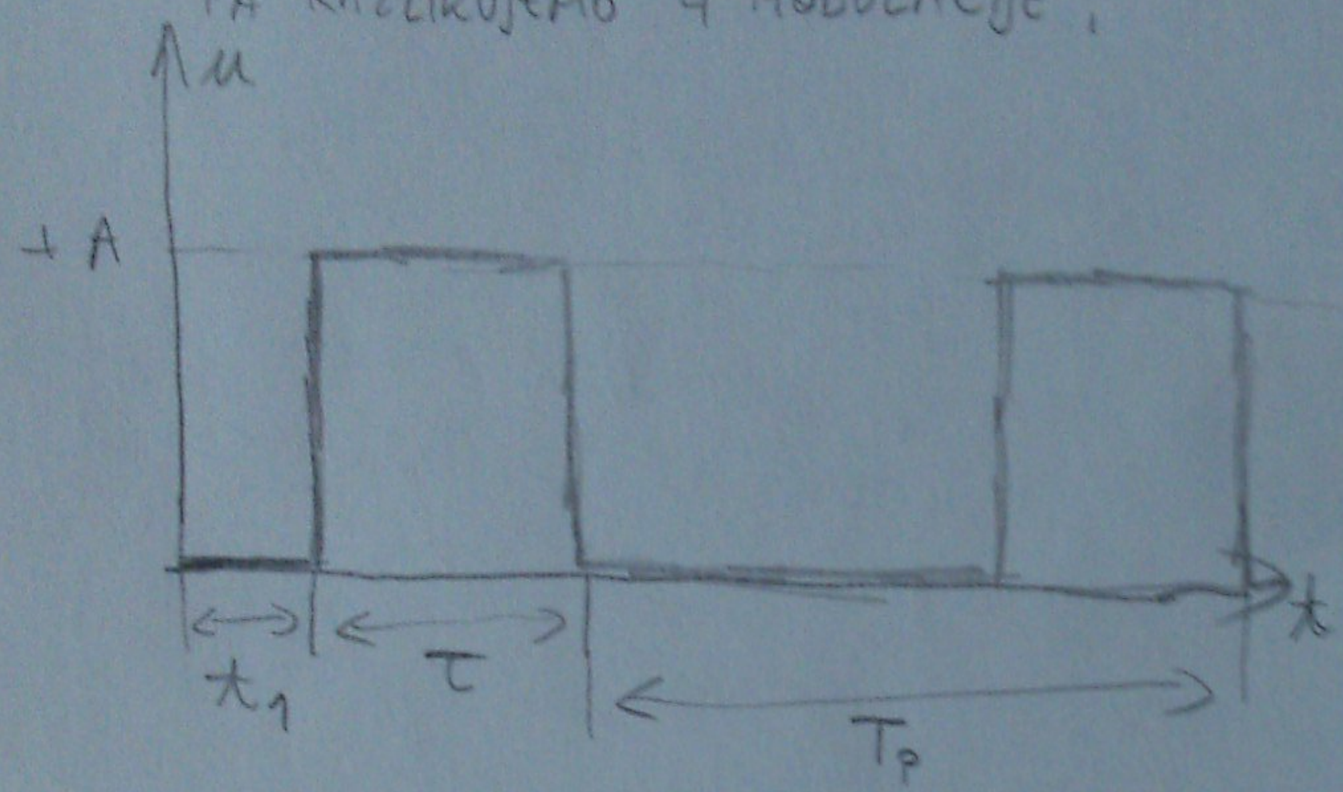
- KAKO BI SE POTKANALI SLALI U ISTO VRIJEME NUŽNA JE SINKRONIZACIJA, PA SE KORISTE KAO POMOĆ PILOTSKI SIGNALI KOJI JOŠ I SLUŽE ZA PROVJERU STANJA KANALA
- PILOTSKI SIGNALI SE ŠALJU POTKANALIMA SVAKO-TOLIKO
- KAO ŠTO JE PRIJE REČENO, KANAL NA RAZNIM FREKV. DRUKČIJE GUŠI SIGNAL, PA DA BI SE IZBJEGLO DA SE SVI PODACI U NEKOM POTKANALU IZGUBE KORISTI POSTUPAK ISPREMJEŠANJA BITOVA PODATAKA PRIJE SLANJA (OSIM TOGA KORISTE SE I PILOTSKI SIGNALI KOJI DAJU PODATKE O POTKANALIMA, PA SE NEKI OD NJIH NE KORISTE)
- DOLAZIMO DO POJMA COFDM (CODED-OFDM) KOJI OZNAČAVA SVE POSTUPKE ZAŠTITE U OFDM-u, KAO I SAM OFDM
- OFDM SE MOŽE KORISTITI I ZA POSLUŽIVANJE VIŠE KORISNIKA, PRIDJELJUJUĆI SVAKOM KORISNIKU NEKOLIKO POTKANALA, I TADA SE NAZIVA OFDMA (Orthogonal Frequency Division-Multiple Access)

- OFDM SE KORISTI U ADSL-u, WLAN-u, DIGITALNOJ TELEVIZIJI (DVB),

2. DIO: Modulacija impulsnog signala

→ što i kako?: • KOD MODULACIJE IMPULSNOG SIGNALA MODULIRA SE IMPULSNI SIGNAL, TJ. PRIJENOSNI SIGNAL ODGOVARA PERIODIČNIM PRAVOKUTNIM IMPULSIMA

• MIJENJA SE NEKI OD PARAMETRA PRIJENOSNOG SIGNALA (VIDI SLIKU), PA RAZLIKUJEMO 4 MODULACIJE.



a) PAM (Pulse Amplitude Modulation) - MODULACIJA AMPLITUDE (A)
b) PDM/PWM (-"- Duration/Width Modulation) -"- ~~TRAJANJA~~ ŠIRINE (τ)
c) PPM (-"- Position (Phase) -"-) -"- POLOŽAJA/FAZE (t_1)
d) PFM (-"- Frequency -"-) - MODULACIJA FREKVENCIJE ($\frac{1}{T_p}$)

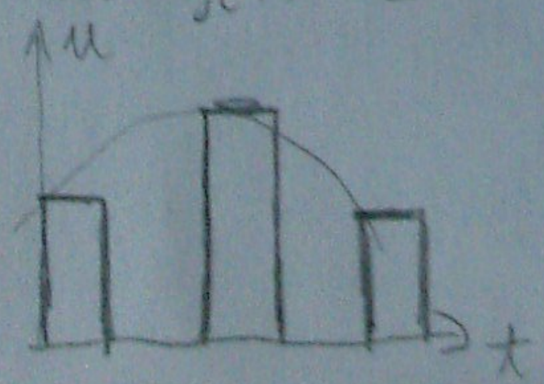
• IMPULSNI PRIJENOSNI SIGNAL MOŽEMO MODULIRATI KONTINUIRANIM ILI DISKRETNIM (DIGITALNIM) MODULACIJSKIM SIGNALOM, S TIM DA UKOLIKO MODULIRAMO KONTINUIRANIM SIGNALOM, PRIJE MODULACIJE GA MORAMO DISKRETIZIRATI (UZORKOVATI) I TO FREKVENCIJOM UZORKOVANJA KOJA JE NAJMANE 2x VEĆA OD NAJVEĆE FREKV. U MODULACIJSKOM (KONTINUIRANOM) SIGNALU

• TRAJANJE UZORKA I IMPULSNOG SIGNALA SE TADA POKLAPAJU. $\boxed{T_{uzorka} = T_p}$

• OVISNO O RAZINI UZORAKA MIJENJAMO PARAMETRE IMPULSNOG PRIJ. SIGNALA

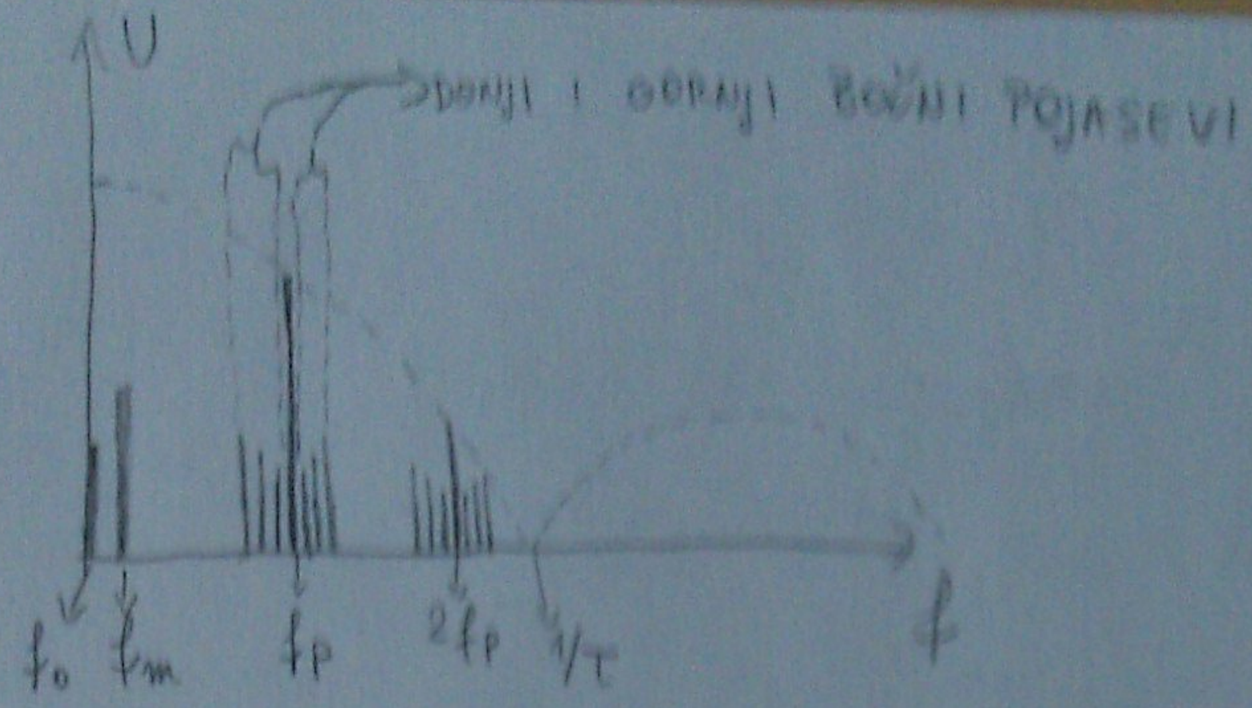
→ a) PAM: • RAZLIKUJEMO 2 POSTUPKA UZIMANJA UZORKA:

REGULARNI ili UNIFORMNI ⇒



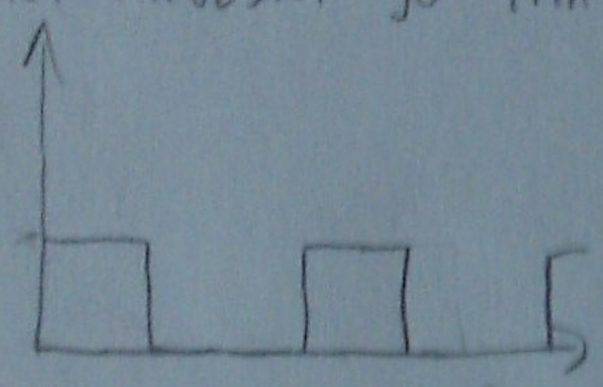
PRIRODNI ⇒

• SPEKTAR PAM:

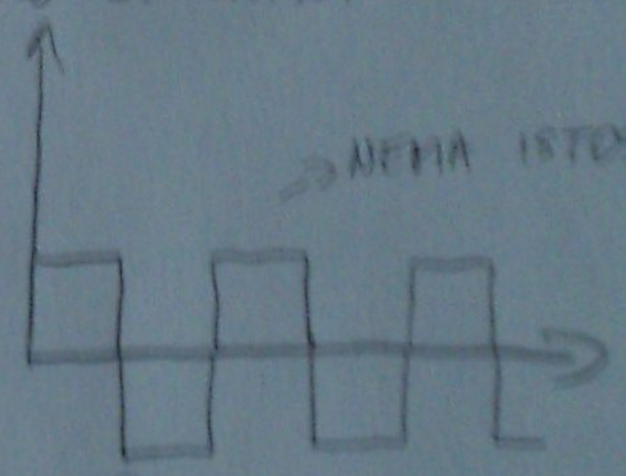


• IMA f_m KOMPONENTU KOJA JE KOMPONENTA MODULACIJSKOG SIGNALA

• f_0 KOMPONENTA JE ISTOSMJERNA KOMPONENTA TE UKOLIKO KORISTIMO UNIPOLARNI IMPULSNI JU IMAMO, AKO KORISTIMO BIPOLARNI IMPULSNI JU NEMAMO



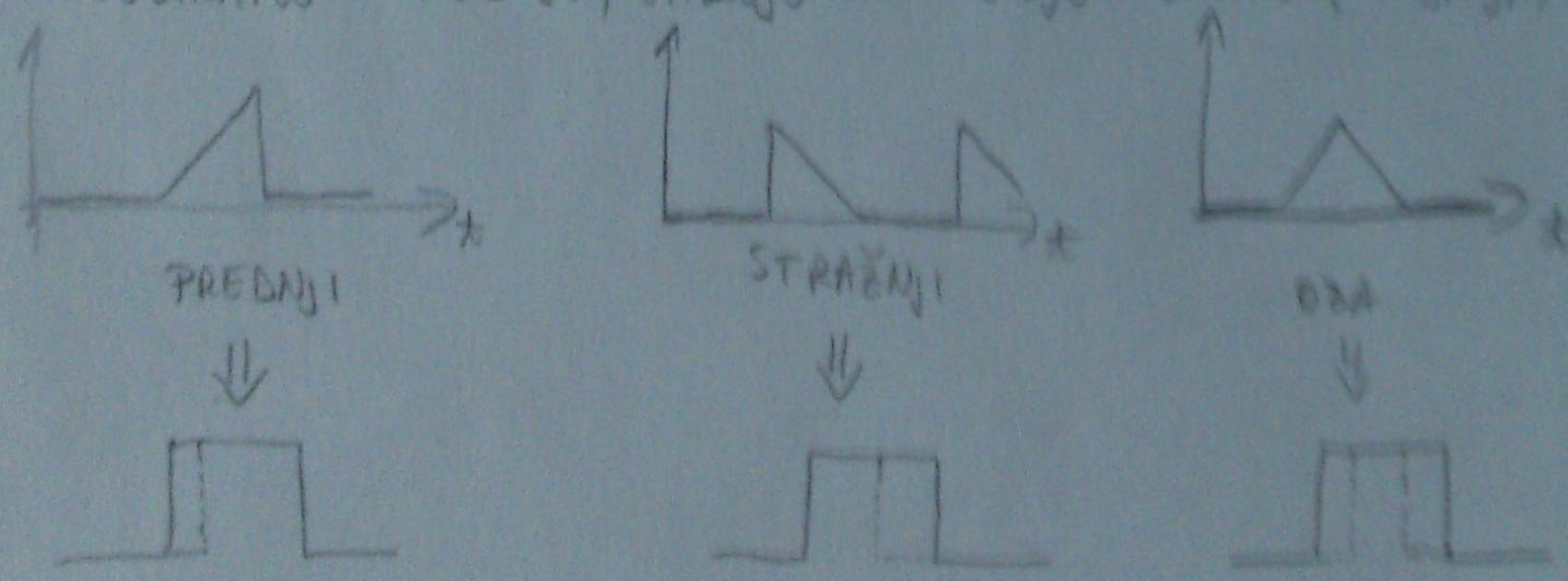
UNIPOLARNI IMP. PRIJ. SIGNAL



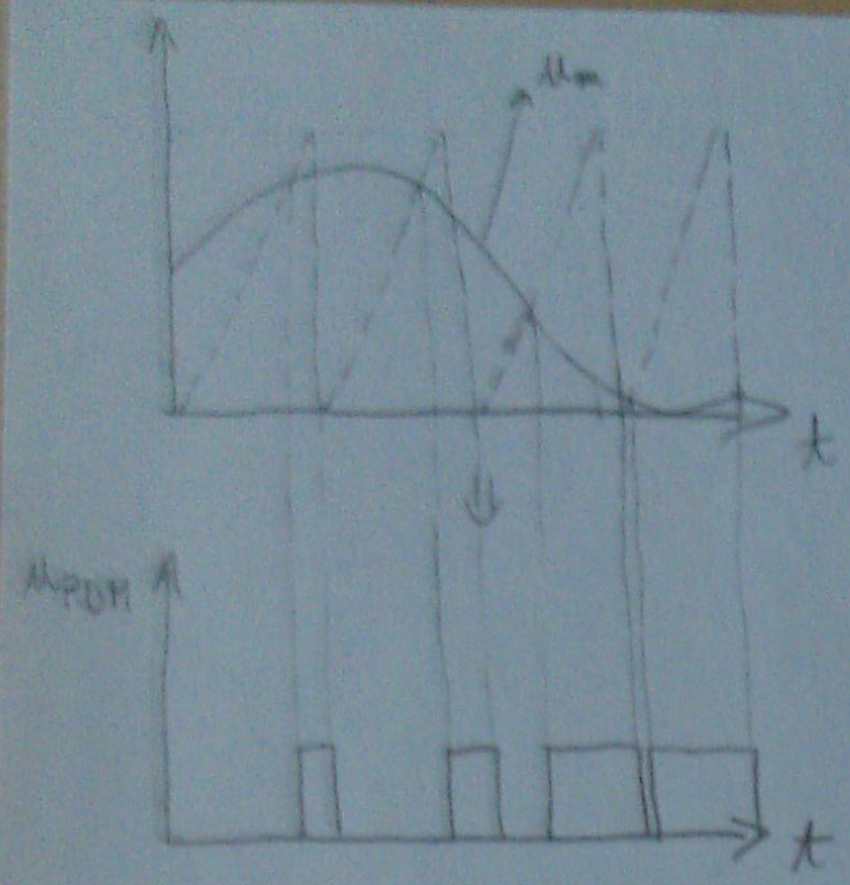
BIPOLARNI IMP. PRIJ. SIGNAL

• DONJI BOČNI POJAS I GORNJI BOČNI POJAS KOD PRIRODNOG UZIMANJA UZORKA SU SIMETRIČNI (S OBZIROM NA kf_p), A KOD REGULARNOG/UNIFORMNOG NISU

→ b) PDM (PWM): • UZORAK SE UZIMA PILASTIM OBLIKOM, TE OVISNO O NJEMU MODULIRAMO PREDNJU, ZADNJU ILI OBJE ŠIRINE (TRAJANJA) IMPULSA PRIJ. SIG.



• PILASTI SIGNAL USPOREĐUJEMO (KOMPARIRAMO) S MODULACIJSKIM I KADA JE PILASTI VEĆI OD MODULACIJSKOG IMAMO VISOKU RAZINU IMPULSNOG ("1"), INAČE IMAMO NISKU RAZINU IMPULSNOG PRIJENOSNOG SI. ("0") (VIDI SLIKU)



→ PRIMJER MODULACIJE NA PREDNJI BRID PILASTOG

• SPEKTAR: ISTO KAO I KOD PAM, IMAMO f_m, f_0 OVISI KORISTIMO LI UNIPOLARNI/BIPOLARNI

→ PPM:

• SVE ISTO KAO I PDM(PWM), SAMO ŠTO JE ŠIRINA IMPULSNOG FIKSNA (MANJA OD PERIODE), DOK SE NJEGOV POLOŽAJ U PERIODI MIJENJA OVISNO O RAZINI MODULACIJSKOG SIGNALA (ČIM JE VEĆI, KASNIJE U PERIODI DOLAZI IMPULSNI)

• SPEKTAR: SVE ISTO, SAMO ŠTO PPM NEMA f_m (MODULACIJSKU) KOMPONENTU U SPEKTRU!!

• KORISTE SE TAKTNI IMPULSI ZA ODNOS POLOŽAJA IMPULSNOG (SINKRONIZACIJU), PA JE RAZVIJEN I DPPM (Differential PPM) KOD KOJEG SE POLOŽAJ IMPULSA MJERI OBZIROM NA PRETHODNI IMPULS (PA NISU POTREBNI TAKTNI)

→ PFM:

• SLIČNO KAO I PPM, SAMO RAZINA MODULACIJSKOG DIKTIRA BROJ IMPULSA IMPULSNOG U JEDINICI VREMENA

• NE KORISTI SE TAKO ČESTO, U MJERNOJ TEHNICI SE KORISTI

→ USPOREDBA: • PDM (PWM) i PPM SU NELINEARNI POSTUPCI

• PPM NEMA f_m KOMPONENTU U SPEKTRU!

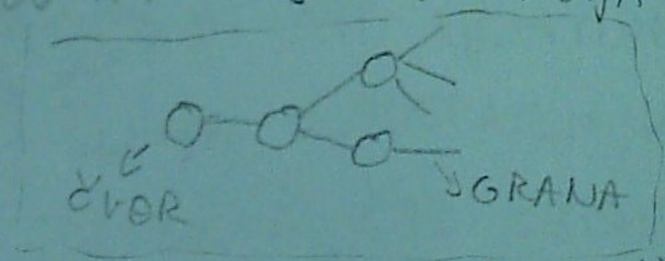
Elektroničke komunikacije

5. predavanje

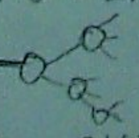
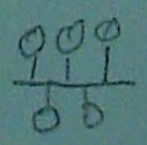
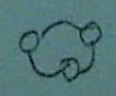
by: egislav

1. DIO: Vrste Mreža:

→ **općenito**:
- U SLUČAJU VEĆEG BROJA UREĐAJA, KAKO NE BI POVEZIVALI SVAKI SA SVAKIM, SPAJAMO IH PREKO MREŽE
- MREŽA SE SASTOJI OD GRANA I ČVOROVA; GRANE POVEZUJU ČVOROVE (MEĐUSOBNO) I KORISNIKE SA ČVOROVIMA, A ČOROVI SLUŽE ZA GRANANJE, SPAJANJE KORISNIKA NA NJIH (IZVOR I ODREDIŠTE ZOVEMO KRAJNJI ČVOROVI), TE PROSLJEĐIVANJE PODATAKA
- OSIM OVIH OSNOVNIH FUNKCIJA ČVOROVI MOGU IMATI JOŠ FUNKCIJA (NPR. PROCESIRANJE, POHRANA, POJAČANJE ...)



→ **podjele**:

- S OBZIROM NA SPAJANJE UREĐAJA (KORISNIKA) I ČVOROVA: (VRSTE VEZA!)
  - KOMUTIRANE (JAVNE MREŽE) - ČVOROVI KOMUTIRAJU (USMJERAVAJU) INFORMACIJE RAZNIM PUTEVIMA
  - ZAKUPLJENE - PRIJENOS UVIJEK ISTIM PUTEM KOJI JE STALNO AKTIVAN (NPR. BANKE)
  - NAMJENSKE - ISTO ŠTO I ZAKUPLJENE, ALI KORISNICI SU I VLASNICI VEZE
- U ODNOSU NA NAČIN PRIJENOSA PODATAKA:
  - KOMUTIRANE - IZMEĐU KRAJNJIH ČVOROVA POSTOJE MEĐUČVOROVI ZA USMJERAVANJE
  - NEUSMJERENE - NEMA MEĐUČVOROVA, IZVOR ŠALJE SVIM ILI GRUPI ČVOROVA
- S OBZIROM NA NAMJENU:
  - JAVNE - KORISNICI - PRETPLATNICI
  - PRIVATNE - SAMO ZA ODREĐENU GRUPU KORISNIKA (NPR. FIRME)
- U ODNOSU NA IZVEDBU:
  - FIKSNE (TELEFON NPR.)
  - POKRETNE (GSM, UMTS ...)
- S OBZIROM NA TOPOLOGIJU (LOGIČKA POVEZIVANJA ČVOROVA):
  - POTPUNO POVEZANI - SVI MEĐUSOBNO POVEZANI (POUZDANO ALI SKUPO)
  - STABLO  - JEDNOSTAVNO, RIZIK OD KVARA GLAVNIH ČVOROVA
  - SABIRNICA - SVI KORISTE ISTI MEDIJ, NEMA MEĐUČVOROVA (NEPOUZDANO) 
  - PRSTEN - ČVOROVI POVEZANI U PETLJU (OSJETLJIVO NA KVAROVE!) 
  - ZVIJEZDA - SVI ČVOROVI POVEZANI NA JEDAN CENTRALNI (LAKO OTKRIVANJE KVARA)

• U ODNOSU NA SMJER PRIJENOSA: (VAŽNO!)

- JEDNOSMJERNE (SIMPLEX) - MOGUĆE SLATI SAMO OD IZVORA DO ODREDIŠTA
- POLUDVOSMJERNE (HALF-DUPLEX) - MOŽE U OBA SMJERA, ALI NE ISTODOBNO
- DVOSMJERNE (DUPLEX) - MOŽE U OBA SMJERA ISTODOBNO

◉ U ODNOSU NA VELIČINU: (AREA NETWORK, AN)

- OSOBNE (PAN - Personal) - SLUŽI JEDNOJ OSOBI
- LOKALNE (LAN - Local) - VIŠE MJIH, NPR. FIRME (TOPOLOGIJE SABIRNICE)
- GRADSKE (MAN - Metropolitan)
- REGIONALNE / ŠIROKE (WAN - Wide)

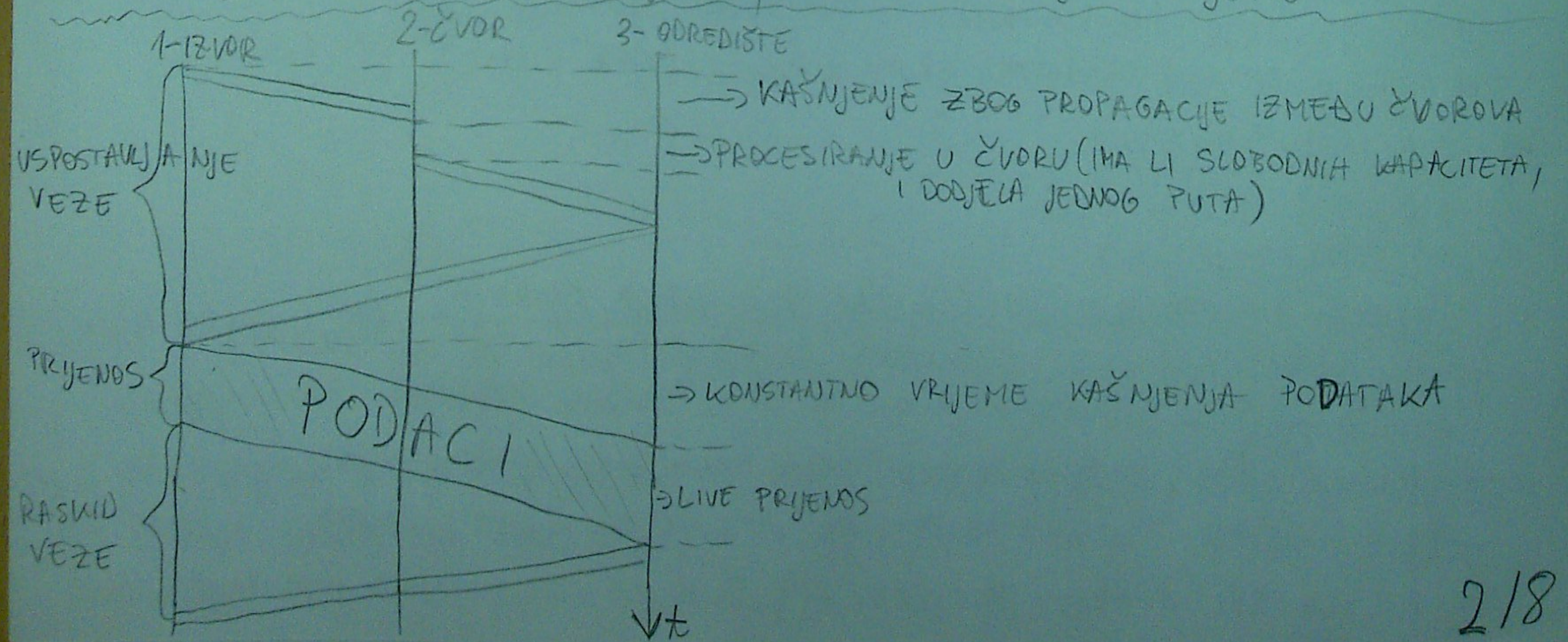
→ komutacija paketa i komutacija kanala:

• ZADNJA I NAJVAŽNIJA PODJELA MREŽA JE S OBZIROM NA POSTUPAK KOMUTACIJE, TE RAZLIKUJEMO 2 (TJ. 3) VRSTE:

a) KOMUTACIJA KANALA
b) KOMUTACIJA PAKETA → b_1) KOMUTACIJA DATAGRAMA
→ b_2) KOMUTACIJA VIRTUALNIM KANALIMA

• a) KOMUTACIJA KANALA: (NPR. TELEFON)

- IZVOR ŠALJE ZAHTJEV ZA VEZOM, TE UKOLIKO IMA KAPACITETA U MREŽI, ODREDIŠTE POTVRĐUJE (ILI ODBACUJE) ZAHTJEV I USPOSTAVLJA SE FIXNI PUT PODATAKA KOJI SE PREKIDA KADA IZVOR TAKO KAŽE (ILI ODREDIŠTE)
- USPOSTAVA I RASKID VEZE UNOSI KAŠNJENJE, NO JEDNOM KADA JE VEZA USPOSTAVLJENA, BRZINA PRIJENOSA JE KONSTANTNA (KAPACITETI ZA TU VEZU SU ZAUZETI I DRUGI IZVORI NEMOGU KORISTITI TE KAPACITETE), I SVI PODACI IDU ISTIM PUTEM
- OMOGUĆAVA LIVE PRIJENOS, NO ZAHTIJEVA FIKSNE KAPACITETE KOJE DRUGI IZVORI ONDA NEMOGU KORISTITI, TE NIJE EKONOMIČNO AKO SU KAPACITETI ZAUZETI, A IZVOR IH NE KORISTI U CJELOSTI, ILI NE KORISTI CJELO VRIJEME



• b_1) KOMUTACIJA DATAGRAMA: (NPR. INTERNET)

- PODACI SE U IZVORU CJEPAJU NA PAKETE KOJIMA SE DODAJU ZAGLAVLJA I ZAVRŠNI DIJELOVI U KOJIMA PIŠU REDNI BROJEVI I ADRESA (TE MOŽDA ZAŠTITA)

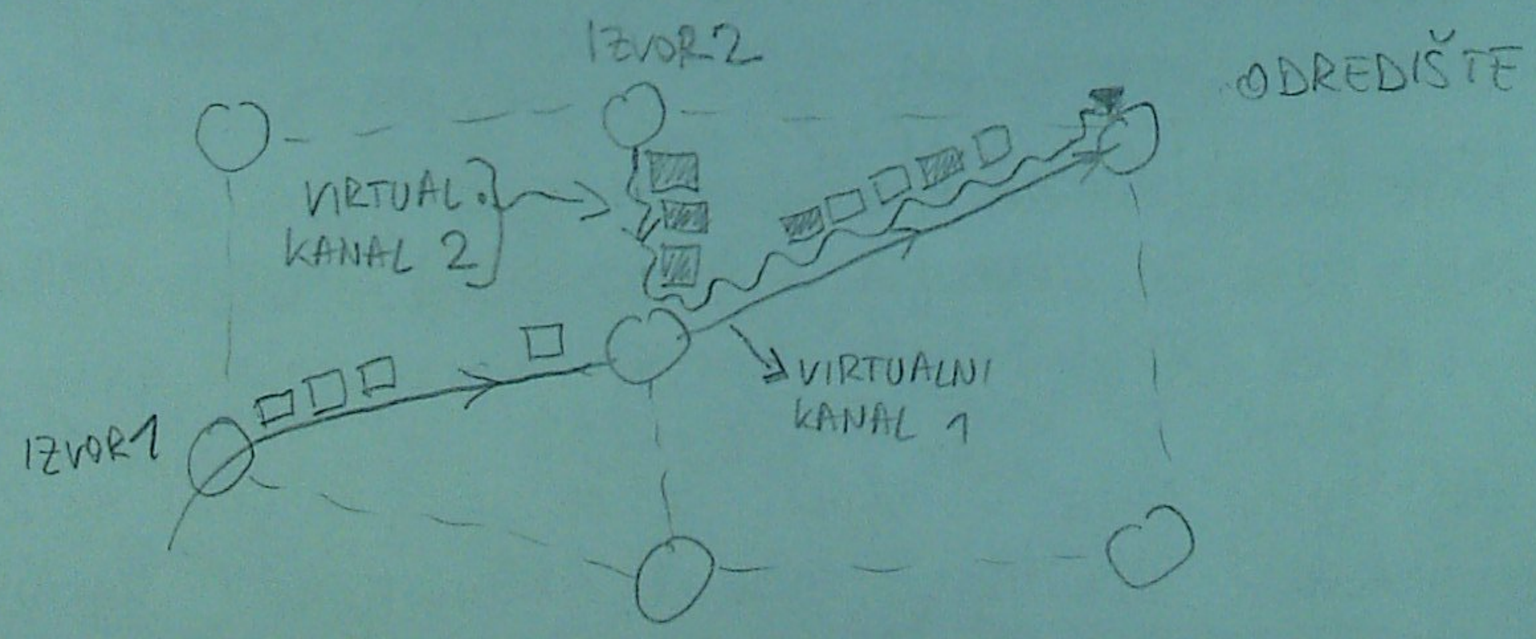
ZAGLAVLJE	PODACI	ZAVRŠNI DIO

- PODACI IDU NEOVISNIM PUTEVIMA KOJE ODREĐUJE POJEDINI ČVOR, OVISNO O ZAUZETIM KAPACITETIMA, TE NEMA USPOSTAVE I RASKIDA VEZE, I JEDINO KAŠNJENJE JE ONO IZMEĐU I U ČVOROVIMA

- KAŠNJENJE OVISI O STANJU MREŽE, JER ČVOROVI ČEKAJU SA SLANJEM AKO SU SVI PUTEVI ZAUZETI; KAŠNJENJE SE SMANJUJE SMANJIVANJEM PAKETA (ALI TADA SMANJUJEMO OMJER PODATAKA NAPREMA ZAGLAVLJU - NEKORISNIM BITOVIMA), TE PORASTOM KAPACITETA
- NEDOSTACI SU PRIJENOS NEKORISNIH BITOVA (ZAGLAVLJA) I DOLAZAK SLIJEDNIH PAKETA U RAZLIČITO VRIJEME NA ODREDIŠTE (ISPREMIJEŠANJE PAKETA)

• b_2) KOMUTACIJA PAKETA VIRTUALNIM KANALIMA:

- ISTO SLANJE PAKETA, SAMO ŠTO SE PRIJE SLANJA USPOSTAVLJAJU VIRTUALNI KANALI IZMEĐU IZVORA I ODREDIŠTA, ŠTO OSIGURAVA PRIJEM PODATAKA U ISTOM REDOSLIJEDU
- ISTIM PUTEM MOGU SE SLATI PAKETI IZ VIŠE IZVORA (KAPACITETI NISU FIKSNO ZAUZETI)
- KAŠNJENJE ZBOG USPOSTAVE I RASKIDA VEZE, ALI TIJEKOM SLANJA KAPACITETI SE DIJELE (ISTO JE MOGUĆE ZAGUŠENJE)



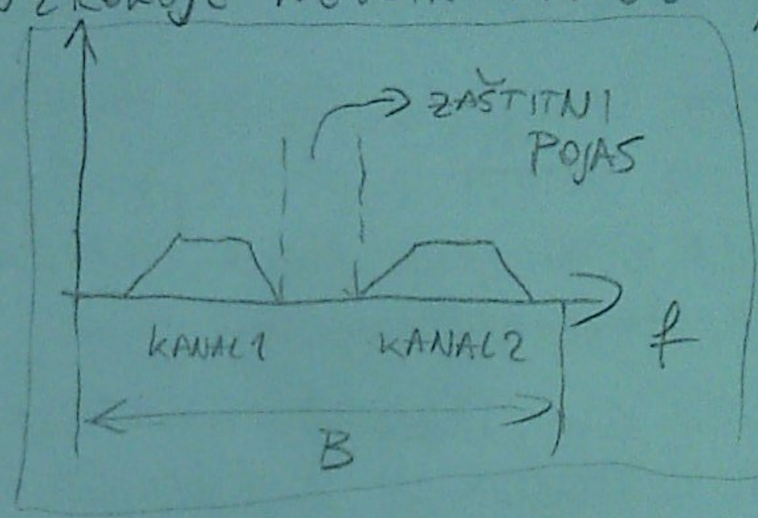
• ZA OZNAKU KVALITETE MREŽE S KOMUTACIJOM KANALA KORISTI SE VJEROJATNOST USPOSTAVE VEZE (a))

• ZA OZNAKU KVALITETE MREŽE S KOMUTACIJOM PAKETA (b_1), b_2)) RABI SE SREDNJE KAŠNJENJE PAKETA

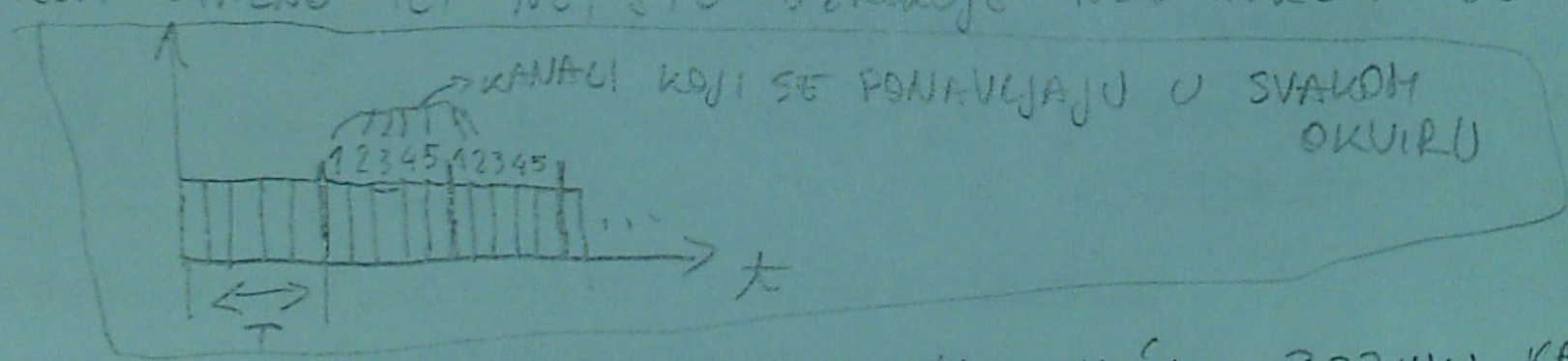
2. DIO: Tehnike multipleksiranja (DM-Division Multiplex):

- KAKO BI VIŠE KORISNIKA, TJ. IZVORA MOGLO KORISTITI ISTU GRANU, TJ. PRIJENOSNI MEDIJ ISTODOBNO, MORAMO IH MULTIPLESIRATI, TJ. PODIJELITI KANAL

- a) PO FREKVENCIJI (FDM-Frequency DM):
  - RASPOLOŽIVI POJAS FREKVENCIJA, B, DILELI SE NA DIJELOVE-KANALE, SVAKOM KANALU NJEGOV DIO POJASA, A IZMEĐU KANALA JE ZAŠTITNI POJAS (KOJI UJEDNO I UZROKUJE NEUČINKOVITOST, JER DIJELOVE POJASA (B) NE KORISTIMO!

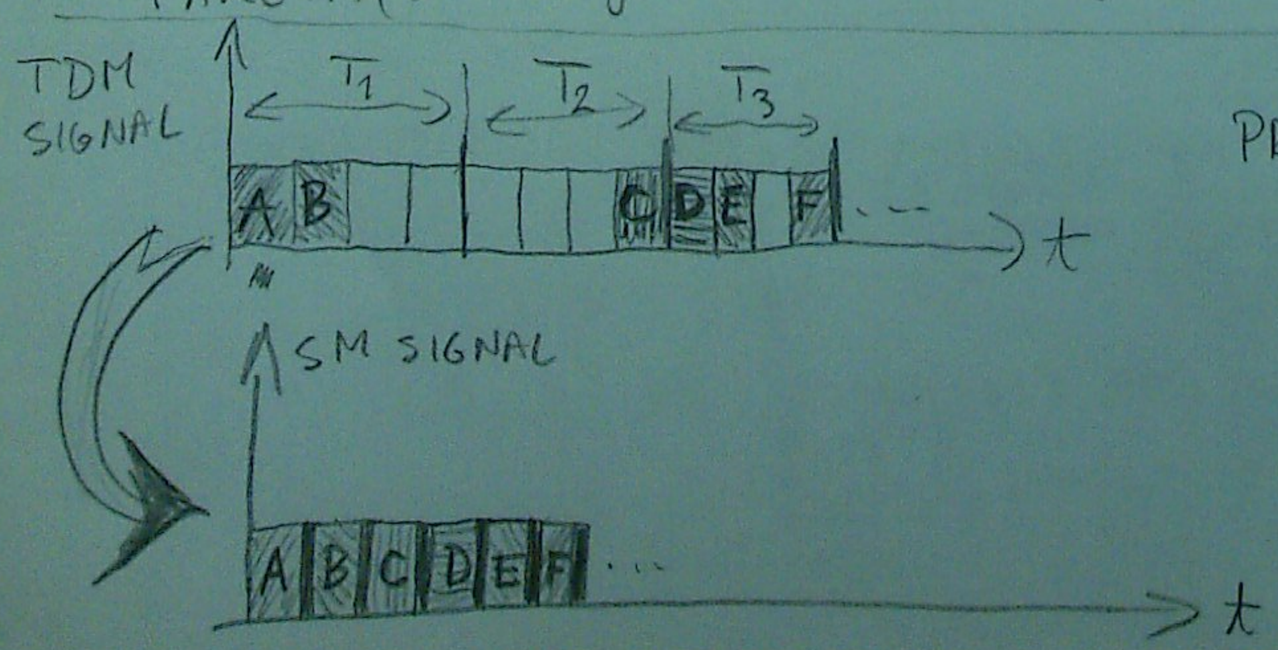


- b) PO VREMENU (TDM-Time DM)
  - VRIJEME SE DIJELI NA OKVIRE T, KOJI SE ONDA DALJE DIJELE NA VREMENSKE ODSJEČKE JEDNAKOG TRAJANJA ZA SVAKOG KORISNIKA
  - ODSJEČCI SE FIKNO DODJELJUJU, NEOVISNO ŠALJU LI SE PODACI NEKIM ODSJEČKOM STALNO ILI NE, ŠTO UZROKUJE NEUČINKOVITOST



  - KOLIKO PUTA PODIJELIMO OKVIR, TOLIKO MORAMO UVEĆATI BRZINU KAKO BI KANALI SLALI SVOJOM ORIGINALNOM BRZINOM (VIŠE BITA U SEKUNDI)

- c) STATISTIČKO (SM-Statistical Multiplexing)
  - UNAPRIJEĐENI TDM - KADA SE KANALIMA U VREMENSKOJ PODJELI NE ŠALJU PODACI, ONI KANALI IZA NJIH SE PRESLIKAJU NA PRAZNE
  - SVAKOM PAKETU PODATAKA SE DODA ADRESA IZVORA (REDUNDANCIJA), KAKO BI SE ZNALO KOJI IZVOR ŠALJE U NEKOM OD ODSJEČAKA (VIDI SLIKU)
  - SM I TDM SU ANALOGNI KOMUTIRANJU KANALA (FIXNA DODJELA) I KOMUTIRANJU PAKETA (DODAVANJE ADRESE I SLANJE JEDAN ZA DRUGIM)



PRAZNI KANALI SE PREBRIŠU SA PONIMA, ODSJEČCIMA SE DODAJE ADRESA (□) KAKO BI SE ZNALO IZ KOJEG IZVORA DOLAZE; RJEŠAVA SE PROBLEM PRAZNIH KANALA (KADA NE ŠALJU :P

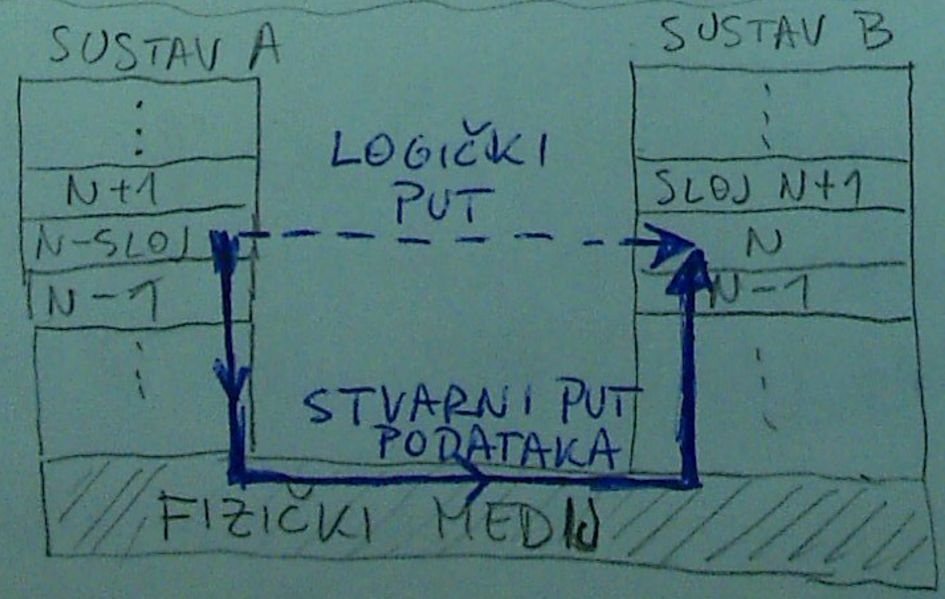
- d) PO VALNOJ DULJINI (WDM - Wavelength DM):
  - KORISTI SE KAO OZNAKA U OPTIČKIM SUSTAVIMA, IDENTIČNA FDM ($\lambda = \frac{c}{f}$)
  - VEĆA JE ŠIRINA POJASA (U THz), I KORISTE SE ONE FREKV. KOJE IMAJU MANJE GUŠENJE
  - RAZLIKUJEMO GUSTI (DWDM - Dense WDM) I RIJETKI (CWDM - Coarse WDM)
- e) PO KODU:
  - SVAKOM KORISNIKU NJEGOV KOD (GSM NPR.), BIT ĆE OBJAŠNJENO KASNIJE

3. DIO: Slojevi i Referentni modeli mreža:

→ slojevi:

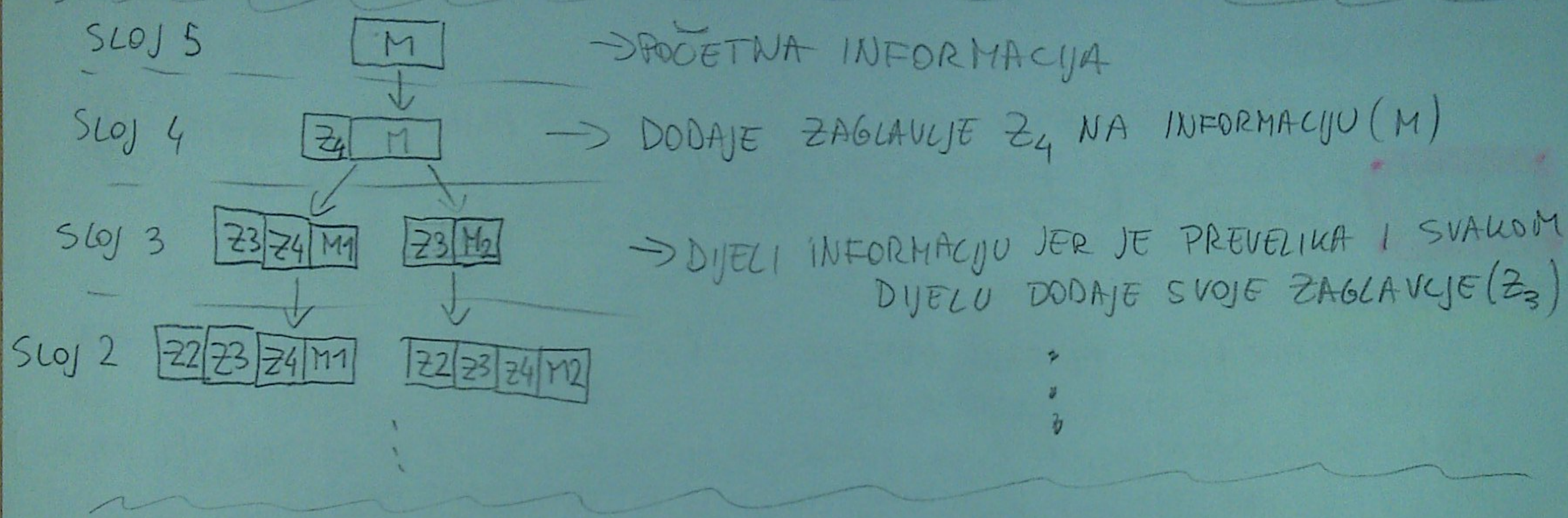
- ZA KOMUNICIRANJE IZMEĐU UREĐAJA U MREŽI POTREBAN JE SKUP PRAVILA KOJIMA ĆE SE SLATI INFORMACIJE
- RADI POJEDNOSTAVLJENJA OVOG TEŠKOG PROBLEMA SUSTAVI (UREĐAJI, RAČUNALA...) SE DIJELE NA SLOJEVE KOJI PREDSTAVLJAJU APSTRAKCIJSKE RAZINE
- SLOJEVI SE DIJELE NA VIŠE I NIŽE (HIJERARHIJSKI), S TIM DA VIŠI SLOJ NE ZANIMA IMPLEMENTACIJA FUNKCIJA NIŽEG SLOJA, DOK (GOD) ON OBAVLJA SVOJU FUNKCIJU
- 2 RAVNOPRAVNA SLOJA U RAZLIČITIM SUSTAVIMA KOMUNICIRAJU PROTOKOLIMA, DOK U JEDNOM SUSTAVU SLOJEVI MEĐUSOBNO KOMUNICIRAJU PREKO SUČELJA (SLOJ MOŽE SAMO KOMUNICIRATI SA SLOJEVIMA DO SEBE, PREKO SUČELJA SA NEPOSREDNO NIŽIM, ILI DATI USLUGU NEPOSREDNO VIŠEM)
- POJEDINI SLOJ NE ZANIMAJU REALIZACIJE SLOJEVA ISPOD NJEGA!!
- NAJVIŠI SLOJ JE APLIKACIJSKI SLOJ, NAJNIŽI FIZIČKI, ISPOD KOJEGA JE SAM FIZIČKI MEDIJ KOJIM PODACI STVARNO PUTUJU (FIZ. MEDIJ NIJE SLOJ)
- USLUGE IZMEĐU SLOJEVA SE OBAVLJAJU DIREKTNO, DOK KOD KORIŠTENJA PROTOKOLA, KOMUNIKACIJA NE IDE DIREKTNO NEGO SLOJ PRVOG SUSTAVA POŠALJE PODATKE SLOJU ISPOD SEBE, I TAKO DO FIZ. MEDIJA, KOJIM ONDA PUTUJU PODACI I DOLAZE DO DRUGOG SUSTAVA GDJE SE DOGAĐA OBRNUTA STVAR, PODACI IDU SA NIŽIH SLOJEVA DO EKVIVALENTNOG SLOJA U DRUGOM SUSTAVU (VIDI SLIKU)

PROTOKOL:



SKUP PROTOKOLA KOJE KORISTI NEKI SUSTAV ZOVE SE PROTOKOLNI STOG (SLOŽAJ)

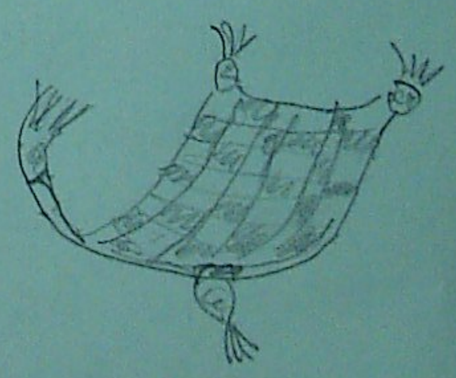
- SLOJEVI KORISTE (PROTOKOLNE) JEDINICE PODATAKA ZVANE PDU (Protocol Data Unit), PA SLOJ N KORISTI JEDINICU NAZIVA N-PDU. PDU SE SASTOJI OD ZAGLAVLJA I JEDINICE PODATAKA USLUGE SDU (Service DU)
- SLANJEM PROTOKOLA SVAKI NIŽI SLOJ DODAJE SVOJE ZAGLAVLJE I EVENTUALNO DIJELI SDU UKOLIKO NE PODRŽAVA TAKO VELIKU VELIČINU PODATAKA (VIDI SLIKU)



- FUNKCIJE KOJE MORA OBAVLJATI SVAKI SLOJ:
  - RASPOZNAVANJE POŠILJATELJA OD PRIMATELJA (ADRESIRANJE)
  - ODREĐIVANJE PRAVILA PRIJENOSA
- FUNKCIJE KOJE MOŽE OBAVLJATI SLOJ:
  - UPRAVLJANJE POGREŠKAMA
  - ODRŽAVANJE ISPRAVNOG REDOSLIJEDA PAKETA (U MREŽAMA S KOMUTACIJOM PAKETA)
  - UPRAVLJANJE TOKOM PODATAKA
  - UPRAVLJANJE DUŽINOM PAKETA
  - MULTIPLEKSIRANJE/DEMUX
  - ⋮ ITD.
- SLOJ MOŽE SLOJU IZNAD SEBE DATI:

  a) - SPOJNE USLUGE (USPOSTAVLJANJE KANALA PRI PRIJENOSU)
  - NESPOJNE USLUGE (KOMUTACIJA PAKETIMA)

  b) - USLUGE S POTVRDOM PRIJEMA
  - USLUGE BEZ POTVRDE PRIJEMA



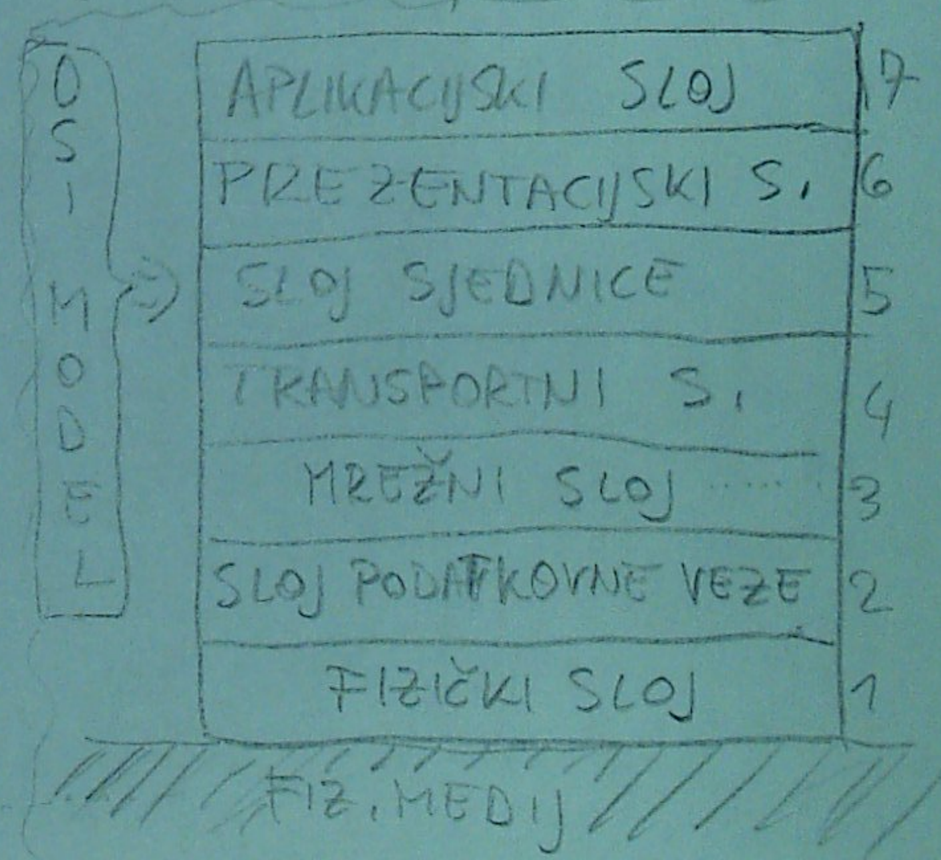
- PREDNOSTI SLOJEVITE ARHITEKTURE MREŽE:
  - LAKO PROJEKTIRANJE, PROMJENE I REKONSTRUKCIJE
- NEDOSTACI:
  - REDUNDANDNOST ZAGLAVLJA I NEKIH FUNKCIJA (KOJE SE PONAVLJAJU NA SLOJEVIMA)
  - OGRANIČENOST PRISTUPA - SLOJ MOŽE PRISTUPITI SAMO SLOJEVIMA (NEPOSREDNO) DO SEBE

Referentni model OSI (Open System Interconnection):

- MODEL POSTAVLJEN (NORMIRAN) OD ISO ORGANIZACIJE, PREPORUČA I DEFINIRA BROJ, FUNKCIJE I SVE OSTALO VEZANO ZA RAZDJELU SUSTAVA NA SLOJEVE
- VIŠE TEORIJSKI, U PRAKSI SE KORISTI TCP/IP (INTERNETSKI) PROTOKOL
- 7 SLOJEVA:

- a) FIZIČKI SLOJ:
  - NA RAZINI BITA, SVOJSTVIMA, SKUPINE (NEGRUPIRANE) BITA, SUČELJE KA PRIJENOSNIM MEDIJU
  - NE POISTOVJEĆIVATI S FIZIČKIM MEDIJEM! (ZNAČAJKE MEDIJA NISU NJEGOV DIO)

- b) SLOJ PODATKOVNE VEZE:
  - PRENOSI OKVIRE PODATAKA IZMEĐU 2 SUSJEDNA ČVORA
  - USLUGE KOJE PRUŽA MREŽNOM SLOJU SU SPOJNE/NESPOJNE, S/BEZ POTVRDE PRIJEMA
  - UPRAVLJANJE POGREŠKAMA...



- c) MREŽNI SLOJ:
  - SLOJ PODATKOVNE VEZE JE SAMO IZMEĐU 2 SUSJEDNA ČVORA, AKO IZMEĐU IZVORA I ODREDIŠTA IMA MEĐUČVOROVA, AKTIVIRA SE MREŽNI S.
  - USMJERAVA PAKETE PODATAKA
  - UPRAVLJANJE POGREŠKAMA, TOKOM...

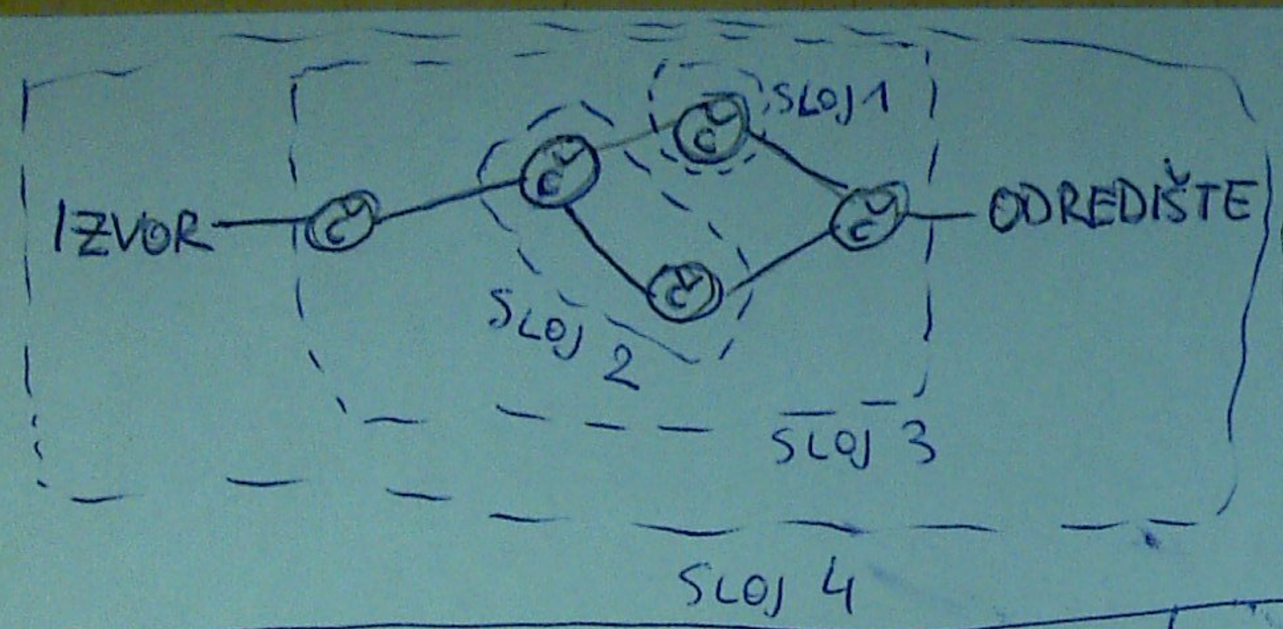
- d) TRANSPORTNI SLOJ:
  - PRIJENOS PODATAKA OD IZVORA DO ODREDIŠTA (S KRAJA NA KRAJ)
  - UPR. GREŠKAMA, TOKOM...

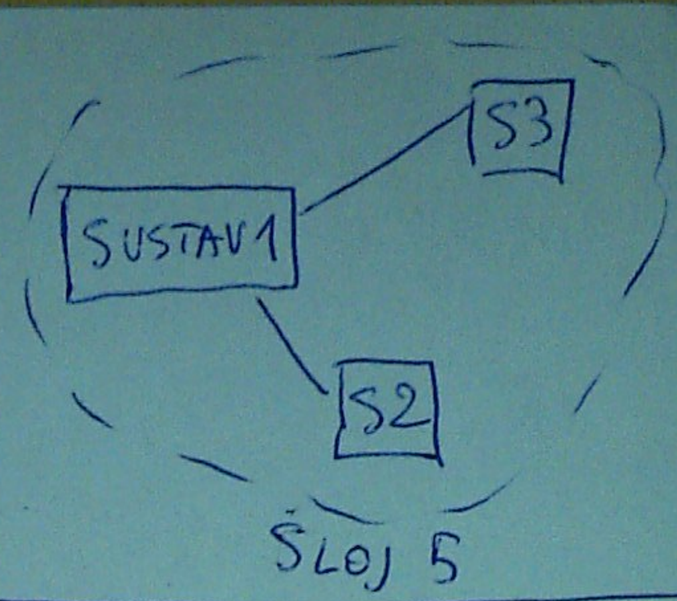
- e) SLOJ SJEDNICE:
  - KOMUNIKACIJA IZMEĐU SUSTAVA; USPOSTAVLJA/RASKIDA VEZE...

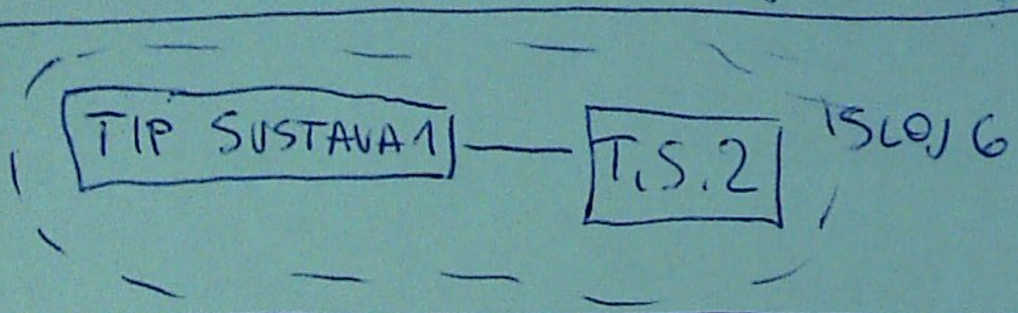
- f) PREZENTACIJSKI SLOJ:
  - UKLANJA RAZLIKE I TIPOVE U KOMUNIKACIJI IZMEĐU SUSTAVA (APLIKACIJA)

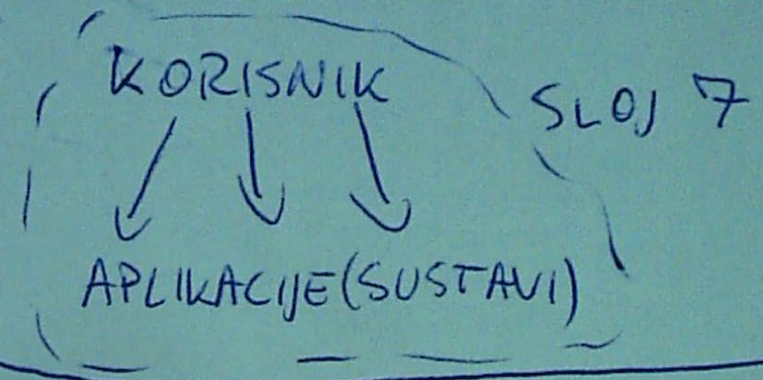
- g) APLIKACIJSKI SLOJ:
  - KOMUNIKACIJA IZMEĐU KORISNIKA I OSI SUSTAVA (USLUGE KORISNICIMA)

- PROTOKOLI (SLOJEVA) 1–3 MOGU MEĐUSOBNO KOMUNICIRAJU (NA SLIČNIM SU RAZINAMA), DOK PROTOKOLI SLOJEVA 4–7 KOMUNICIRAJU SAMO SA SEBI RAVNOPRAVNIM SLOJEVIMA









- DOPRINOSI MODELA OSI:
  - LAKE PREPRAVKE, JEDNOSTAVNO DEFINIRANE USLUGE, SUČELJA, PROTOKOLI
- KRITIKE:
  - SLOŽEN MODEL, FUNKCIJE SE PONAVLJAJU, PREKASNO SE POJAVIO KAD SE TCP/IP VEĆ KORISTIO I VAŽNO: TRANSPORTNI SLOJ PODRŽAVA SAMO SPOJNE USLUGE!!!

Referentni model TCP/IP (Transmission Control/Internet Protocol):

- 4 SLOJA; 4. ODGOVARA 7., 6. I DIJELU 5. KOD OSI; 3. ODGOVARA 4. I DIJELU 5. KOD OSI; 2. JE ANALOGANA OSI-MODELU, 1. JE SKUP 1. I 2. KOD OSI MODELA

4.	APLIKACIJSKI SLOJ
3.	TRANSPORTNI (TCP/UDP)
2.	MREŽNI (IP)
1.	SLOJ PRISTUPA MREŽI

- 1) SLOJ PRISTUPA MREŽI:
  - NIJE POSEBNO DEFINIRAN I MOŽE SE MIJENJATI
- 2) MREŽNI (INTERNETSKI) SLOJ:
  - TEMELJI SE NA IP, USMJERAVA PAKETE, ADRESIRA...
- 3) TRANSPORTNI SLOJ:
  - S KRAJA NA KRAJ, DEFINIRA TCP I UDP (User Datagram Protocol)
  - TCP SLUŽI ZA SPOJNE USLUGE, POUZDAN JE; DOK UDP SLUŽI ZA NESPOJNE USLUGE, I MANJE JE POUZDAN, KORISTE GA APLIKACIJE KOJE SAME UPRAVLJAJU TOKOM PODATAKA, BRŽI JE :)
- 4) APLIKACIJSKI SLOJ:
  - SADRŽI RAZNE SUSTAVNE I KORISNIČKE PROTOKOLE (HTTP, DNS...)
- KORISNIK VIDI ZADNJA 2 (KOD OSI MODELA ZADNJA 4) SLOJA

- DOPRINOSI TCP/IP MODELA:
  - JEDNOSTAVAN, PRILAGOĐEN, SADRŽAVA I NESPOJNE USLUGE U TRANSPORTNOM SLOJU
- KRITIKE:
  - NIJE OPĆENIT, TEŠKO JE PRILAGODLJIV I NEMA JASNO DEFINIRANE NEKE STVARI

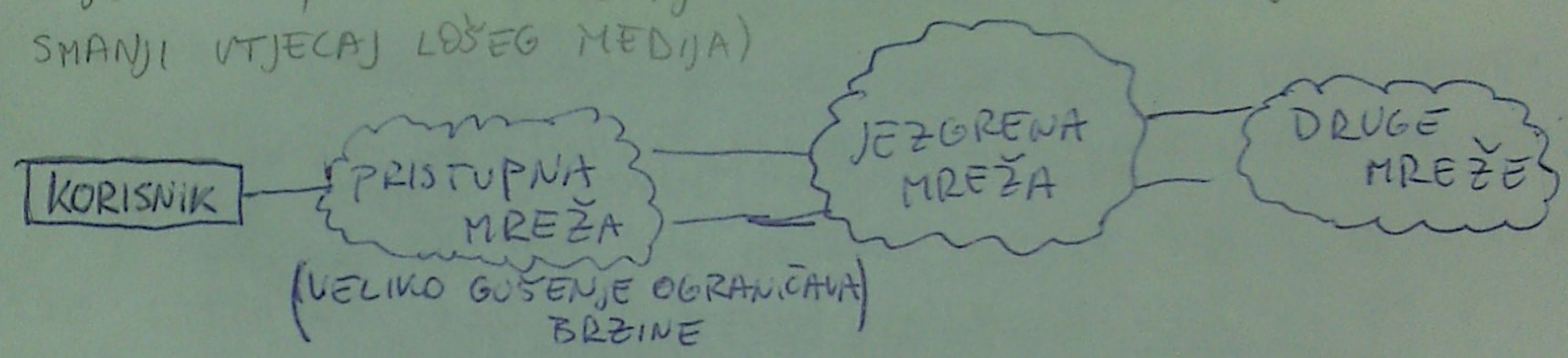
Elektroničke Komunikacije

6. predavanje

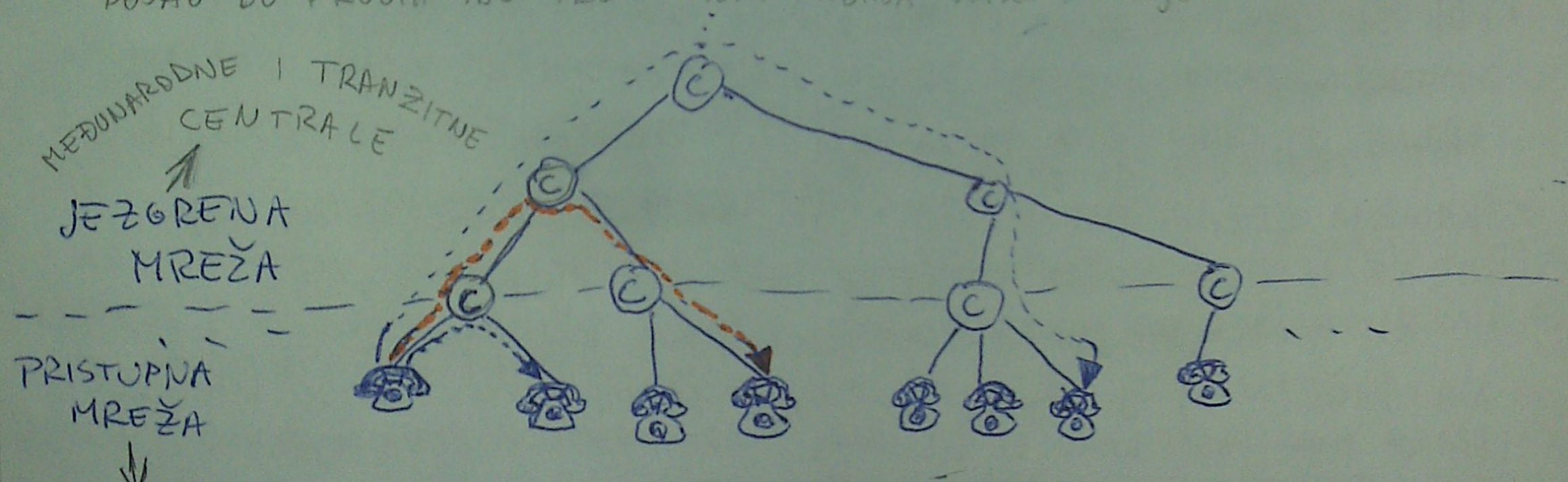
by: egislov

1. DIO: Telefonska Mreža:

- SLUŽI ZA PRIJENOS GOVORA I PODATAKA, PRI ČEMU KORISNICI MEĐUSOBNO KOMUNICIRAJU PREKO MREŽNIH CENTRALA
- RABI KOMUTACIJU KANALA I FDM U PRIJENOSU ANALOGNOG GOVORA, A TDM U PRIJENOSU DIGITALNOG
- DIJELI SE NA PRISTUPNU MREŽU (PRISTUP KORISNIKA GLAVNOJ MREŽI) I NA JEZGRENU; PRI ČEMU JE NAJSLABIJA KARIKA PRISTUPNA MREŽA, JER KORISTI ZASTARJELE UPLETENE PARICE KOJE IMAJU VELIKO GUŠENJE, TJ. MALE BRZINE (PA SE NASTOJE ZAMIJENITI OPTIKOM DA SE UBRZA RAD, ALI TO JE SKUPO, PA SE POKUŠAVAJU RAZNI POSTUPCI MODULACIJE ITD. DA SE SMANJI UTJECAJ LOŠEG MEDIJA)



- TEL. MREŽA JE U OBLIKU STABLA (HIJERARHIJSKA), PA DA BI KORISNIK DOŠAO DO DRUGIH IDE PREKO VIŠIH RAZINA KAKO UDALJENOST RASTE...

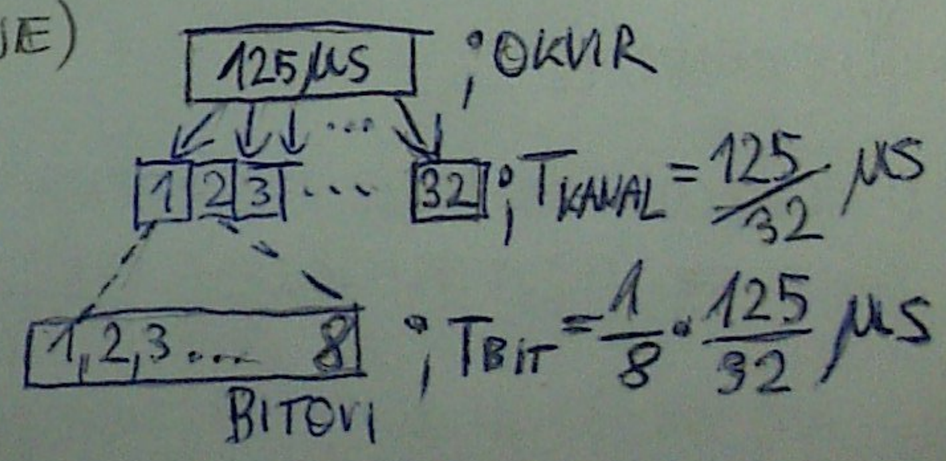


- DO LOKALNIH CENTRALA (PRISTUPNA MREŽA) KORISTE SE ANALOGNI SIGNALI, TAMO SE MULTIPLEKSIRAJU, PRETVARAJU U DIGITALNE I ŠALJU DALJE U DIG. OBLIKU, S TIM DA ČIM IDEMO NA VIŠU RAZINU POTREBNE SU VEĆE BRZINE (JER SE ŠALJE SVE VIŠE PODATAKA ISTIM PUTEM!)
- IZNAD RAZINE LOKALNIH CENTRALA, CENTRALE SE MOGU I MEĐUSOBNO IZRAVNO SPAJATI, NE KORISTEĆI VIŠE RAZINE (TRANZITNE CENTRALE)

- PRI ANALOGNO-DIGITALNOJ PRETVORBI U LOKALNIM CENTRALAMA KORISTI SE PCM (Pulse Code Modulation) S PERIODOM OD $\boxed{125\,\mu s}$, TJ. FREKVENCIJE 8 kHz
- KADA SMO DIGITALIZIRALI SIGNALE, MORAMO IH MULTIPLEKSIRATI, PRI ČEMU KORISTIMO TDM; DA BI KORISTILI TDM, NUŽNA JE SINKRONIZACIJA SIGNALA KOJI DOLAZE IZ RAZNIH IZVORA (TAKTNI IMPULSI)
- S OBZIROM NA NAČIN SINKRONIZIRANJA MREŽE DIJELIMO NA:
  - PLEZIOKRONE – KAŽEMO DA SU TAKTNI IMPULSI ASINKRONI JER IAKO KORISTE ISTU FREKV., DOZVOLJENO JE ODSTUPANJE ZA NEKI Δf ($\underbrace{\text{PRIBLIŽNO ASINKRONE!}}_{=\text{PLEZIOKRONE}}$)
  - SINKRONE – TAKTNI IMPULSI KORISTE JEDNU TE ISTU FREKVENCIJU, PRI ČEMU SE SVI UREĐAJI MOGU SINKR. NA JEDAN (ZAVISNO – TOPOLOGIJA ZVIJEZDE), ILI UZAJAMNO, MEĐUSOBNIM SINKRONIZIRANJEM SVIH NA JEDNU FREKV. (MALO KOMPLICIRANIJE)

→ Pleziokrona digitalna hijerarhija, PDH (Plesiochronus Digital Hierarchy)

- PRVI SUSTAV ZA PRIJENOS DIGITALNOG GOVORA, PROPISUJE RAZINE U TDM-u, TE ZA SVAKU RAZINU BROJ KANALA, BRZINE (NIŽE RAZINE MANJE, VIŠE – VIŠE)
- KAO ŠTO JE VEĆ REČENO, KORISTI SE OKVIR OD 125 μs, tj. $f = 8$ kHz, I TO 8 BITA PO KANALU (OKTET), ŠTO DAJE POČETNU BRZINU OD $8\,\text{kHz} \times 8\,\text{BITA} = \boxed{64\ \text{kbit/s}}$
- PDH SE DIJELI GEOGRAFSKI PA EUROPA KORISTI JEDNU VERZIJU, A AMERIKA, KANADA I JAPAN DRUGU, JEDINO ZAJEDNIČKO SU IM POČETNE BRZINE, TJ. BROJ BITA PO KANALU (8) I VREMENSKI OKVIR (125 μs)
- PRIMARNA BRZINA (NE MIJEŠATI SA POČETNOM!), TJ. BRZINA PRVE RAZINE U EUROPSKOM PDH (E1) DOBI SE PODJELOM VREM. OKVIRA NA 32 KANALA, PA JE TOLIKO PUTA I VEĆA PRIMARNA BRZINA S OBZIROM NA POČETNU; TJ $R_{PRIM.} = 32 \cdot R_{POČ.} = 32 \cdot 64\ \text{kbit/s} = 2048\ \text{kbit/s} = E_1$
  (BRZINA MORA RASTI KAKO BI SVI KANALI SLALI POČETNOM BRZINOM, UKUPNO SE ZBRAJA)
- OSTALE RAZINE U EUR. PDH DOBIJU (BRZINE) SE MNOŽENJEM PRETHODNIH (BRZINA) RAZINA S 4 I DODAVANJEM UPRAVLJAČKIH BITOVA (E2, E3, E4...)
- OKVIRI SE ORGANIZIRAJU U MULTIOKVIRE I KAO TAKVI SINKRONIZIRAJU



• PRIMARNA BRZINA U AMERIČKOM PDH DOBIJE SE PODJELOM OKVIRA NA 24 KANALA (S PO 8 BITA) I 1 UPRAVLJAČKI BIT;

$((24 \times 8) + 1) \cdot 8\,kHz = 1544\ kbit/s$ (T_1)

• OSTALE BRZINE DOBE SE MNOŽENJEM PRETHODNIH S RAZNIM KOEFICIJENTIMA I DODAVANJEM SIGNALIZACIJSKIH ITD. BITOVA $(T_2, T_3, T_4 \ldots)$

• PDH JE DOSTA JEDNOSTAVNA, ALI IMA BROJNE NEDOSTATKE, POPUT POTREBE DODAVANJA UPRAVLJAČKIH BITOVA NA SVAKOJ RAZINI, RAZLIČITE EUR. I AMERIČKE INAČICE, RAZVOJ STAO NA NEKOJ GRANIČNOJ BRZINI...

→ Sinkrona digitalna hijerarhija, SDH (Synchronous DH):

• NASLIJEDILA I ISPRAVILA NEDOSTATKE PDH, OMOGUĆUJE VEĆE RAZINE, BRZINE (SVJETLOVOD), TE INKORPORIRA PDH, SPAJA EUROPSKU I AMER. INAČICU

• PRVA SINKRONA OPTIČKA MREŽA JE SONET (Synchronous Optical Network), A DANAS SU SONET I SDH SINONIMI

• NAJNIŽA RAZINA (NULTA) IMA OZNAKU STM-0, TJ. STS-1; PRVA RAZINA JE STM-1, TJ. STS-3; A SLJEDEĆE RAZINE DOBE SE MNOŽENJEM OSNOVNE (PRVE, STM-1) SA N, PRI ČEMU JE N VIŠEKRATNIK OD 3, A OZNAKE SU STM-(N/3); TJ. STS-N

• OSNOVNA (STM-1, STS-3) RAZINA IMA BRZINU PRIJENOSA:

$\underbrace{2430\ \text{SIMBOLA/OKVIRU}}_{\text{JEDINA NOVA BROJKA}} \times 8\,\text{BIT/SIMBOL} \times \underset{\text{OKVIR}}{8\,kHz} = 155.52\ Mbit/s$

• SDH PODRŽAVA PDH SVIH VERZIJA, ZA ŠTO KORISTI TZV. SPREMNIKE

• CIJELI OKVIR, BRZINE 155.52 Mbit/s DIJELI SE NA ZAGLAVLJE I PODATKE

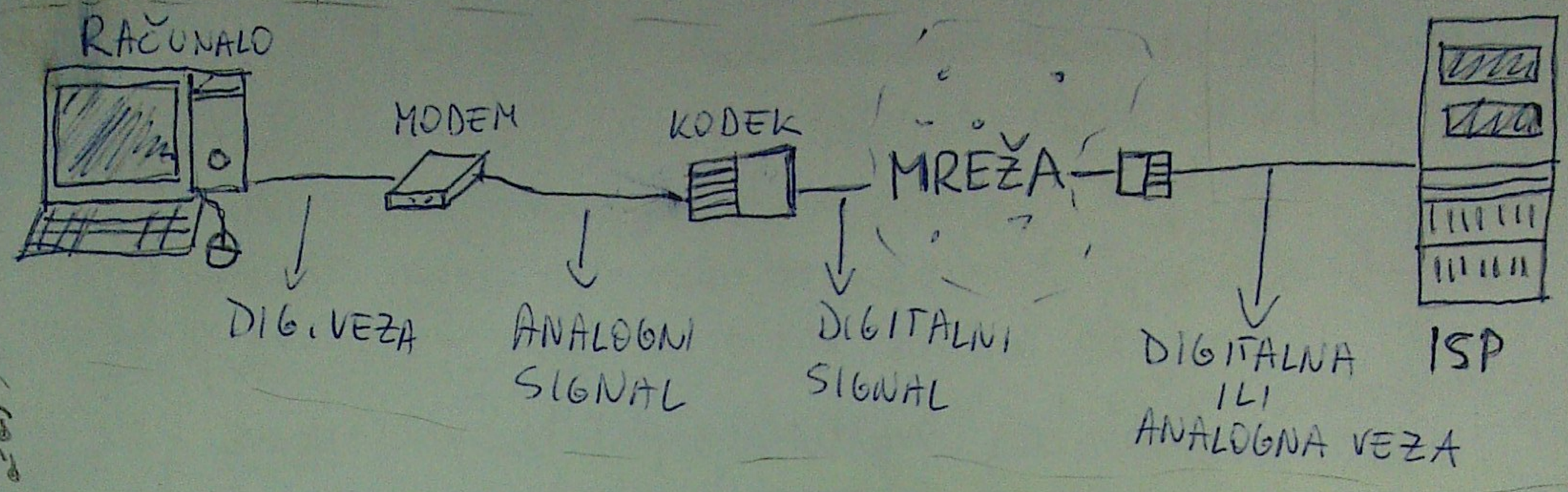
• SDH SUSTAV SASTOJI SE OD TERMINALNIH MUX-ova (KRAJNJI ČVOROVI), AD-MUX-ova, DIGITALNIH PRESPOJNIKA I REGENERATORA (OBNAVLJAJU SIGNAL)

2. DIO: Modemi i DSL:

→ Modemi:

• JAVLJA SE POTREBA ZA POVEZIVANJEM RAČUNALA PUTEM TELEFONSKE VEZE, PA SE UVODI UREĐAJ ZVAN MODEM (Modulator + DEModulator), KOJI PROVODI A/D PRETVORBU (U DOLAZNOM SMJERU) I D/A PRETVORBU (U ODLAZNOM SMJERU); IMA OGRANIČENI DOMET DO CENTRALE I BRZINE

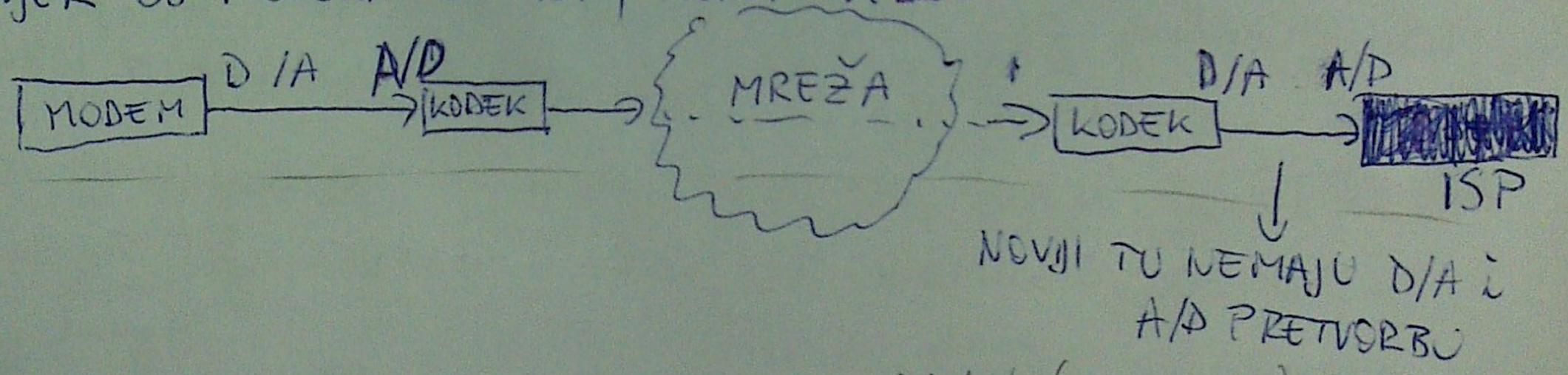
• ANALOGNI SIGNAL KOJI ŠALJE MODEM U MREŽU U LOKALNIM CENTRALAMA SE PONOVO PRETVARA U DIGITALNI SIGNAL JER ON IMA MANJE GUŠENJE, I TO POMOĆU KODEKA (VIDI SLIKU)



• RADI MANJEG GUŠENJA (I OMETANJA) MREŽOM SE ŠALJU DIGITALNI PODACI, DOK IZMEĐU ISP-a (Internet Service Provider) I MREŽE VEZA MOŽE BITI ANALOGNA ILI DIGITALNA (DIGITALNO BOLJE, BRŽE)

• U MODEMIMA SE KORISTE NAPREDNI MODULACIJSKI POSTUPCI I KOMPRESIJE KAKO BI SE POVEĆALA BRZINA I RAZLIKUJEMO 2 GRUPE MODEMA, STARIJE (V.21 – V.34 ...) KOJI U VEZI IZMEĐU ISP-a I MREŽE KORISTE ANALOGNU VEZU (PA SE SIGNAL MORA 2 PUTA PRETVARATI – 2D/A i 2A/D), I NOVIJE (V.90 – ...) KOJI U VEZI ISP-a I MREŽE KORISTE DIGITALNU VEZU (POTREBNA SAMO JEDNA D/A i A/D PRETVORBA) (VIDI SLIKU)

SMJER OD MODEMA DO ISP; MODEM V.32:



• RAZVOJ MODEMA PRESTAJE S BRZINAMA 56 kbit/s (DOWNLOAD)

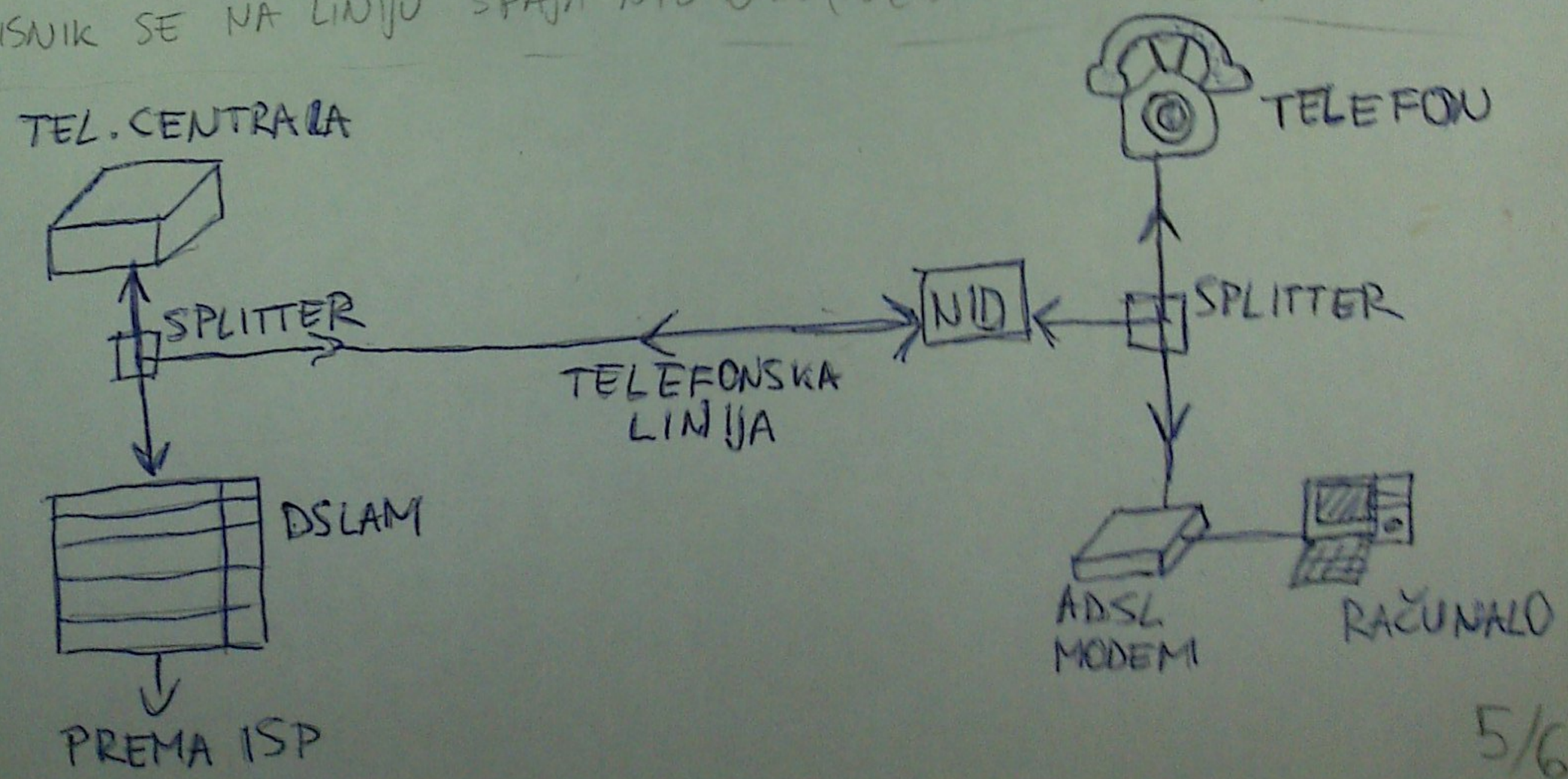
→ DSL (Digital Subscriber Line):

• POVEĆAVA BRZINE GDJE SU MODEMI STALI POVEĆANJEM FREKV. POJASA (B) I DOVOĐENJEM OPTIČKIH KABELA BLIŽE KORISNICIMA (SMANJUJE ŠUM, POVEĆAVA S/N ODNOS); ŠTO SLIJEDI IZ FORMULE ZA KAPACITET KANALA:

$$C = B \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

- OMOGUĆAVA ISTODOBNI PRIJENOS GOVORA I PODATAKA (ŠTO MODEM NIJE MOGAO
- DSL TEHNOLOGIJE POČINJU RAZVOJ ISDN-ama, NAKON ČEGA SE DIJELE NA SIMETRIČNE (JEDNAKA BRZINA DOWNLOAD-a I UPLOAD-a) TJ. HDSL (High DSL), MSDSL (Multirate Symmetric DSL) I NA ASIMETRIČNE (VEĆE DOLAZNE OD ODLAZNIH BRZINA, JER U PRAKSI VIŠE PRIMAMO PODATAKA NEGO ŠALJEMO) - ADSL (Asymmetric DSL) I VDSL (Very High DSL)
- IAKO SE ISDN VIŠE NE KORISTI (KORISTI SE U RIJETKIM SLUČAJEVIMA), ZNAČAJAN JE JER JE PRVI ODVOJIO GOVOR OD PODATAKA I OMOGUĆIO NJIHOVO ISTOVREMENO SLANJE; IMA 2 SUČELJA, BRI (Basic Rate Interface) - ZA KUĆANSTVA I PRI (Primary RI) - ZA POSLOVNE KORISNIKE

→ ADSL:
- BRZINE SU OGRANIČENE S UDALJENOŠĆU KORISNIKA OD CENTRALE (DULJINOM UPLETENE PARICE) - PORASTOM DULJINE GUŠENJE RASTE, A BRZINE PADAJU (MAX. DOMET JE OKO 5 km)
- I NA KORISNIČKOJ STRANI I U CENTRALI KORISTI SE RAZDJELNIK (Splitter) koji ODVAJA GOVOR OD PODATAKA I TO NISKOPROPUSNIM FILTROM GOVOR (0-4 kHz) I VISOKOFREKVENCIJSKIM FILTROM PODATKE
- KOD KORISNIKA NA Splitter SE SPAJAJU ADSL MODEM I TELEFON, A U CENTRALI TELEFONSKA CENTRALA (GOVOR) I DSLAM (DSL Access Multiplexer) - PODATKOVNI MULTIPLEKSOR (VIDI SLIKU)
- KORISNIK SE NA LINIJU SPAJA NID-om (Network Interface Device)



- KORISTI SE OFDM ZA PODJELU FREKV. PODRUČJA, S TIM DA SE ODLAZNOM SMJERU DAJU KANALI NA NIŽIM FREKV. (JER JE NA NJIMA MANJE GUŠENJE, KOJE NAM JE POTREBNO JER SU ODLAZNE SNAGE MANJE – ČIME S/N OSTAJE ISTI), A ODLAZNOM KANALI NA VIŠIM FREKVENCIJAMA; OSIM TOGA NA NAJNIŽOJ FREKVENCIJI JE GOVORNI KANAL, A ODLAZNI SMJER ZAUZIMA MANJE KANALA OD DOLAZNIH – JER PRIVATNI KORISNICI VIŠE DOWNLOAD-aju, PA IM TE BRZINE TREBAJU BITI VEĆE (VIDI SLIKU)

→ IZMEĐU GOVORA I PODATAKA JE ZAŠTITNI POJAS (DA SI NE SMETAJU, A I RADI NEIDEALNOG FILTRA)

- U KANALIMA SE KORISTI QAM S 0–15 bit/simbol, BRZINOM 4000 Bd, PA JE UKUPNA BRZINA U NEKOM SMJERU: $R = N_{KANALA} \cdot (0-15) \cdot 4000$
- POMOĆU PILOTSKIH SIGNALA (U OFDM-u) PROVJERAVAJU SE KANALI PA SE NEKIM KANALIMA ŠALJE VIŠE, A NEKIMA MANJE PODATAKA
- KORISTE SE 2 NORME:
  - G.DMT
  - G.LITE

  } JEDINA RAZLIKA JE ŠTO G.LITE KORISTI 2x MANJE FREKV. PODRUČJE (I STOGA 2x MANJE BRZINE)
- VREMENSKI OKVIRI $\left(T = 250\,\mu s = \frac{1}{4000\,Bd}\right)$ SU PODIJELJENI NA PODATKE ZA BRZI PRIJENOS S ODGOVARAJUĆIM ZAŠTITNIM BITOVIMA (ZA LIVE PRIJENOSE) I NA ISPREPLETENE PODATKE S MANJE ZAŠTITNIH BITOVA (ZA INTERNET, ISPREPLIĆU SE DA BI SE UKLONILA SKUPNA GREŠKA, ALI TO UNOSI KAŠNJENJE)

→ **VDSL:**

- DOVODI OPTIČKI KABEL BLIZU KORISNIKA, ŠTO SMANJUJE GUŠENJE I OMOGUĆAVA VEĆE BRZINE (ČAK DO 100 Mbit/s)
- OVISNO O BLIZINI OPTIKE, IMA RAZNE NAZIVE; PODRŽAVA ASIMETRIČNI I SIMETRIČNI PRIJENOS

Elektroničke komunikacije

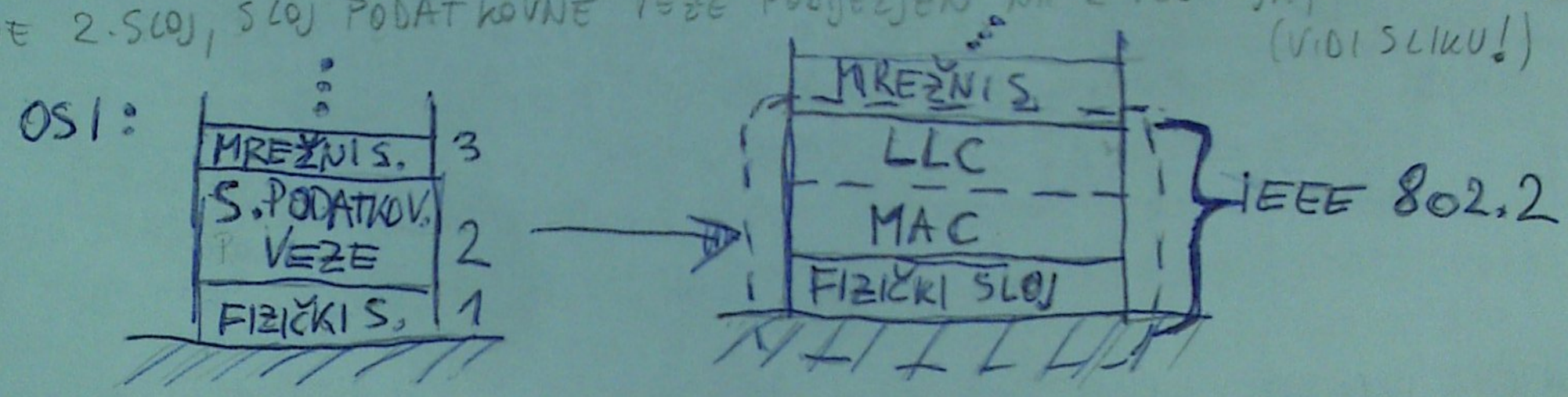
7. predavanje

by: egislav

1. DIO: LAN; Ethernet (FIXNI)

→ **općenito:**

- Local Area Network (LAN) SU MREŽE KOJE SE KORISTE ZA POVEZIVANJE UREĐAJA NA MANJEM PODRUČJU, NPR. NA FAKSU, A ODLIKUJU IH VELIKE BRZINE PRIJENOSA, MALI 'BER' i SL.
- LAN IMA NEKOLIKO VRSTA PRIJENOSA, unicast - POJEDINI PAKET SE ŠALJE PREMA 1 KORISNIKU (ADRESI), multicast - SKUPINI KORISNIKA, ILI broadcast - SVIM KORISNICIMA U MREŽI
- SVI PODACI SE ŠALJU JEDNIM MEDIJEM, U OBLIKU OKVIRA PROMJENJIVIH VELIČINA, I NIJE POTREBNO KORISTITI USMJERAVANJE PAKETA U ČVOROVIMA, VEĆ SAMO ADRESIRANJE
- IEEE NORME PROVEDENE SU BROJEVIMA 802.3 (Ethernet) i 802.11 (WLAN)
- IEEE NORME SE ODNOSE NA PRVA DVA SLOJA U 'OSI' MODELU, S TIM DA JE 2. SLOJ, SLOJ PODATKOVNE VEZE PODJELJEN NA 2 PODSLOJA, 'MAC' i 'LLC' (VIDI SLIKU!)



→ **LLC (Logical Link Control):**

- JEDNAKO DEFINIRAN ZA SVE LAN MREŽE (FIKSNE i RADIJSKE - WLAN), SLUŽI KAO SUČELJE IZMEĐU MAC PODSLOJA I MREŽNOG SLOJA, NEOVISAN O FIZIČKOM SLOJU ILI MEDIJU (PARICA, OPTIKA, PROSTOR ...)
- IZVEDEN PROGRAMSKI I NUDI SPOJNE I NESPOJNE USLUGE S ILI BEZ POTVRDE PRIMITKA OKVIRA
- SLANJE PODATAKA MEĐU POSTAJAMA

MAC (Medium Access Control):

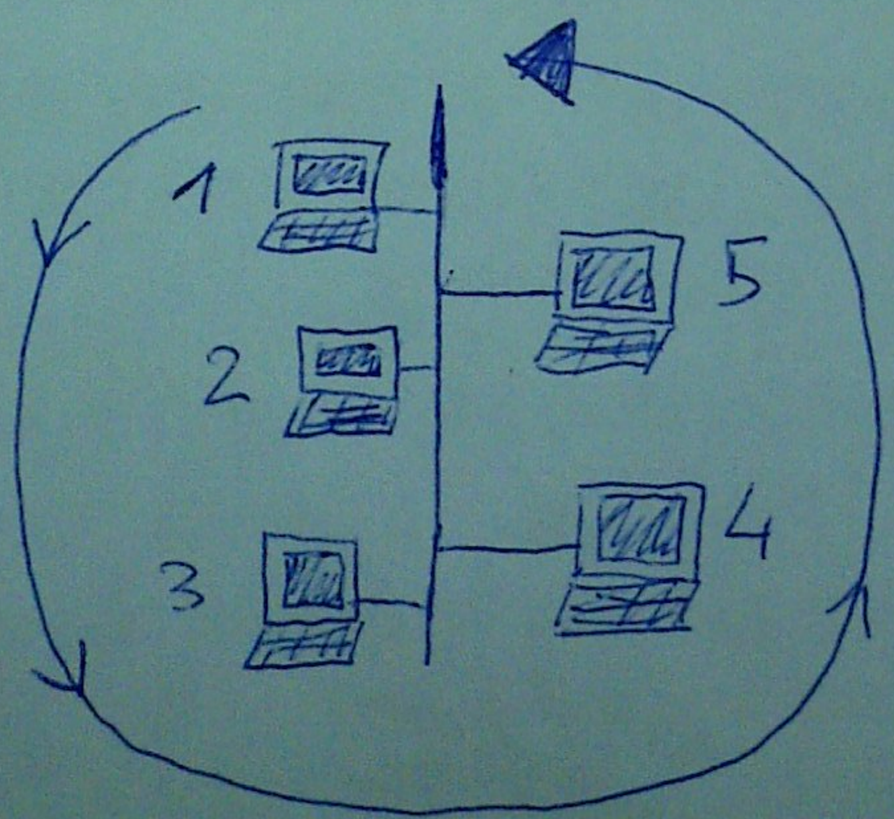
- PROVODI DODJELU FIZIČKOG MEDIJA POSTAJI, TE JE ZA SVAKI MEDIJ DEFINIRAN DRUGI, ODGOVARAJUĆI, MAC PODSLOJ
- KAKO SLUŽI ZA UPRAVLJANJE PRISTUPOM PRIJENOSNOM MEDIJU, KORISTI 2 NAČINA ZA TO: - CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)
  - token passing;

  KAKO BI VIŠE KORISNIKA KORISTILO ISTI MEDIJ

- CSMA/CD JE VIŠESTRUKI PRISTUP OSLUŠKIVANJEM NOSIOCA I DETEKCIJOM SUDARA, ŠTO ZNAČI DA MREŽNA POSTAJA OSLUŠKUJE NOSIOC, I KADA JE MEDIJ SLOBODAN POČINJE SLATI PODATKE, TE DO SUDARA MOŽE DOĆI AKO VIŠE POSTAJA ISTOVREMENO POČNE SLATI I TADA RAZLIKUJEMO 2 TIPA SUDARA, JER POSTAJA I TIJEKOM SLANJA OSLUŠKUJE MEDIJ:
  - RANI SUDAR -> POSTAJA DETEKTIRA SUDAR TIJEKOM SLANJA I STAJE SA SLANJEM OKVIRA I POČINJE PONOVO SLATI POSLIJE NEKOG PERIODA (TRAJANJA) KOJE JE SLUČAJNO ODABRANO, PA KAŽEMO DA CSMA/CD IMA STOHASTIČKO (SLUČAJNO) KAŠNJENJE
  - KASNI SUDAR -> DO SUDARA DOLAZI NAKON ŠTO JE POSTAJA PRESTALA SLATI OKVIRE, I OVAJ TIP SUDARA SE NEMOŽE DETEKTIRATI

- token passing (UPRAVLJANJE PRISTUPOM PRIJENOSNOM MEDIJU PROSLJEDIVANJEM PRISTUPNE RIJEČI) - DETERMINISTIČKA LATENCIJA (MOGUĆE ODREDITI KAŠNJENJE) - MREŽA MORA LOGIČKI FORMIRATI PRSTEN, NAKON ČEGA MREŽOM KRUŽI token; POJEDINA POSTAJA MOŽE SLATI PAKETE TEK KAD JE PRISTUPNA RIJEČ DOŠLA DO NJE, S TIM DA MOŽE SLATI PODATKE SAMO UNAPRIJED ODREĐENIM PERIODOM TRAJANJA NAKON ČEGA ŠALJE token DALJE (AKO NEMA ŠTO ZA SLATI, ODMAH GA PROSLJEDUJE); KADA JEDNA POSTAJA ŠALJE DRUGE ČEKAJU

- OBLIKOVANJE LOGIČKE TOPOLOGIJE PRSTENA NA PRIMJERU FIZIČKE TOPOLOGIJE SABIRNICE:



→ NAKON ZADNJE POSTAJE (5), SLIJEDI OPET PRVA (1), PA SE FORMIRA SLANJE PODATAKA U KRUG (PRSTEN TOPOLOGIJA) ☺

Ethernet inačice i okviri:

- VIŠE OD 90% RAČUNALA KORISTI ETHERNET KAO GLAVNU FIXNU LAN I WLAN TEHNOLOGIJU, PA KADA PRIČAMO O LAN-U, PRIČAMO O ETHERNETU! :)
- PRVA PODJELA ETHERNETA (FIKSNOG) JE S OBZIROM NA FIZIČKI MEDIJ, PA IMAMO RAZLIČITO OZNAČAVANJE INAČICA:

$$\boxed{10^{X} + \frac{BASE}{BROAD} + W + Z = 10^{X} \cdot \frac{BASE}{BROAD} \cdot W \cdot Z}$$

BRZINA PRIJENOSA PODATAKA (1 Mbit/s, 100 Mbit/s ...)

BASE/BROAD → PRIJENOS U OSNOVNOM (BASE) ILI ŠIROKOM POJASU (BROAD)

W → OZNAKA PRIJENOSNOG MEDIJA, AKO NE PIŠE NIŠTA, TADA JE TO KOAKSIJALAC (T – TWISTED PAIR; F, L, S, X – OPTIČKI KABEL)

Z → NAJVEĆA MOGUĆA DULJINA KABELA (U km)

NPR.: 1000BASE-LX-10 ⇒ 1000 Mbit/s, OSNOVNI POJAS, OPTIKA, MAX. 10 km

- ETHERNET KORISTI CSMA/CD U MAC PODSLOJU, A DRUGA PODJELA JE S OBZIROM NA TO KOJU INAČICU OKVIRA ETHERNET KORISTI (STARIJI PREMA NOVIJEM):
  - ETHERNET I → ETHERNET II → ETHERNET 802.3
- IZGLED OBLIKA OKVIRA U MAC PODSLOJU JE NAPREDOVAO, TE POSTOJE SITNE IZMJENE S ETHERNET II → 802.3, OPĆENITI OBLIK JE NA SLICI:

PREAMBULA (8 / 7+1 OKTET)	MAC ADRESA ODREDIŠTA (6 OKTETA)	MAC ADRESA IZVORA (6 OKT.)	DULJINA / VRSTA (2 OKTETA)	PODACI (46-1500 OKTETA)	FCS (4 OKTETA)

- PREAMBULA SLUŽI ZA SINKRONIZACIJU IZVORA/ODREDIŠTA; DULJINA (VRSTA) ODREĐUJE DULJINU (ILI VRSTU) OKVIRA; PODACI IMAJU ODREĐENU NAJMANJU DULJINU, KOJA SE POPUNI DO 46 OKTETA AKO IH JE MANJE; FCS JE ZAŠTITA I KODIRANJE PODATAKA (Frame Check Sum)
- SVAKO RAČUNALO IMA JEDINSTVENU MAC ADRESU KOJOM JE ADRESIRANO (2^{48} KOMBINACIJA) I KOJU PROIZVOĐAČ UPISUJE U NJEGA

Ethernet uređaji:

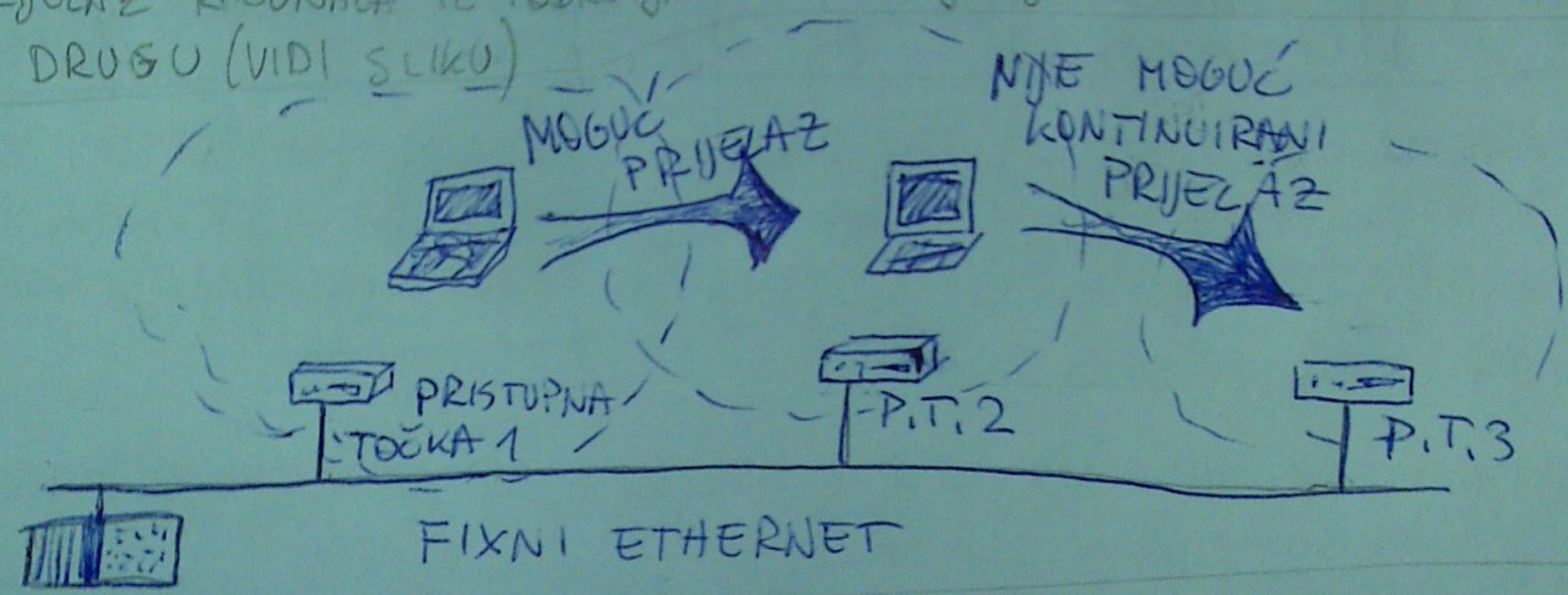
- UREĐAJE DIJELIMO S OBZIROM NA POZICIJU U MREŽI I FUNKCIJU:
  - KRAJNJI UREĐAJI → IZVORI ILI ODREDIŠTA PODATAKA
  - UREĐAJI ZA PRIJENOS PODATAKA → SAMO PROSLJEĐUJU PODATKE I POVEZUJU UREĐAJE

- UREĐAJI:
  - OBNAVLJAČ (REPETITOR) - OBNAVLJA SIGNAL ZA DALJE SLANJE
  - PARIČNI OBNAVLJAČ - ISTA STVAR, S TIM DA JE PARIČNI NAPREDNIJI, IMA NEKE DODATNE FUNKCIJE, POVEZUJE POSTAJE U MREŽU
  - MOST - POVEZUJE VIŠE MREŽA ZAJEDNO, OBNAVLJA SIGNAL, I JOŠ NEKE FUNKCIJE
  - KOMUTATOR - SLIČNO MOSTU, SAMO BRŽI, BOLJI I SKUPLJI
  - USMJERIVAČ (ROUTER) - KRAJNJA VEZA MREŽE (LANA) S OKOLINOM (DRUGIM MREŽAMA)

2. DIO: WLAN (Wireless LAN)

→ OPĆENITO:

- RADIJSKE LOKALNE MREŽE (WLAN) SE KORISTE SLOBODNIM PROSTOROM KAO MEDIJEM PROPAGIRAJUĆI ELEKTROMAGNETSKE VALOVE U RADIJSKOM ILI INFRACRVENOM (JAKO RIJETKO) SPEKTRU
- WLAN KORISTI NEKOLIKO FREKVENCIJSKIH PODRUČJA, NELICENCIRANO (OKO 2.5 GHz), ZA KOJE NIJE POTREBNA DOZVOLA, I LICENCIRANA (OKO 5, 5.5 I 17 GHz) ZA KOJE SU POTREBNE DOZVOLE
- DVIJE SU TEMELJNE SKUPINE NORMI ZA WLAN, HiperLAN (NE OBRAĐUJEMO =) I IEEE 802.11 (OBRAĐUJEMO =)
- RAČUNALA MOGU KORISTITI WLAN BEZ PRISTUPNE TOČKE, ZA MEĐUSOBNO POVEZIVANJE, ILI MOGU KORISTITI PRISTUPNE TOČKE ZA POVEZIVANJE S FIKSNIM ETHERNETOM, PRITOM PAZEĆI DA UKOLIKO SE KORISTI VIŠE PRISTUPNIH TOČKI MORAMO PAZITI DA NAM JE OMOGUĆEN KONTINUIRAN PRIJELAZ RAČUNALA IZ PODRUČJA POKRIVANJA JEDNE PRISTUPNE TOČKE U DRUGU (VIDI SLIKU)



- LLC PODSLOJ JE ZAJEDNIČKI ZA SVE VRSTE WLAN-A (KAO I KOD ETHERNETA), MAC PODSLOJI IMAJU JEDNAKE FUNKCIJE, IAKO SVAKA OD 5 VRSTI FIZIČKOG SLOJA IMA VLASTITI MAC PODSLOJ
- MAC PODSLOJ KORISTI CSMA/CA (Collision Avoidance) - IZBJEGAVANJE, A NE DETEKCIJU SUDARA (JER TO NEMOŽE U SLOBODNOM PROSTORU); ŠALJE ZAHTJEV ZA SLANJEM ODREDIŠTU I ČEKA. DOK NE DOBIJE POTVRDU ZA SLANJEM (AKO NE DOBIJE, ČEKA PA PONOVO ŠALJE ZAHTJEV)

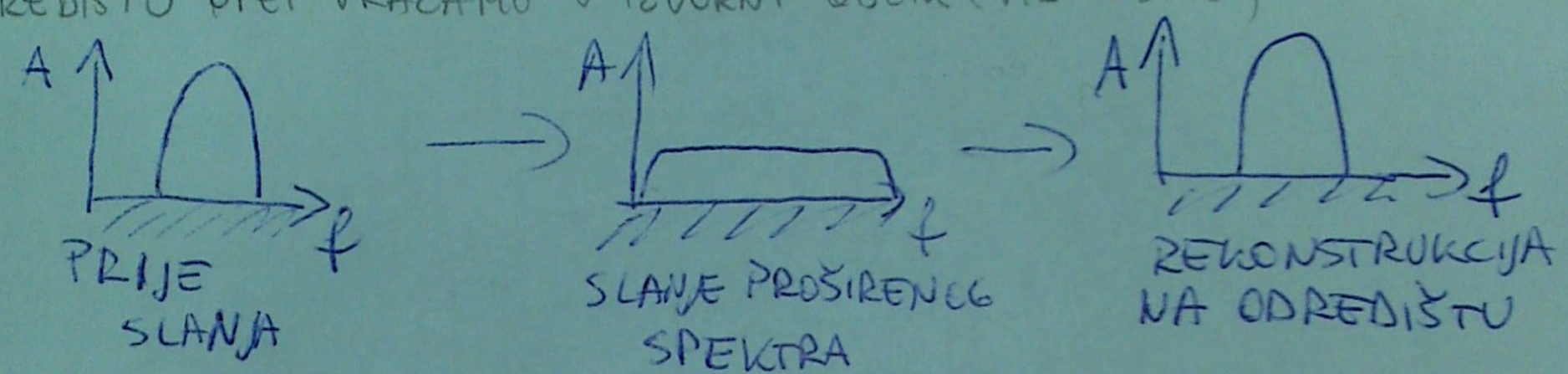
- U WLANU FIZIČKI SLOJEVI SE RAZLIKUJU TE IMAMO 5 VRSTI, REDOM PO NAPREDNOSTI I OTKRIĆU:
  - DSSS
  - FHSS
  - 802.11b

  } PRIJENOS UZ PROŠIRENJE POJASA
  - 802.11a
  - 802.11g

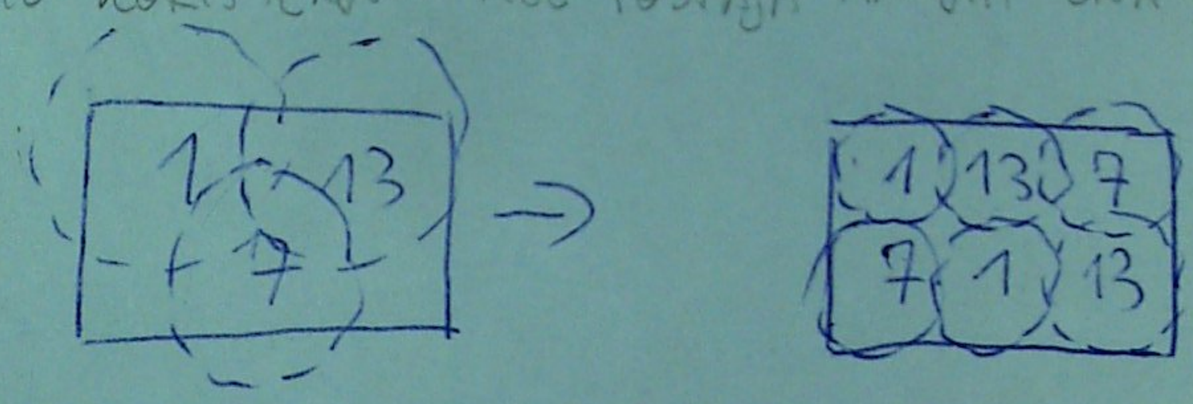
  } OFDM

→ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum):

- IZ FORMULE $C = B\log_2\left(1+\frac{S}{N}\right)$ UZ JEDNAK KAPACITET KANALA VIDIMO DA NAM JE UZ PROŠIRENJE POJASA (B) POTREBAN MANJI S/N
- KORISTIMO PRI PRIJENOSU PUNO ŠIRI POJAS OD POTREBNOG; TJ. PRIJE SLANJA PROŠIRIMO FREKV. POJAS NIZOM OD 11 CHIPNIH IMPULSA KOJI SU USKI U VREM. DOMENI (ZNAČI ŠIROKI U FREKV.), TAKO ŠALJEMO I NA ODREDIŠTU OPET VRAĆAMO U IZVORNI OBLIK (VIDI SLIKU)



- U ŽELJENOM FREKV. PODRUČJU DSSS-a IMAMO VIŠE KANALA NA RASPOLAGANJU, ALI SE ONI PREKLAPAJU PA IH NA NEKOM PODRUČJU KORISTIMO MAX. 3
- SVAKA PRISTUPNA POSTAJA IMA SVOJ KANAL, PODRUČJA POKRIVANJA POJEDINIH POSTAJA SE TREBAJU POKLAPATI, A BOLJU POKRIVENOST POSTIŽEMO KORIŠTENJEM VIŠE POSTAJA MANJIH SNAGA (SLIKA)



PAZIMO DA SUSJEDNE POSTAJE NE KORISTE ISTI KANAL!

→ FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum):

- RJEŠAVA PROBLEM MALOG BROJA MOGUĆIH POSTAJA U SUSJEDSTVU KAO KOD DSSS-a, KORIŠTENJEM PUNO VEĆEG BROJA KANALA NA TAKOBER PROŠIRENOM FREKVENCIJSKOM POJASU (SPEKTRU)
- SVAKA POSTAJA GENERIRA PSEUDOSLUČAJNI SLIJED KOJI DEFINIRA BROJ KANALA, I TADA POSTAJA SKAČE S KANALA NA KANAL U VREMENU, NE ZADRŽAVAJUĆI SE NA JEDNOM PREDUGO, I KORISTEĆI NEKI MINIMALNI RAZMAK IZMEĐU SLIJEDNIH KANALA (NE SMIJU BITI PREBLIZU)

- POVEĆAN BROJ POSTAJA U SUSJEDSTVU, A VJEROJATNOST DA SUSJEDNE POSTAJE SKOČE NA ISTO FREKV. PODRUČJE (KANAL) JE JAKO MALA

→ 802.11 b:

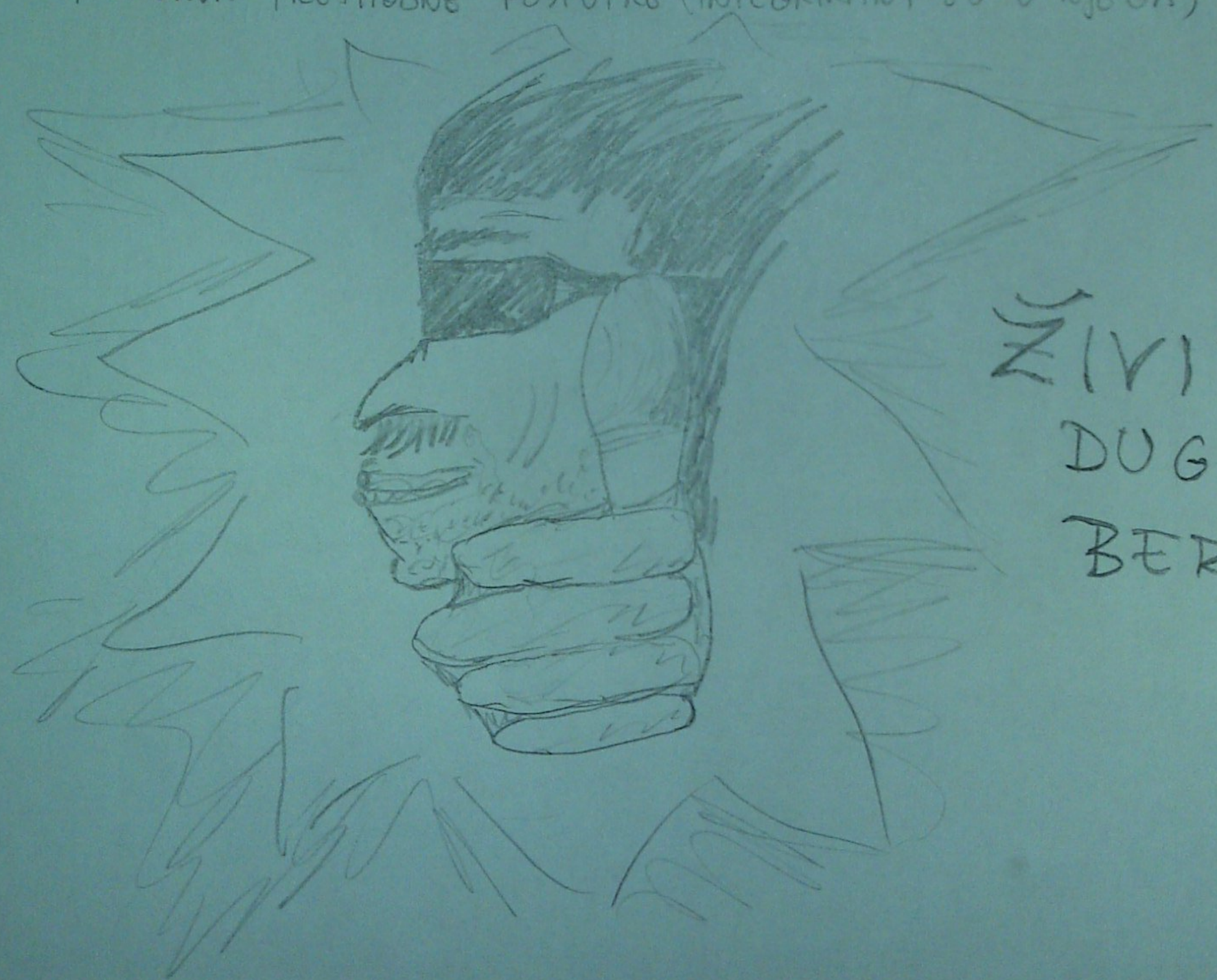
- SLIČAN DSSS-u, S TIM DA KORISTI 8-CHIPNE IMPULSE, PA JE BRZINA S OBZIROM NA DSSS POVEĆANA 11/8 = 1.375 PUTA (MANJI JE FAKTOR PROŠIRENJA POJASA, PA SU POTREBNE VEĆE BRZINE)
- U NJEMU JE INTEGRIRAN I DSSS (PODRŽAVA I NJEGOVE BRZINE)

→ 802.11 a:

- KORISTI DRUGO FREKV. PODRUČJE OD 802.11 b, TE KORISTI 8, A NE 3 KANALA
- OSIM TOGA KORISTI OFDM POSTUPAK PA SU BRZINE VIŠESTRUKO VEĆE

→ 802.11 g:

- KORISTI FREKV. PODRUČJE OD 802.11 b (JER JE NIŽE, ŠTO ZNAČI DA IMA MANJE GUŠENJE I POVOLJNIJE JE), DOK JE SVE OSTALO JEDNAKO KAO I KOD 802.11a
- PODRŽAVA PRETHODNE POSTUPKE (INTEGRIRANI SU U NJEGA)



ŽIVITE DUGO I BERIĆETNO!

Elektroničke komunikacije

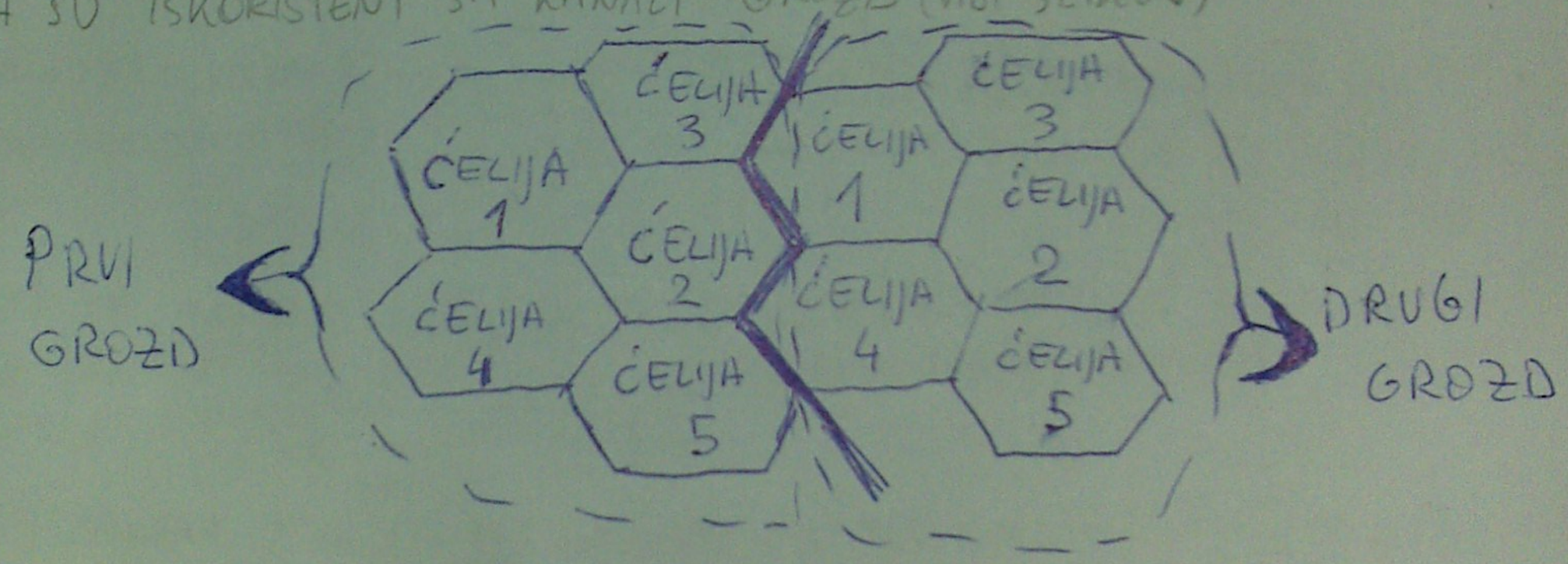
8. predavanje

by: egislav

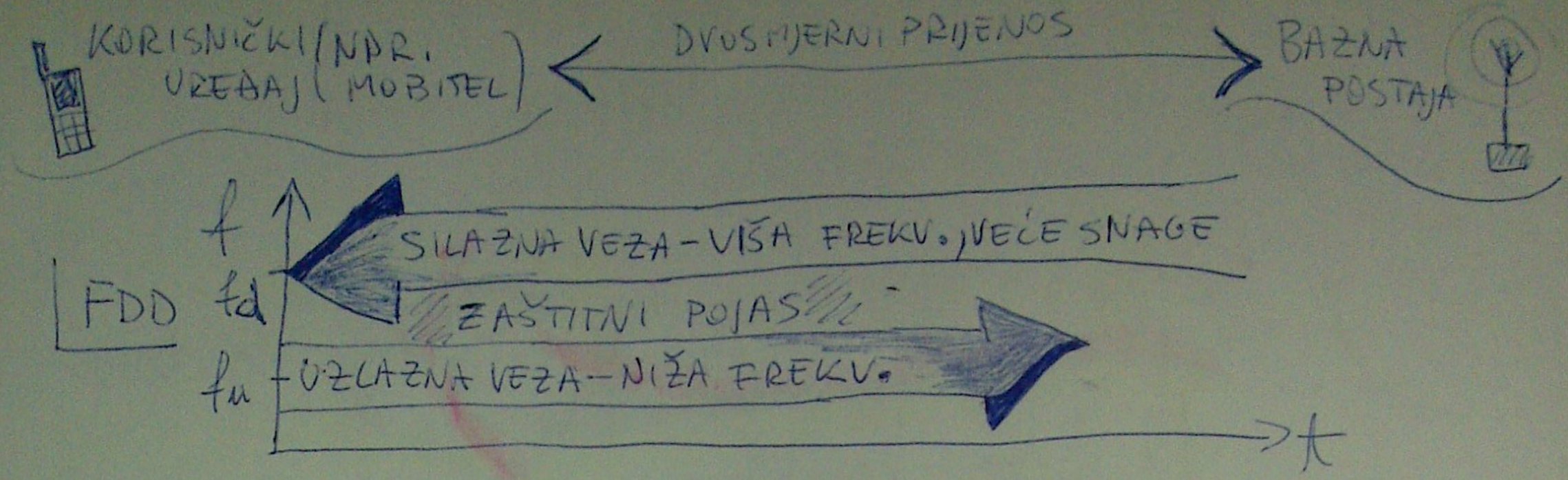
Mobilne komunikacije

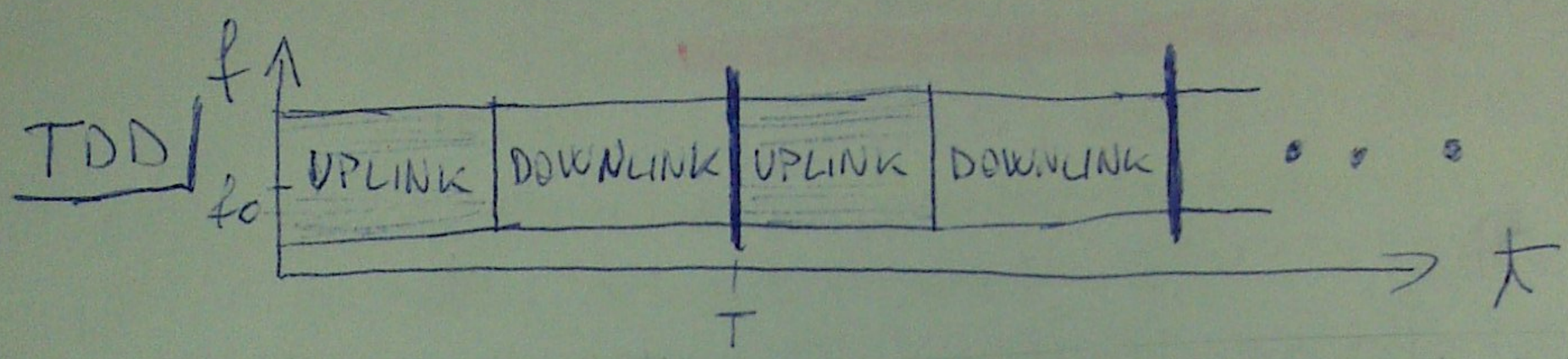
→ **općenito, multipleksiranje, GSM:**

- KORISNICI SU POKRETNI, A SUSTAV JE ORGANIZIRAN U BAZNE POSTAJE (SLIČNO WLAN-u), S TIM DA SVAKA BAZNA POST. IMA SVOJ KANAL, DA SUSJEDNE POSTAJE NE KORISTE ISTI KANAL, ALI ISTO TAKO DA IM SE PODRUČJA POKRIVANJA PREKLAPAJU KAKO BI BIO OMOGUĆEN KONTINUIRAN PRIJELAZ KORISNIKA IZ PODRUČJA JEDNE B.P. U DRUGU
- PODRUČJA POKRIVANJA JEDNE B.P. NAZIVAMO ĆELIJA, A SKUP ĆELIJA KOD KOJIH SU ISKORIŠTENI SVI KANALI - GROZD (VIDI SLIKU!)



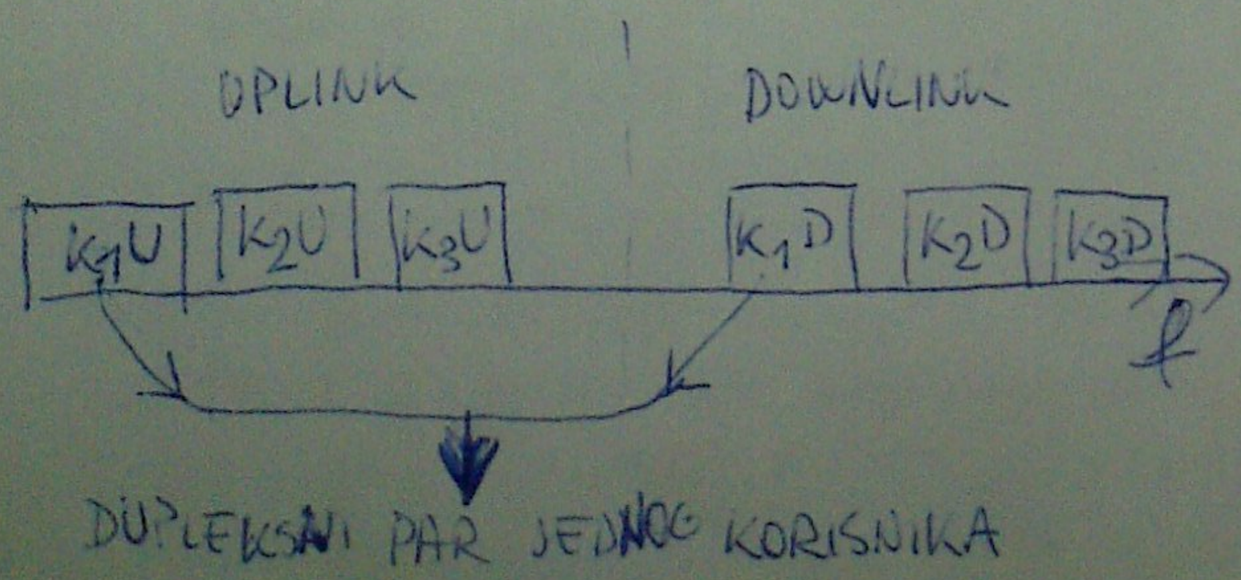
- KAKO POJEDINI KORISNIČKI UREĐAJ (MOBITEL NPR.) MORA SLATI I PRIMATI PODATKE (I GOVOR) NUŽNO JE MULTIPLEKSIRANJE KANALA ZA POJEDINI UREĐAJ, S TIM DA KAŽEMO DA JE OVO DUPLEKSNO MULTIPLEKSIRANJE JER SILAZNA VEZA (downlink) I UZLAZNA VEZA (uplink) TVORE DUPLEXNI PAR
- DUPLEXNI PAR MOŽEMO TVORITI MULTIPLEKSIRANJEM PO VREMENU, TDD (Time Division Duplex), ILI PO FREKVENCIJI, FDD (Frequency Division Duplex)
- TDD DIJELI VREMENSKE PERIODE NA UZLAZNU I SILAZNU VEZU (NA JEDNOJ FREKV.), DOK FDD DIJELI FREKV. PODRUČJE POJEDINOG KORISNIKA NA DOWNLINK I UPLINK, S TIM DA JE UPLINK NA NIŽOJ FREKV. JER KORISNIČKI UREĐAJ KORISTI MANJE SNAGE, A NA NIŽIM FREKV. JE MANJE GUŠENJE (KAO I DSL)



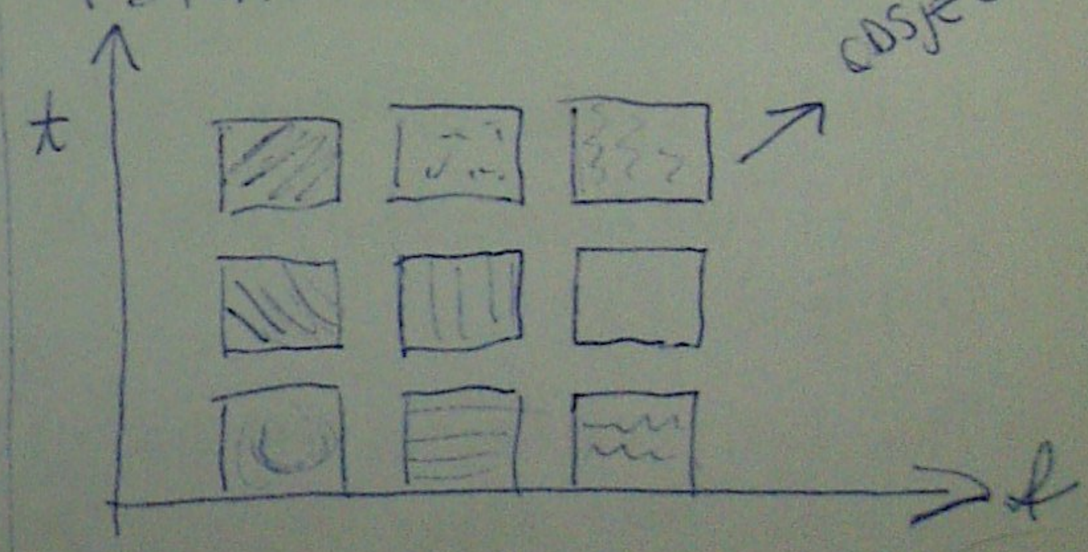


- OSIM ŠTO POJEDINOM KORISNIKU MORAMO OMOGUĆITI DOWNLINK I UPLINK, PA PROVODIMO MULTIPLEKSIRANJE I TVORIMO DUPLEX-PAROVE, MORAMO OMOGUĆITI DA SE ISTIM KANALOM KORISTI VIŠE KORISNIKA, PA JE NUŽNO I MULTIPLEX. PO BROJU KORISNIKA (Multiple Access)
- IMAMO 3 INAČICE PRISTUPANJU VIŠE KORISNIKA; FDMA, TDMA, CDMA
- FDMA (Frequency Division MA) → DODJELJENI DUPLEXI FREKVENCIJA SE DIJELE NA KORISNIKE (FREKVENCIJSKA PODJELA), SVAKOM KORISNIKU NJEGOV DUPLEXNI PAR
- TDMA (Time Division MA) → NIJE ČISTO DIJELJENJE VREMENA, VEĆ SE I FREKV. POJAS DIJELI, TVORI SE MATRICA (VRIJEME-FREKVENCIJA) I SVAKI KORISNIK IMA SVOJ ODSJEČAK
- CDMA (Code Division MA) → KORISNICI KORISTE ISTO FREKVENCIJSKO PODRUČJE (POJAS), A DIGITALNE INFORMACIJE SE MODULIRAJU UZ UPOTRABU KODOVA, PO PRINCIPU - SVAKOM KORISNIKU NJEGOV KOD, PA SE TAKO ODVAJAJU PODACI ZA SVAKOG KORISNIKA; OSIM TOGA KORISTI SE I PROŠIRENJE SPEKTRA (KAO KOD WLAN DSSS-a)

FDMA:



TDMA:

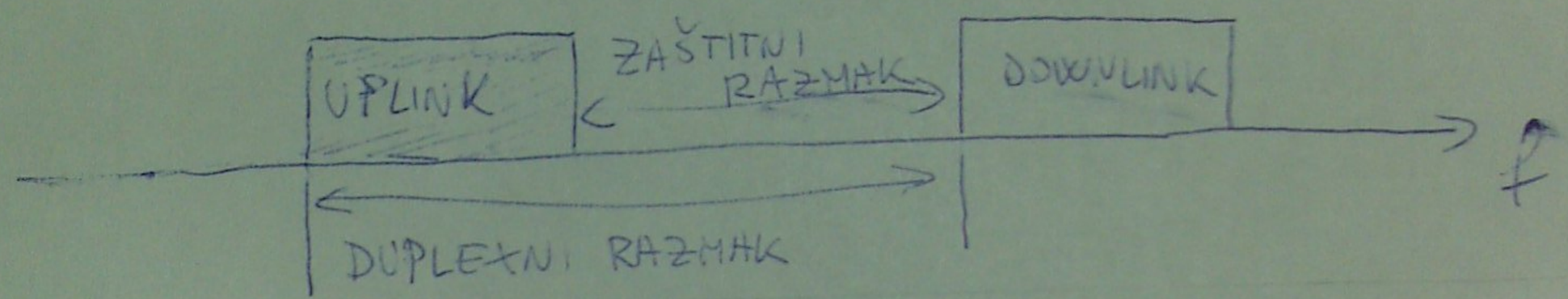


- 3 GENERACIJE RAZVOJA MOBILNIH KOMUNIKACIJA:
  - 1G ⇒ FDMA TEHNOLOGIJA FM MODULACIJA
  - 2G ⇒ GSM (Global System for Mobile communications) - VEĆE BRZINE, FDMA/TDMA TEHNOLOGIJA S GMSK MODULACIJOM; S TIM DA SE VRIJEME DIJELI NA 8 ODSJEČAKA, PA JE UKUPAN MAXIMALNI BROJ ISTOVREMENIH POZIVA NA NEKOM PODRUČJU:

$$\boxed{\text{BROJ ĆELIJA} \times \text{BROJ FREKV. PO ĆELIJI} \times 8}$$

  - 3G - UMTS ⇒ WCDMA TEHNOLOGIJA (Wide CDMA) UZ TDD ILI FDD; JOŠ VEĆE BRZINE

- ONO ŠTO JE VAŽNO JE DA KOD SVAKOG SUSTAVA (OSIM PRVIH GENERACIJA GSM-a) BRZINE PADAJU S POVEĆANJEM MOBILNOSTI KORISNIKA I PODRUČJEM POKRIVANJA
- DEFINIRA SE ZAŠTITNI RAZMAK KAO RAZMAK IZMEĐU KRAJA UPLINKA I DOWNLINKA, TE DUPLEXNI RAZMAK - IZMEĐU DUPLEXNIH PAROVA POJEDINIH KORISNIKA (ZNAČI NPR. IZMEĐU POČETKA UPLINKA I DOWNLINKA) (VIDI SLIKU :-)



- BOLJA POKRIVENOST I POVEĆANJE BROJA KORISNIKA SE KAO I KOD WLAN-a OSTVARUJE SMANJENJEM SNAGE I POVEĆANJEM BROJA POSTAJA

→ Propisi:

- PUNO JE PROPISA I ZAKONA TE NORMI VEZANO UZ ELEKTRONIČKE KOMUNIKACIJE; A DIJELE SE NA:
  - PROPISI TEHNIČKE VRSTE → PRIMJENA NIJE OBAVEZNA, ALI JE KORISNA I POŽELJNA
  - PROPISI ADMINISTRATIVNE VRSTE → PRIMJENA JE OBAVEZNA I ZAKONSKI REGULIRANA
- MNOGO JE VLADINIH I SUJETSKIH ORGANIZACIJA KOJE SE BAVE PROPISIMA U ELEKTR. KOMUNIKACIJAMA, A NAJVAŽNIJA JE ITU (International Telecommunication Union)