

# Informacije i komunikacije

- priručnik -

(nelektorirano, djelomicno recenzirano)

Josip Rasinec, dipl.ing.

## SADRŽAJ:

<b>1. OSNOVNI POJMOVI.....</b>	<b>7</b>
<i>1.1. Informacije i komunikacije.....</i>	<i>7</i>
<i>1.2. Vrste informacija.....</i>	<i>8</i>
<i>1.3. Nacionalna TK mreža.....</i>	<i>10</i>
<i>1.4. Pitanja i zadaci za ponavljanje.....</i>	<i>11</i>
<b>2. VRSTE INFORMACIJA I NJIHOVA PRETVORBA.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Zvuk.....</b>	<b>12</b>
2.1.1. Osnovni pojmovi o zvuku.....	12
2.1.2. Slušni proces.....	17
2.1.3. Mikrofon.....	20
2.1.4. Zvucnik.....	28
2.1.5. Pitanja i zadaci.....	32
<b>2.2. Slika.....</b>	<b>33</b>
2.2.1. Osobine vida i osnovne svjetlosne velicine.....	33
2.2.2. Osnove kolorimetrije.....	35
2.2.3. Opticko elektricni pretvaraci.....	38
2.3. Pitanja i zadaci.....	45
<b>3. OBRADA SIGNALA I MULTIPLEKSNI SUSTAVI.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1. Modulacija analognim signalom.....</b>	<b>46</b>
3.1.1. Amplitudna modulacija (AM).....	47
3.1.2. Spektralni prikaz AM signala.....	48
3.1.3. Frekvencijska modulacija (FM).....	51
3.1.4. Fazna modulacija.....	53
3.1.5. Kvadraturna amplitudna modulacija QAM.....	54
3.1.6. Pulsno-kodna modulacija (PCM).....	55
3.1.7. Delta modulacija (DM).....	58
3.1.8. Diskretna modulacija sinusnog signala.....	59
<b>3.2. Multipleksni sustavi.....</b>	<b>63</b>
3.2.1. Frekvencijski multipleks.....	63
3.2.2. TDM-vremenski multipleks.....	64
3.2.3. ISDN.....	67
3.3. Pitanja i zadaci:.....	69
<b>4. PRIJENOS SIGNALA.....</b>	<b>70</b>
<b>4.1. Prijenosni vodovi.....</b>	<b>70</b>
4.1.1. Simetricni kabelski vodovi.....	70
4.1.2. Nesimetricni kabelski vodovi.....	72
4.1.3. Valovodi.....	72
4.1.4. Svjetlovodi.....	73

4.2. <i>Opticke komunikacije</i> .....	75
4.2.1. Izvori svjetlosti u optickim komunikacijama .....	76
4.2.2. Opticki prijemnici i opticki repetitori .....	79
4.3. <i>Radiodifuzni sustav</i> .....	81
4.3.1. Podjela frekvencija u radiodifuziji .....	81
4.3.2. Rasprostiranje elektromagnetskog vala .....	82
4.3.3. Parametri antena.....	84
4.3.4. Podjela i vrste antena.....	88
4.4. Pitanja i zadaci:.....	91
<b>5. TERMINALI U TELEKOMUNIKACIJAMA.....</b>	<b>92</b>
5.1. <i>Podjela terminala</i> .....	92
5.2. <i>Automatski telefonski aparat</i> .....	93
5.2.1. Automatski telefonski aparat s impulsnim biranjem.....	93
5.2.2. Automatski telefonski aparat s tonskim biranjem.....	94
5.2.3. Digitalni telefonski aparat.....	96
5.4. <i>Faksimil</i> .....	99
5.5. <i>Terminali za prijenos podataka</i> .....	101
5.5.1. Osnovni dijelovi racunala u ulozi terminala za prijenos podataka. ....	102
5.5.2. Tipovi mreža .....	102
5.5.3. Oblici povezivanja racunala u mreže .....	104
5.5.6. Pisaci.....	107
5.5.6. Modemi .....	109
5.6. <i>TV prijenos pokretne slike</i> .....	111
5.6.1. Analiza slike i princip proreda .....	111
5.6.2. Krominantni koordinatni dijagram .....	115
5.6.3. Signali boje .....	117
5.6.4. Sinkronizacijski impulsi.....	119
5.7. Pitanja i zadaci:.....	121
<b>6. POKRETNE MREŽE.....</b>	<b>121</b>
6.2. <i>Struktura GSM mreže</i> .....	122
6.3. <i>Pokrivanje radiosignalom</i> .....	125
6.4. <i>Struktura GSM kanala</i> .....	127
Literatura:.....	130



*Uvod:*

*Teško je danas reci tko je prvi upotrijebio sintagmu o svijetu kao globalnom selu.*

*Neposredan povod bez sumnje je bila opća povezanost i najudaljenijih krajeva na Zemlji vrlo učinkovitom MREŽOM kojom neprekidno tijekom 24 sata struji nevjerojatna količina svima dostupnih INFORMACIJA.*

*Biti informiran stoga više nije nicija privilegija već stvar osobnog izbora. A to je, kao što je uvijek i bilo, pozitivno stanje, bilo pojedinca ili grupe. U tom smislu je i ovaj udžbenik skroman doprinos informiranosti o komunikacijama i informacijama, ali ne sa društvenog već sa tehničkog aspekta.*

*Najprije su navedeni osnovni pojmovi o informaciji, signalu i osnovama njihovog prijenosa.*

*U nastavku se govori o vrstama informacija te o načinima njihove obrade i sredstvima prijenosa.*

*U dijelu o terminalima dotaknuti su i sadržaji koji se odnose na transfer podataka i računala u ulozima terminala.*

*Na kraju je opisan jedan od najpropulzivnijih i najpopularnijih, svima dostupan sustav za prijenos informacija – sustav mobilnih komunikacija. Materijal je namjenjen učenicima srednjih elektrotehničkih škola koje školuju tehničare za elektroniku, informatiku i slična zanimanja te im nudi elementarna znanja iz jednog širokog i posljednjih desetljeća najdinamičnijeg područja ljudske aktivnosti.*

*Stoga on nije pretenciozan, već naprotiv on je samo prolazna stanica svima koji se u svojem obrazovanju neminovno moraju sresti sa ovim sadržajima. Budući da udžbenik do sada nije postojao, učenicima će biti glavni oslonac. Posebno se to odnosi na one koji su upućeni na samostalan rad, odraslima i sl.*

*Kolegama nastavnicima poslužiti će kao vodič na temelju kojega uz vlastite pripreme i široke mogućnosti nadgradnje danih sadržaja u drugoj literaturi ili medijima, mogu biti značajna pomoć.*

*Ukoliko jedni i drugi spoznaju da im je poslužio kao temelj daljnjeg napretka, to će biti veliko priznanje autoru.*

*Struktura priručnika temelji se na okvirnom programu predmeta «Informacije i komunikacije», a odstupanja nisu velika.*

*Ponikao je iz osobnih nastavnih priprema koje su proizašle iz višegodišnjih bilježaka koje su zatecene u Tehničkoj školi Rudera Boškovića te je na taj način i sam priručnik baština Škole i ovdje neimenovanih kolegica i kolega. Ovim putem odajem im priznanje i iskreno im zahvaljujem.*

*Autor*



# 1. OSNOVNI POJMOVI

## 1.1. Informacije i komunikacije

Pojmovi kao što su informiranost i komunikativnost su pozitivne, društveno korisne i vrlo poželjne osobine ili stanja u kojima se pojedinac može naci. **Informacija** je riječ latinskog porijekla, a znači obavijest, priopćenje, podatak ili poruka.

Riječ **komunikacija** također ima korijen u latinskom jeziku, a znači izlaganje ili općenje.

To su dakle socijalno - psihološke kategorije koje nam snažno i znakovito ukazuju i na pojmove informacija i komunikacija sa aspekta koji nas zapravo interesira. To je tehnički, ali u značajnoj mjeri i matematički aspekt.

Informacijom se, u najširem smislu, bavi područje elektronike koje se zove **telekomunikacije**.

**Pod pojmom informacija podrazumijevamo podatak o rezultatu nekog događaja koji se treba dogoditi ili se je već dogodio, ali čiji ishod nije bio poznat.** Informacija dakle uklanja neizvjesnost.

Informacija je mjerljiva veličina, a neposredno je vezana uz vjerojatnost nastanka događaja o kojem nas obavještava.

Tako kažemo da neka obavijest nosi veću količinu informacija, ako je manja vjerojatnost nastanka događaja o kojem nas obavještava.

Tako obavijest da će određenog ljetnog dana na primjer 15. srpnja pasti u Zagrebu snijeg, nosi u sebi veću količinu informacija od obavijesti da će snijeg pasti 15. siječnja, pošto je vjerojatnost nastanka prvog događaja vrlo mala, dok je vjerojatnost nastanka drugog događaja sasvim izvjesna.

**Signal** sam po sebi nije ujedno i informacija. Zamislimo niz dimnih signala koje šalje jedan Indijanac drugome. Izvjesno je da su to **signali**, ali oni za nas koji ih ne razumijemo ne predstavljaju nikakvu informaciju. Sigurno je jedno: **signalima se informacije prenose**.

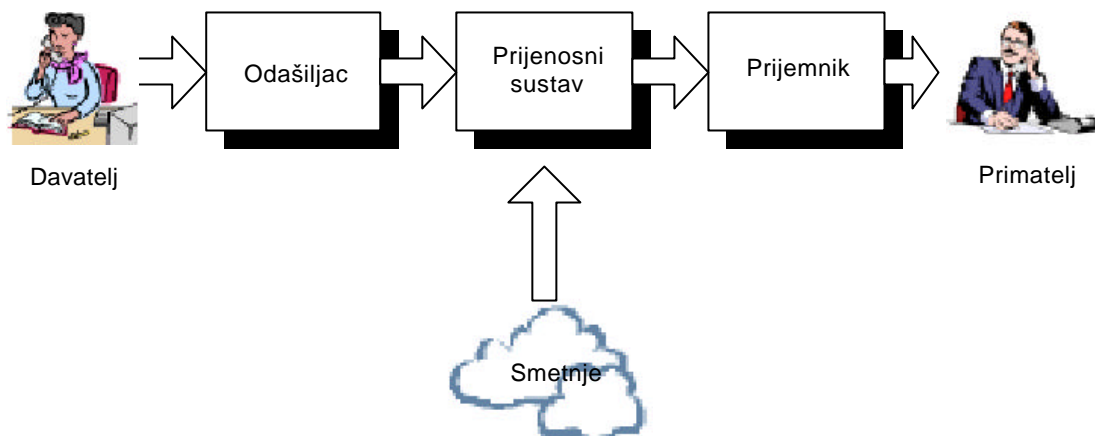
Štoviše, sam govor, pismo ili koji drugi način komuniciranja sastavljen je od znakova koje razumiju obje strane i koje uvjetno možemo nazvati signalima. Električni signal je taj koji nas posebno zanima. On je neposredni nositelj informacije, ali ne i jedini.

Kad govorimo u slušalicu telefonskog aparata, proizvodimo našim govornim organima zvučnu informaciju koja se pretvara u električni signal koji u sebi sadrži našu govornu informaciju.

Sada se već vidi da pored informacije i signala mora postojati i nekakav sustav koji će baratati sa informacijom i signalom, vršiti njihovu obradu, prilagodbu i prijenos.

**Komunikacijski sustav** sadrži skup uređaja i sredinu (medij) koji omogućavaju prijenos signala koji u sebi sadrži informaciju, od njenog davatelja do primatelja.

Blok shema komunikacijskog sustava prikazana je na slici 1.



Slika 1. Blok shema komunikacijskog sustava

Odašiljac je uređaj koji vrši obradu informacije i stvara signal.

Prijemnik je uređaj koji prima signal i uspostavlja izvornu informaciju.

Izvor smetnji je neminovna pojava u svakom komunikacijskom sustavu, a njegovo djelovanje očituje se u tome što primljena informacija nije istovjetna sa predanom informacijom. On utiče na vjernost prijenosa.

Prijenosni sustav predstavlja sredstvo, tj. medij po kojem se signal prenosi. To mogu biti električni vodici u različitim oblicima, svjetlovodi, a vrlo često to je i slobodni prostor.

Tehnički oblikovan prijenosni sustav nazivamo **komunikacijskim kanalom**.

**To je skup uređaja koji osiguravaju prijenos informacije po zajedničkom prijenosnom putu.**

## 1.2. Vrste informacija

Različite vrste informacija možemo grupirati u pet osnovnih grupa:

- zvučna informacija
- nepokretna slika
- pokretna slika
- telekomanda, telemetrija i telesignalizacija
- podaci

**a) Zvucna informacija** podrazumijeva govor i muziku kao najzastupljenije zvučne informacije. U procesu prijenosa potrebno je izvršiti pretvorbu zvuka u električni signal, a na odredištu ponovno pretvoriti električni signal u zvuk.

Prijenos govora i muzike na daljinu naziva se **telefonija**.

To je svima dobro poznati pojam koji obuhvata prijenos govora preko uređaja kojeg nazivamo telefon, odgovarajućeg prijenosnog medija (žice, svjetlovod) te uređaja koji vrše adekvatnu obradu i distribuciju (telefonske centrale).

Prijenos govora telefonom ima posebne karakteristike koje ga razlikuju od prijenosa govora ili muzike radijem.

Naš govor sadrži tiše i glasnije tonove, različita slova, različite frekvencije tj. više i niže tonove, čiji je raspon od 16 Hz do 16 KHz.

Telefonski sustav, međutim, ima takve karakteristike da prenosi samo frekvencije u rasponu od 300 Hz do 3,4 KHz, što je dovoljno za razumljiv prijenos govora, ali ne i za kvalitetan prijenos muzike.

Prijenos muzike na daljinu najčešće se vrši putem radija, ali to nije jedini način.

Smatra se da je za kvalitetan prijenos muzike potrebno osigurati prijenos tonova u rasponu od 20 Hz do 20 KHz.

**b) Nepokretna i pokretna slika** se uobičajeno prenose televizijom, u zadnje vrijeme sve više i računalom. Za prijenos slike potrebno je izvršiti pretvorbu slike u električni signal, a na odredištu ponovno pretvoriti električni signal u sliku.

Za prijenos nepokretne slike koristimo također telefaks, pri čemu imamo na umu da se električni signal dobiva iz predloška (slike na papiru) i da se na odredištu slika ponovno rekonstruira također na papiru.

Za prijenos pokretne slike potreban je raspon frekvencija od 5,0 do 8 MHz. Prijenos slike preko telefaksa moguć je u području frekvencije telefonskog kanala tj. od 300 Hz do 3,4 KHz.

**c) Telekomanda, telemetrija i telesignalizacija** su područja gdje se vrši prijenos informacija iz nekog unaprijed zadanog skupa informacija, s ciljem da se na daljinu upravlja nekim procesima. Od najvećeg značaja ovdje je pouzdanost u radu sustava.

**d) Prijenos podataka** je prijenos informacija za koji se u najširem smislu koriste računala, pa su stoga te informacije oblikovane na način koji računalo prihvaća, a to je diskretni oblik električnog signala.

Zbog toga je za prijenos ostalih vrsta informacija, od kojih je najveći broj analogne prirode, potrebno provesti **analogno-digitalnu pretvorbu** koja se vrši na razini električnog signala.

Prijenos podataka kao oblik prijenosa svih vrsta informacija preuzima dominantnu ulogu.

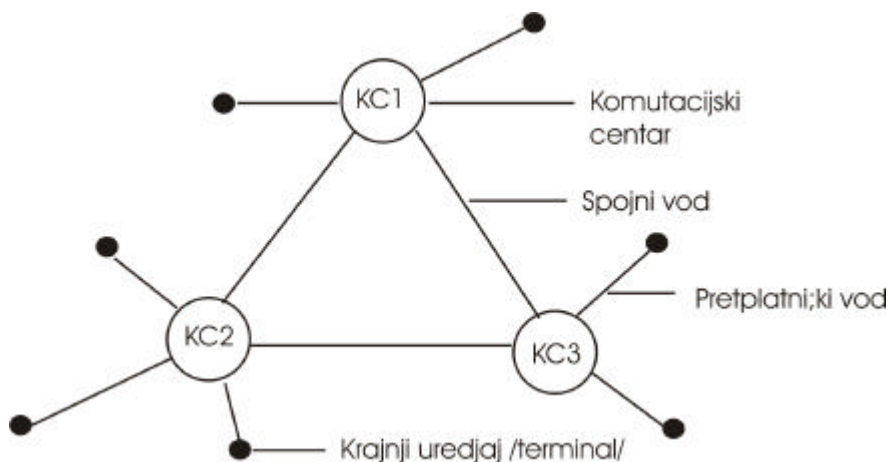
### 1.3. Nacionalna TK mreža

Blok shema općeg komunikacijskog sustava ne daje nam potpunu sliku konkretnog sustava kojim se usluge pružaju, a koju nazivamo TK mrežom ili telefonskom mrežom.

Osnovni zadatak telefonske mreže je da omogući korisnicima uspostavu, održavanje i prekid telefonske veze.

Javnu telefonsku mrežu nazivamo i PSTN mreža (*Public Switched Telephone Network*- javna komutirana telefonska mreža) i osnovna joj je namjena održavanje govorne komunikacije.

Prijenos ostalih vrsta informacija obavlja se tako da se one modemima pretvaraju u govorni opseg.



Slika 2: Blok shema TK mreže (telefonske mreže)

- Komutacijski centar je opći naziv, pod kojim uglavnom podrazumijevamo telefonsku centralu (TC).
- Krajnji uređaji (terminali) su uređaji koji su u neposrednom kontaktu sa korisnikom i služe za prijam i/ili predaju informacija.
- Pretplatnički vod – vod koji povezuje krajnje uređaje s komutacijskim centrom.
- Spojni vod – vod koji povezuje međusobno komutacijske centre.

**Komutacija** je usmjeravanje toka informacija te prespajanje i uspostava veze između korisnika na unaprijed utvrđeni način.

**Komutacijski centri** u tom smislu imaju zadatak da prihvate poziv i da preusmjere komunikaciju na željeno odredište.

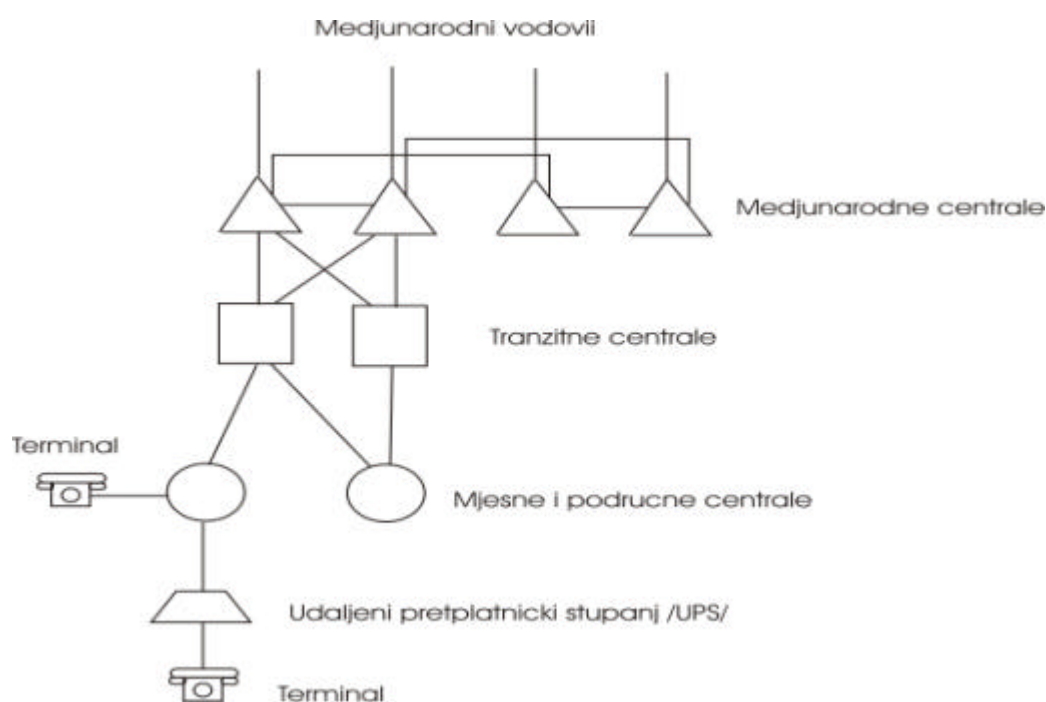
Nacionalna TK mreža podijeljena je na 20 županijskih područja i 4 područja međunarodnih centrala.

Unutar županijskih područja nalazimo pristupna područja na teritoriji jedne ili više općina.

Područje međunarodne centrale obuhvaća više županijskih područja.

Na županijskom području nalazimo tranzitne centrale koje usmjeravaju promet samog područja ali i prema međunarodnoj centrali.

Međunarodne centrale nalaze se u Zagrebu, Splitu, Rijeci i Osijeku



Slika 3: Pojednostavljena blok shema nacionalne TK mreže

#### 1.4. Pitanja i zadaci za ponavljanje

1. Što je informacija?
2. U kakvoj su vezi signal i informacija
3. Što čini jedan komunikacijski sustav?
4. Što je komunikacijski kanal?
5. Navedi obavijesti o dva proizvoljna događaja od kojih jedna sadrži više informacija, a druga manje.
6. Koje osnovne grupe informacija razlikujemo?
7. Koji raspon frekvencija prenosi telefonski sustav?

8. Koja je uloga komutacijskog sustava i gdje se on nalazi?

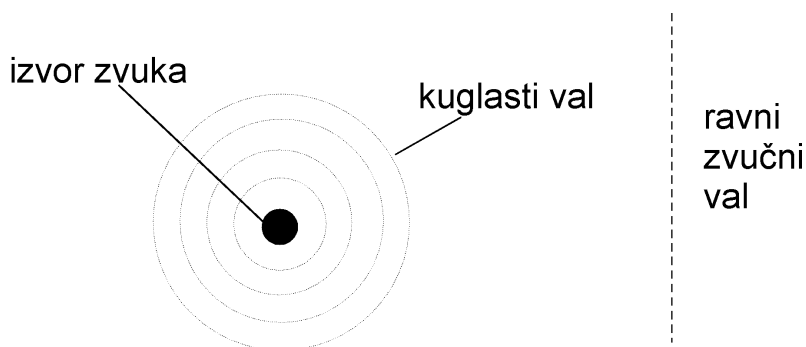
## 2. VRSTE INFORMACIJA I NJIHOVA PRETVORBA

### 2.1. Zvuk

#### 2.1.1. Osnovni pojmovi o zvuku

Zvuk nastaje titranjem čestica zraka oko ravnotežnog položaja, uslijed čega dolazi do promjene (oscilacija) tlaka zraka  $p$  oko vrijednosti atmosferskog tlaka  $p_0$ . Frekvencije tih titraja zamjećuje ljudsko uho i one se nalaze u području od 16 Hz do 16 KHz. Zvuk se ne širi sam po sebi već se titranje prenosi sa čestice na česticu. Iz toga proizlazi da u vakuumu nije moguće rasprostiranje zvučnih valova.

*Zvučni val u blizini izvora zvuka je kuglastog oblika, a na većoj udaljenosti, ima izgled ravnog vala (slika*



Slika 5: Širenje zvuka u obliku vala

Osnovne karakteristike zvuka:

#### **Širenje zvuka**

*Zvučni val se širi na dva moguća načina:*

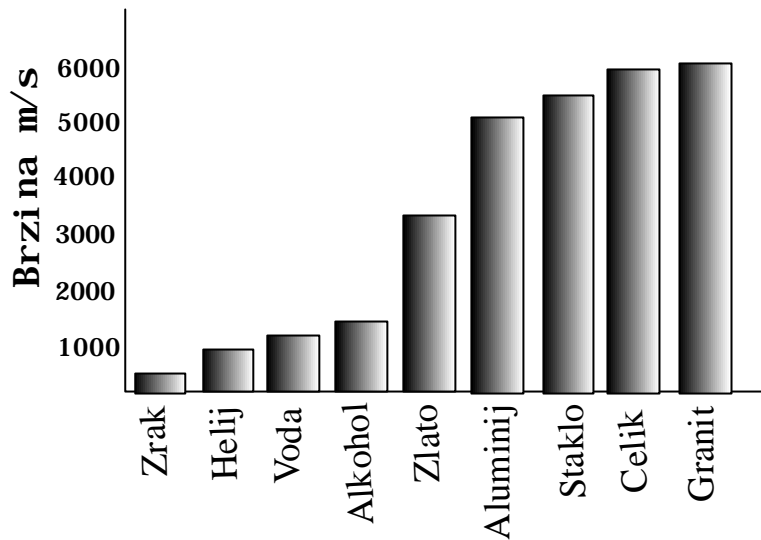
*Kao longitudinalni val, gdje čestice titraju u smjeru širenja vala, što je slučaj u zraku, plinovima i u vodi.*

*Kao transverzalni val, gdje čestice materije titraju okomito na smjer širenja vala, što je slučaj kod cvrstih tvari.*

#### **Brzina zvuka $c$**

*To je brzina kojom se određena točka vala pomice kroz prostor. Ovisi o karakteristikama sredine (medija) kroz koji se zvuk širi.*

*Na slici 6 i u tablici 1 dane su brzine zvuka u nekim sredstvima.*



Slika 6: Brzina zvuka u pojedinim materijalima

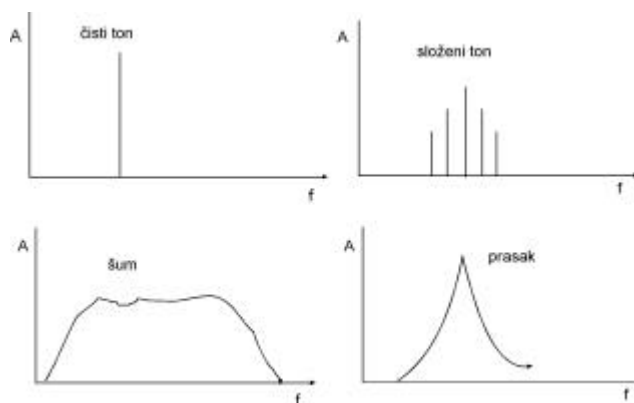
### Vrste zvuka:

**Cisti ton** je sinusoidalna oscilacija samo jedne frekvencije

**Složeni ton** se sastoji od osnovnog čistog tona i harmonika tj. niza tonova višestruko više i niže frekvencije od osnovnog tona.

**Šum** je nepravilno neperiodičko titranje, čija amplituda i frekvencija poprimaju slučajne iznose.

**Prasak** je kratkotrajni zvučni impuls velike snage.



Slika 6: Spektar pojedinih vrsta zvuka

Kao i svaki val, tako i zvuk ima svoje karakteristične veličine:

To su:

T- perioda, vrijeme jednog titraja (s)

$f$  – frekvencija, broj titraja u sekundi (Hz)

$\lambda$  – valna dužina ili prostorni razmak između dva zvučna vala (m), pri čemu je:

$v$  – titrajna brzina - brzina gibanja čestica, za zrak  $v = 0,05$  m/s

Odnos periode titraja i frekvencije je:

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{Hz})$$

Odnos frekvencije i valne dužine zadan je formulom:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (\text{m})$$

Zvučna snaga je energija koja u jedinici vremena prođe kroz plohu jedinичne površine.

Zvučni izvor	Zvučna snaga (W)
<i>normalan govor</i>	$7 \cdot 10^{-6}$
<i>klavir</i>	0,2
<i>orkestar</i>	70
<i>mlazni avion</i>	$10^5$

Tablica 2: Zvučna snaga nekih izvora zvuka

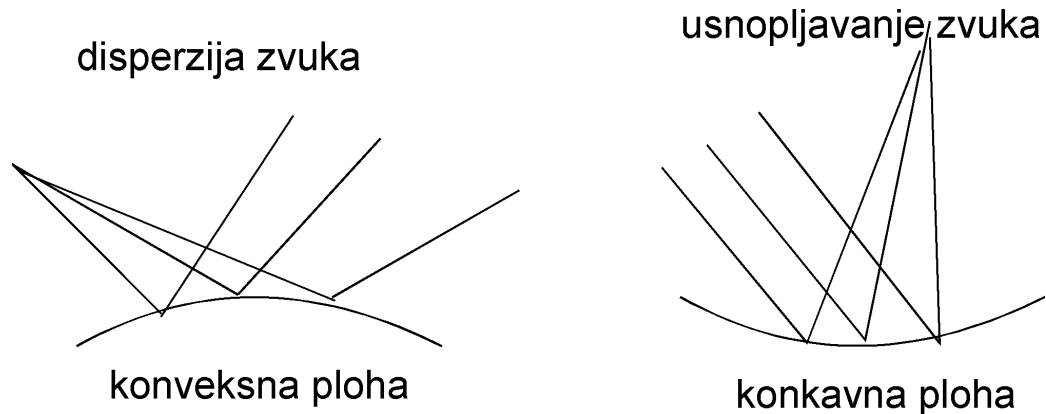
Zvučni se val ponaša kao i svaka druga valna pojava. Stoga imamo slijedeće manifestacije širenja zvuka u prostoru:

### **Refleksija**

To je pojava odbijanja zvuka od zapreke

Zvuk se odbija od ravne čvrste plohe. Ako je ploha konveksna, zvuk se disperzira (raspršuje). Refleksija zvuka je bolja, ako je površina plohe glatkija i veće gustoće.

Ako je površina konkavna, dolazi do usnopljavanja zvuka (slika 7)



Slika 7: Refleksija zvuka od zakrivljenih površina

Zbog refleksije može doći do pojačanja zvuka, ako je vrijeme refleksije malo, pa se dolazni i reflektirani val zbrajaju.

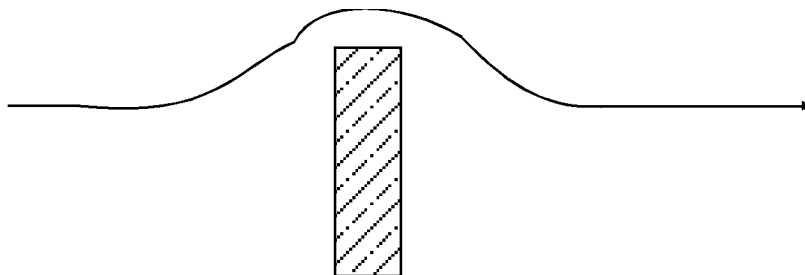
Refleksija dovodi i do manjeg produljenja trajanja zvuka, što se naziva odjek.

Jeka je veće produljenje trajanja zvuka, a javlja se ako je površina od koje se zvuk reflektira udaljena više od 17 m.

### Difrakcija

To je pojava savijanja ili ogiba zvuka. Zvuk se jednim dijelom odbija od zapreke, ali je može i zaobici (slika 8)

Difrakcija je obrnuto srazmjerna sa visinom tona (frekvencijom zvučnog vala), pa će biti više izražena kod manjih frekvencija.



Slika 8: Difrakcija zvuka

### Refrakcija

To je pojava loma zvučnog vala odnosno promjene smjera zvuka, a događa se uslijed promjene medija kojim se zvuk kreće (temperatura, tlak zraka i sl.). Tipični primjer je skretanje zvuka pod utjecajem vjetra.

## Apsorpcija

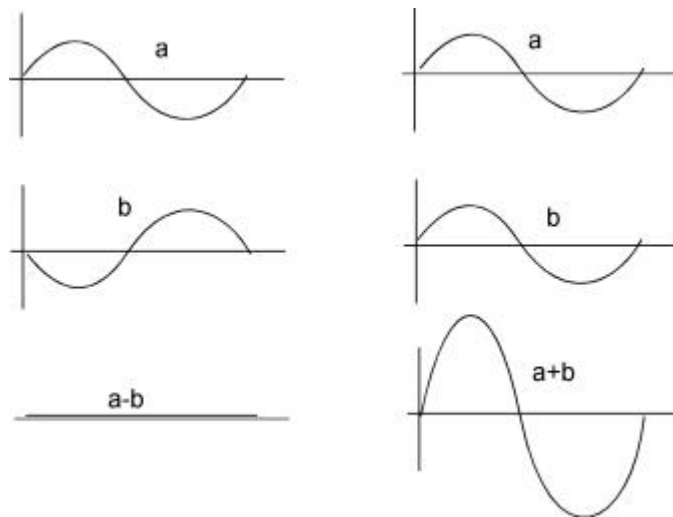
To je pojava upijanja zvuka koja se javlja prilikom refleksije. Tom prilikom jedan dio zvučne energije bude predan materiji od koje se zvuk reflektira.

## Doplerov efekt

To je pojava koja se očituje u promjeni visine tona zbog kretanja zvučnog izvora. Ako nam se izvor zvuka približava zvučni se valovi zgušnjavaju tj. povećava im se frekvencija, a ako se izvor zvuka udaljava, valovi se prorijeduju, a zvuk dobiva sve manju frekvenciju.

## Interferencija

Ta pojava nastaje uzajamnim djelovanjem dva vala koji se susreću. Ako im se faze poklope dolazi do zbrajanja po amplitudi, a ako su protufazni, njihove se amplitude oduzimaju (slika 9)



Slika 9: Interferencija valova

## Stojni val

To je pojava koja nastaje kada interferiraju dolazeci i reflektirani val pri čemu nastaje mjestimicno poništavanje (nule) i pojačavanje (maksimumi) zvuka. Pojava se očituje kao potpuna odsutnost zvuka u nekim dijelovima prostora. Izbjegava se tako da se zidovi prostorije ne postavljaju paralelno.

### 2.1.2. Slušni proces

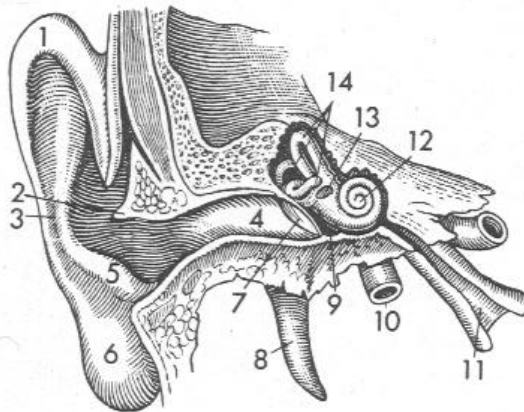
Ljudsko uho prima zvučne podražaje i «obrađuje» ih u tri svoja glavna dijela (slika 10).

**Vanjsko uho** - čini *ušna školjka* (1) i *zvukovod* (4). Uloga im je dvostruka: služe za prilagodbu impedancije bubnjica sa impedancijom zraka i lokalizaciju smjera dolaska zvuka.

**Srednje uho** – čine *bubnjic* (7) i *slušne košćice* (13)

Bubnjic pod utjecajem zvuka vibrira, a slušne košćice predstavljaju polugu nejednakih krakova, čime se zvučni pritisak povećava 10 – 20 puta.

**Unutrašnje uho** – čine polukružni kanali (14), pužnica (12), slušni živac i Eustahijeva cijev (11). Tu se vrši analiza zvuka i njegovo pretvaranje u slijed nervnih impulsa. U ovom dijelu nalazi se i organ za održavanje ravnoteže, dok Eustahijeva truba služi za izjednačavanje tlaka zraka sa obje strane bubnjica kako ne bi došlo do njegovog oštećenja.



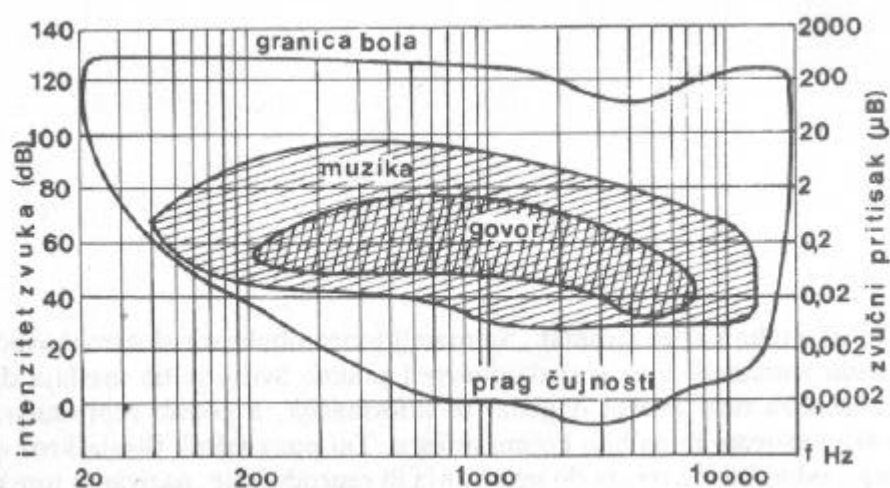
Slika 10: Grada uha

Ljudsko uho ne prima jednako dobro zvuk svake frekvencije. Kod nižih frekvencija i kod jako visokih frekvencija potrebno je da zvuk ima jaci intenzitet da bi u ljudskom uhu proizveo jednak podražaj.

Dijagram koji opisuje ovo svojstvo uha zove se dinamička karakteristika uha (slika 11).

Ona opisuje koliki je intenzitet zvuka, odnosno zvučni pritisak potreban da bi se kod pojedinih frekvencija proizveo isti podražaj. Vidljivo je da je ljudsko uho najosjetljivije na frekvencije oko 1000 Hz, dok na 20 Hz i preko 10000 Hz osjetljivost uha bitno opada.

Napomena:  $10^{-12} \text{ Pa}$



Slika 11: Dinamicka karakteristika uha

Osnovne karakteristike zvuka s obzirom na doživljaj koji zvuk proizvodi su:  
**Glasnoca** – određena je velicinom pritiska zraka kojeg zvučni valovi vrše na bubnjic.

**Visina tona** – Određena je osnovnom frekvencijom zvučnog vala.

**Boja tona** – Određena je brojem viših harmonika koji se pored osnovne frekvencije nalaze u zvučnom valu. Ujedno boja tona određuje karakter zvuka, odnosno njegovu prepoznatljivost.

Na prethodnoj karakteristici je na osi y kao jedinica mjere označeno «dB».

Ova kratica čita se kao «decibel».

Može se u svakodnevnom govoru čuti da neki glasni zvukovi imaju «puno decibela».

Pomoću decibela označava se logaritamski odnos dviju veličina.

U ovom slučaju to je odnos intenziteta zvuka koji dolazi do našeg uha  $I$  i intenziteta zvuka koje nazivamo prag čujnosti  $I_0$ .

Dakle:

$$L(\text{dB}) = 10 \log I/I_0 ,$$

a ako je riječ o zvučnom tlaku :

$$L(\text{dB}) = 20 \log p/p_0, \text{ gdje je } p \text{ zvučni tlak kojeg primamo, a } p_0 \text{ zvučni tlak koji predstavlja prag čujnosti.}$$

Stoga se u akustici decibeli koriste za izražavanje razine zvučnog tlaka ili za izražavanje razine intenziteta zvuka

Na taj način smo odnose koji se množe, pretvorili u decibele koji se zbrajaju. Više ne govorimo da je neki zvuk jači od praga čujnosti toliko i toliko puta već kažemo da je jači za toliko decibela.

Vrijednosti koje je dobro znati:

Odnos	dB (intenzitet)	dB (tlak)
10	10	20
100	20	40
1000	30	60
10000	40	80

Tablica 3: Preracunati odnosi i vrijednosti u decibelima

Primjeri:

1. Koliko puta je intenzitet zvuka jaci od praga cujnosti ako je njegov iznos 60 dB?

$$L = 60 \text{ dB}$$

$$60 = 10 \log (I/I_0)$$

$$60/10 = \log (I/I_0)$$

$$I/I_0 = \text{antilog } 6$$

$$I/I_0 = 1000000$$

2. Kada kažemo da je zvucni tlak kojeg emitira neki izvor jaci za 20 dB od praga cujnosti, koliki je zvucni pritisak kojeg taj izvor emitira?

$$L(\text{dB}) = 20 \log (p/p_0)$$

$$20 = 20 \log (p/p_0)$$

$$20/20 = \log (p/p_0)$$

$$1 = \log (p/p_0)$$

$$p/p_0 = \text{antilog } 1$$

$$p/p_0 = 10$$

$$p = 10 \cdot p_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$$

3. Koliki je intenzitet zvuka nekog izvora izražen u decibelima ako je on jaci od praga cujnosti 200 puta?

$$L(\text{dB}) = 10 \log (I/I_0)$$

$$L(\text{dB}) = 10 \log 200$$

$$L = 10 \cdot 2,3 = 23 \text{ dB}$$

### 2.1.3. Mikrofon

Mikrofon je akusticko-elektricni pretvarac, koji zvučne titraje koji se šire u prostoru, prihvata i pretvara u električne titraje.

Osnovni princip mikrofona je da zvučno titranje zraka pokrene membranu pretvarajući ga u mehanicko titranje. Membrana svojim gibanjem djeluje na sustav za pretvorbu iz kojeg dobivamo proporcionalni električni napon.

#### 2.1.3.1. Karakteristike mikrofona

Karakteristicne osobine mikrofona su:

##### **Osjetljivost S**

To je odnos dobivenog napona **U** na mikrofону i zvučnog pritiska **p** koji djeluje na njegovu membranu.

$$S = \frac{U(mV)}{p(Pa)}$$

Definira se kod nepoterećenog mikrofona i kod frekvencije 1 kHz, pri čemu je smjer djelovanja zvučnog tlaka okomit na membranu.

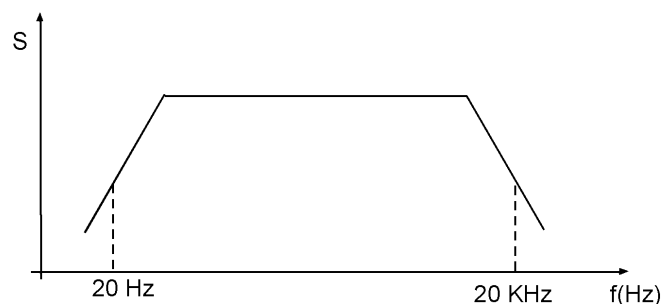
Kvalitetniji mikrofoni imaju bolju osjetljivost tako da je u nekom sustavu potrebno manje pojačanje, čime se smanjuje i šum.

##### **Frekvencijska karakteristika**

Kada mijenjamo frekvenciju zvuka kojeg mikrofon prihvata i pri tome pratimo osjetljivost istog mikrofona, dobivamo dijagram koji opisuje frekvencijsku karakteristiku mikrofona.

Takav dijagram općenito može izgledati kao na slici 12.

Gornju i donju granicnu frekvenciju određuje namjena mikrofona. Ako je mikrofon namjenjen za prijenos i snimanje govora onda je donja granicna frekvencija 300 Hz, a gornja 3000 Hz. Vrlo kvalitetni studijski mikrofoni imaju donju granicnu frekvenciju 20 Hz, a gornju 20 kHz. Kao referentna obično se uzima osjetljivost pri 1000 Hz. Poželjna je linearnost na citavom području.

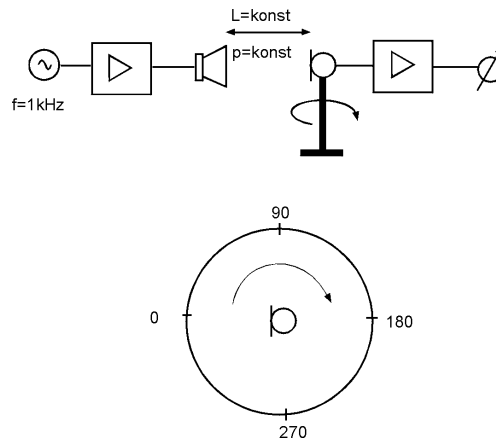


## Slika 12. Frekvencijska karakteristika mikrofona

### Karakteristika usmjerenosti

Ova karakteristika opisuje ovisnost osjetljivosti (ili izlaznog napona) mikrofona o smjeru dolaska zvuka na mikrofon, izraženo u polarnim koordinatama.

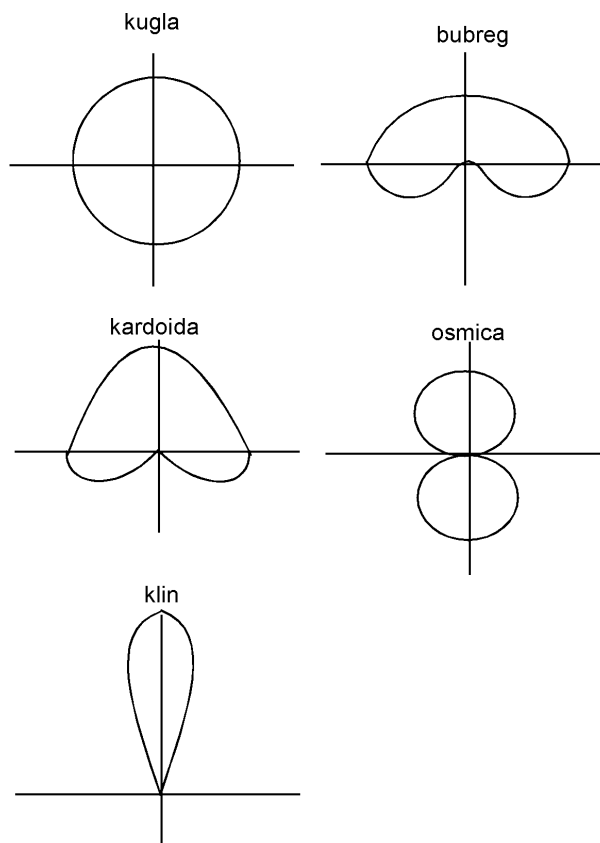
Dijagram usmjerenosti dobijemo mjerenjem koristeći sustav prikazan na slici br. 13.



Slika 13: Principijelna shema određivanja dijagrama usmjerenosti

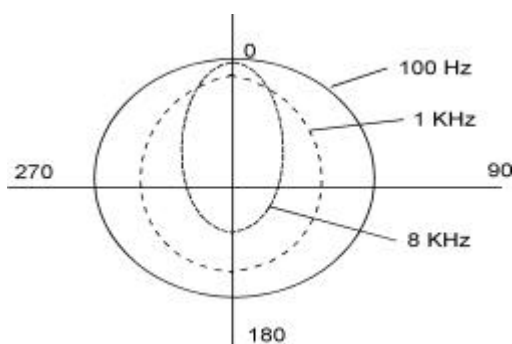
Ton frekvencije 1 KHz iz tongeneratora se preko pojačala šalje na zvučnik. Na fiksnoj udaljenosti od zvučnika nalazi se mikrofon čiju karakteristiku usmjerenosti želimo odrediti.

Mikrofon rotiramo u krugu od  $360^\circ$  i za unaprijed određene vrijednosti kuteva registramo vrijednost napona na izlazu pojačala koje je priključeno na mikrofon.



Slika 14: Karakteristicne krivulje usmjerenosti

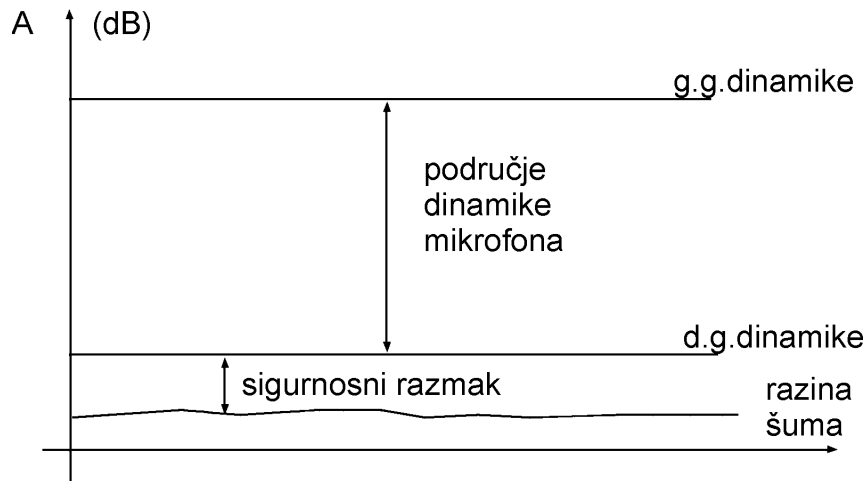
Opcenito se može primjetiti da usmjerenost mikroфона raste s povećanjem frekvencije (sl.15)



Slika 15: Ovisnost dijagrama usmjerenosti o frekvenciji zvuka

### Dinamicki opseg

Dinamicki opseg je velicina koja nam govori o odnosu između najjačeg i najslabijeg zvučnog signala kojeg možemo prenijeti mikrofonom, a da istovremeno ne prenesemo smetnje i da ne dode do nedopuštenog izoblicenja (sl.16).



g.g.dinamike = gornja granica dinamike  
 d.g. dinamike = donja granica dinamike  
 sigurnosni razmak: 15 dB

Slika 16: Dinamicki opseg mikroфона

### Unutarnji otpor

Unutarnji otpor mikroфона je njegova impedancija pri frekvenciji 1 KHz.  
 Razlikujemo mikrofone sa :

- niskim unutarnjim otporom (200 O)
- visokim unutarnjim otporom (50 KO)

Kod određivanja impedancije mikroфона potrebno je uzeti u obzir i dužinu priključnog kabela.

#### 2.1.3.2. Vrste mikroфона

Postoji više vrsta mikroфона, a dijelimo ih po tri osnovna kriterija:

Prema načinu akusticko - elektricne pretvorbe

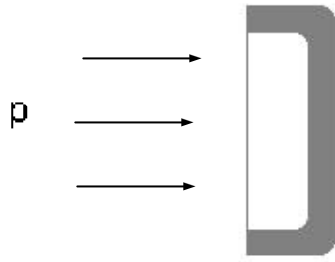
Tu razlikujemo dvije vrste mikroфона:

Brzinski, kod kojih je proizvedeni signal srazmejan sa promjenom titrajne brzine.

Amplitudni, kod kojih je proizvedeni signal proporcionalan amplitudi otklona membrane.

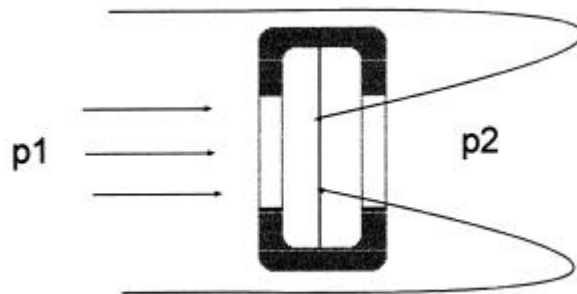
##### a) Akusticka podjela

**Mikrofony na pritisak** (sl.17), kod kojih zvucni pritisak djeluje samo na jednu stranu membrane. Ovakvi mikrofony imaju kružnu karakteristiku.



Slika 17: Princip rada mikrofona na pritisak

**Mikrofoni na gradijent pritiska** (sl.18), kod kojih zvucni pritisak djeluje na obje strane membrane, tako da kao rezultat imamo razliku zvucnog pritiska, po amplitudi i po fazi.

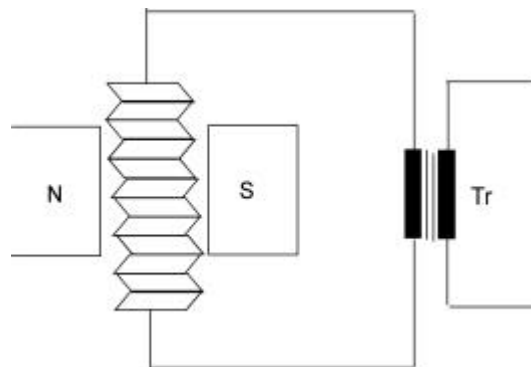


Slika 18: Princip rada mikrofona na gradijent pritiska

#### b) Električka podjela

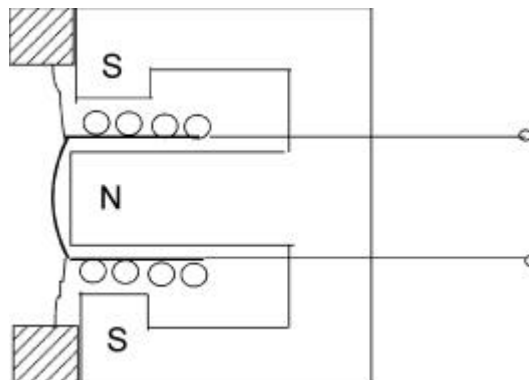
**Elektrodinamicki**, koji rade na principu indukcije EMS u vodicu koji se giba u magnetskom polju (sl.19). Postoje dvije vrste ovih mikrofona:

- **sa vrpcom**, koji se izvode kao gradijentni. Osjetljivi su na vibracije. Osjetljivost im je 1-3 mV/Pa, šum 20 dB, a gornja granica dinamike (g.g.d.) je 120 dB. Koriste se uglavnom u zatvorenom prostoru jer su osjetljivi na vjetar.



Slika 19: Elektrodinamicki mikrofon sa vrpcom

- sa **zavojnicom**, koji se izrađuju kao tlacni i kao gradijentni. Nisu osjetljivi na vibracije i vjetar. Mehanički su čvrsti i otporni (sl.20). Osjetljivost im je 1-2 mV/Pa, granica šuma 20 dB, a g.g.d. 140 dB. Mogu se koristiti i na otvorenom prostoru jer su manje osjetljivi na atmosferske utjecaje.

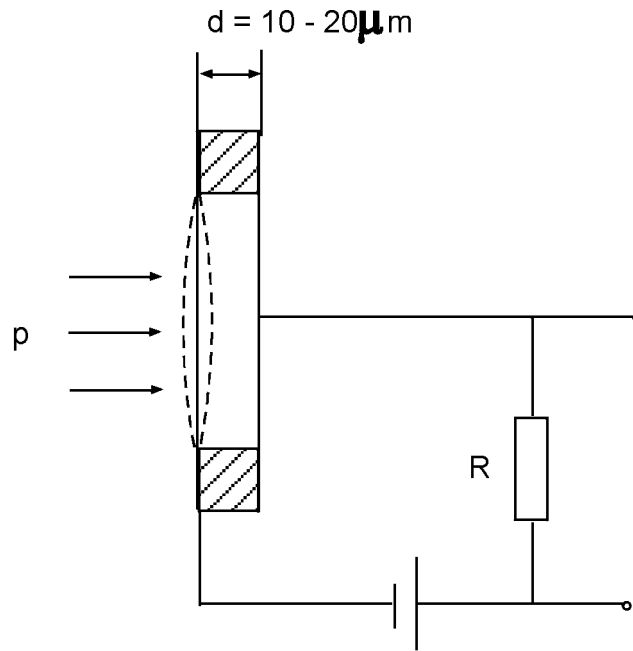


Slika 20: Elektrodinamicki mikrofon sa zavojnicom

**Kondenzatorski**, kod kojih se koristi promjena kapaciteta između dviju vodljivih površina, kada se među njima mijenja udaljenost (sl.21). To jest:

$$C \propto \frac{S}{d}$$

Promjena kapaciteta u strujnom ce krugu proizvesti promjenu struje punjenja, koja je proporcionalna promjeni zvučnog pritiska. Ovo su najkvalitetniji mikrofoni. Za njihov normalan rad potrebno je napajanje (60 – 120 V). Koriste se za mjerenje i snimanje zvuka.



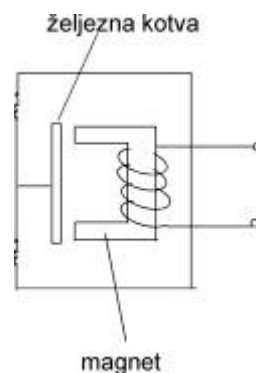
Slika 21. Kondenzatorski mikrofon

**Kristalni**, čiji se princip rada bazira na piezo-elektricnom efektu. To je pojava stvaranja elektricnog naboja na površini nekih kristala kada su podvrgnuti mehanickom pritisku.

Osjetljivost ovakvih mikroфона doseže 60 mV/Pa. Lagani su, ali nekvalitetnih elektricnih karakteristika i nepouzđani.

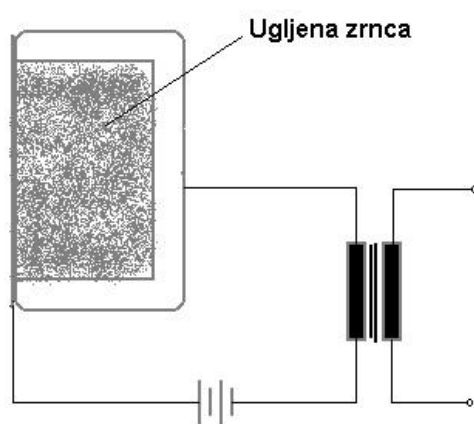
Koriste se za prijenosne uređaje i snimanje na terenu.

**Elektromagnetski**, rade na principu promjene jacine magnetskog toka, uslijed cega dolazi do pojave indukcije EMS (sl.22). Ovi mikrofony se koriste tamo gdje se ne traži velika kvaliteta, ali se mogu izvesti kao minijturni. Osjetljivost im je 10 – 30 mV/Pa. Izvana su oklopljeni, kako bi se spriječio utjecaj vanjskog magnetskog polja. Koriste se kao minijturni mikrofony.



Slika 22: Elektromagnetski mikrofon

**Ugljeni**, čiji se rad bazira na promjeni prijelaznog otpora između ugljenih zrnaca (sl.23). Titranje membrane uslijed zvučnih valova potiskivati će nejednako ugljena zrnca. Promjena prijelaznog otpora odraziti će se u strujnom krugu kao promjenjiva struja. Koristi se u telefonskim aparatima. Za rad je potrebno napajanje električnom energijom. Osjetljivost je 100 mV/Pa. Zbog svojih karakteristika može se koristiti za prijenos govornih signala na veće udaljenosti bez upotrebe pojačala.



Slika 23: Ugljeni mikrofon

## 2.1.4. Zvucnik

Zvucnik je elektro-akusticki pretvarac, koji elektricne titraje pretvara u cujni zvucni val. On je uglavnom zadnji element u akustickom lancu.

### 2.1.4.1. Karakteristke zvucnika

Karakteristicne osobine zvucnika su:

**Nazivna snaga zvucnika** – to je ona elektricna snaga kojom možemo trajno opteretiti zvucnik, a da ne dode do njegova oštecenja ili uništenja. Pri tome treba uzeti u obzir da signal kojim se snaga zvucnika testira treba biti takav da odgovara po frekvencijskom rasponu i dinamici klasicnoj glazbi.

Nazivna snaga zvucnika uvijek treba biti veca od izlazne snage pojacala, kako bi se izbjegla oštecenja zvucnika.

*(Kad je u pitanju snaga zvucnika onda su u upotrebi još slijedeci pojmovi: Muzicka snaga, maksimalna akusticka snaga, pogonska snaga i sinusna snaga, ali njih ovdje necemo definirati).*

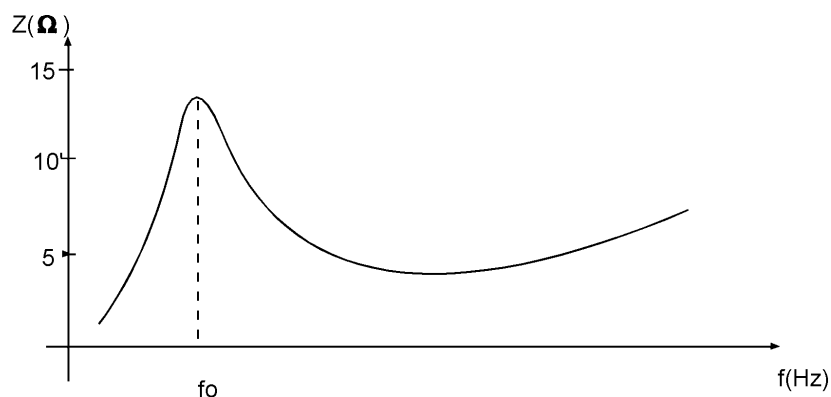
**Impedancija zvucnika** – to je promjenjivi otpor zvucnika ovisan o frekvenciji. U pravilu su zvucnici niskoomski sa uobicajenim vrijednostima impedancije od 2, 4, 6, 8 ili 16  $\Omega$ . Impedancija je važna zbog prilagodenja zvucnika na izlazni stupanj pojacala, cime se dobiva optimalno iskorištenje snage pojacala.

1. **Rezonantna frekvencija** je pojam koji govori na kojim frekvencijama dolazi do mehanicke rezonancije zvucnika, pri cemu su pokretni dijelovi zvucnika najviše mehanicki optereceni.

Tako razlikujemo :

- dubokotonske zvucnike za frekvencije 30 do 60 Hz
- srednjetonske zvucnike za frekvencije 60 do 90 Hz i
- visokotonske zvucnike za frekvencije od 100 Hz i više.

Rezonatnu frekvenciju moguće je izracunati, a tipicna karakteristika dubokotonskog zvucnika prikazana je na slici 24.



Slika 24: Frekvencijska karakteristika dubokotonskog zvučnika

**Frekvencijska karakteristika** daje podatak koliki zvučni pritisak daje zvučnik kod pojedinih frekvencija, uz stalan napon na krajevima zvučnika (slika 25). Gornja granicna frekvencija određena je padom intenziteta zvuka za 10 dB.

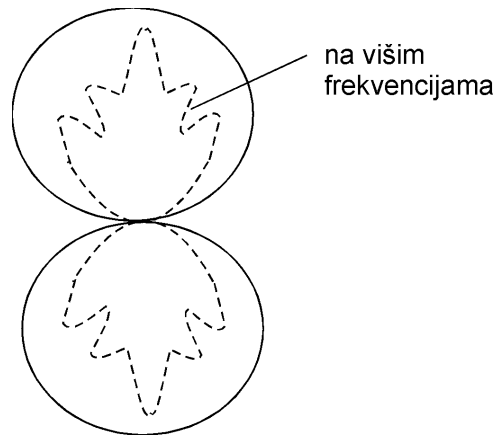


Slika 25: Frekvencijska karakteristika zvučnika

**Stupanj djelovanja** (stupanj iskorištenja) je odnos zvučne snage koju emitira zvučnika ( $P_a$ ), prema električnoj snazi dovedenoj na izvode zvučnika ( $P_e$ ). Najveći stupanj djelovanja je kod rezonantne frekvencije, međutim on općenito doseže male vrijednosti čiji je iznos 1 – 5 %.

**Efikasnost zvučnika** je mjera pretvaranja električne energije u akustičku.

**Karakteristika usmjerenosti** pokazuje kolika je zvučna energija u smjeru koji je pod nekim kutem u odnosu na referentnu os, kao što prikazuje slika 26.

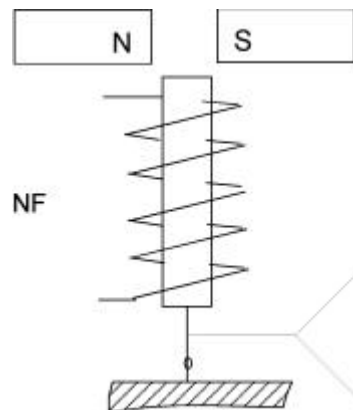


Slika 26: Karakteristika usmjerenosti zvučnika

#### 2.1.4.2. Vrste zvučnika

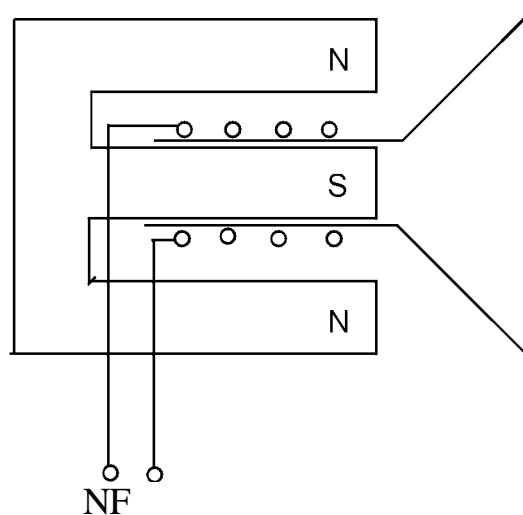
Razlikujemo više vrsta zvučnika:

**Elektromagnetski zvučnik**, koji radi na principu promjene jakosti magnetskog polja (sl.27). Promjenjivo magnetsko polje uzrokuje kretanje jezgre od mekog željeza, koja je povezana sa zvučnicom membranom. Titranje membrane proizvodi zvučne valove.



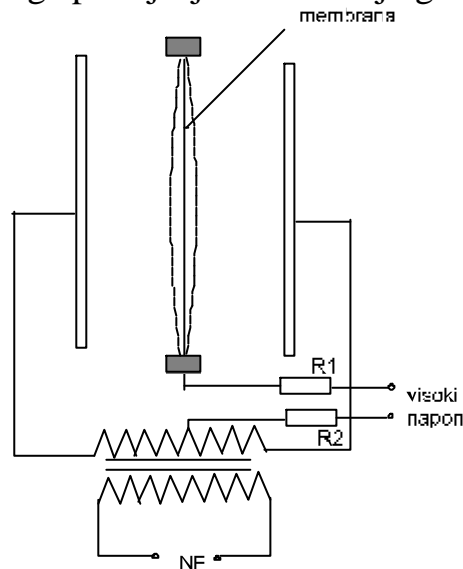
Slika 27: Elektromagnetski zvučnik

**Elektrodinamički zvučnik**, radi na istom principu kao i prethodni s tim da se u magnetskom polju permanentnog magneta nalazi zavojnica koja titra u ritmu NF signala koji se na nju dovodi (sl.28). Zavojnica je mehanicki povezana s membranom koja svojim titranjem proizvodi zvučne valove.



Slika 28: Elektrodinamicki zvučnik

**Elektrostatski zvučnik**, koji radi na principu privlačenja naboja u jakom električnom polju (sl.29). Visoki istosmjerni napon dovodi se na ploče i na membranu zvučnika. Njemu se preko transformatora superponira NF signal. Elektrostatske sile su stoga promjenjive i uzrokuju gibanje membrane.



Slika 29: Elektrostaticki zvučnik

**Kristalni zvučnik**, radi na principu piezoelektričnog efekta. To je pojava mehanickog titranja kristala pod utjecajem vanjskog električnog polja. Ovi zvučnici pogodni su za visoke frekvencije i ultrazvuk.

Ostali pojmovi koji su u vezi sa zvučnicima:

**Membrana** – je jedan od najvažnijih dijelova zvučnika. Da bismo postigli što bolje iskorištenje zvučnika, mora membrana imati veliku površinu. Isto tako membrana mora imati što manju masu i veliku krutost što su ustvari oprecni zahtjevi.

**Akustički kratki spoj** – pojava koja je izražena kod dubljih tonova, a očituje se u savijanju zvučnih valova uslijed čega oni poništavaju sami sebe jer dolazi do izjednačenja tlaka sa prednje i stražnje strane membrane. S porastom frekvencije ova pojava nestaje.

**Zvučne kutije** – zahtijevaju pomnu konstrukciju. Volumen kutije treba biti što veći da se izbjegne rezonancija i akustički kratki spoj, a primjenjuje se i oblaganje apsorpcijskim materijalima.

**Zvučnicke kombinacije** – kombinacije zvučnika koje se obično sastoje od zvučnika za visoke, srednje i niske tonove. Posebnim električnim skretnicama – filtrima na te se posebno konstruirane zvučnike upućuju odgovarajuća područja tonskih frekvencija, kao bi se dobila što vjernija reprodukcija.

#### 2.1.5. Pitanja i zadaci

1. Što je zvuk po svojoj fizikalnoj prirodi?
2. Opiši pojave koje mogu nastati prilikom širenja zvučnih valova.
3. Koji dijelovi ljudskog uha pretvaraju zvuk u osjet?
4. U kojem području frekvencija je ljudsko uho najosjetljivije?
5. Kako definiramo osjetljivost mikrofona?
6. Kako se određuje karakteristika usmjerenosti mikrofona?
7. Definiraj područje dinamike mikrofona.
8. Kod kojih tipova mikrofona je napajanje električnom energijom neophodno, a kod kojih nije potrebno.
9. Koji mikrofoni rade na principu indukcije EMS u vodiču?
10. Opiši princip rada kristalnog mikrofona.
11. Zašto se zvučnik ne smije opteretiti električnim signalom nazivne snage?
12. Prema čemu se određuje da li je neki zvučnik za visoke, srednje ili duboke tonove?
13. Kako se određuje karakteristika zvučnika?
14. Kakva je razlika u principu rada elektrodinamičkog i elektromagnetskog zvučnika?
15. Što je akustički kratki spoj?

Zadaci:

1. Kada kažemo da je zvučna snaga nekog izvora jača za 20 dB od praga čujnosti, koliki je puta tada taj izvor jači od praga čujnosti?

Rješenje:

$$L(\text{dB}) = 10 \log (P/P_0)$$

$$20 = 10 \log (P/P_0)$$

$$20/10 = \log (P/P_0)$$

$$2 = \log (P/P_0)$$

$$P/P_0 = \text{antilog } 2$$

$$P/P_0 = 100$$

2. Za koliko decibela je jači neki izvor zvuka, ako je njegov intenzitet jači od razine cujnosti 200 puta?

Rješenje:

$$L(\text{dB}) = 20 \log (I/I_0)$$

$$L(\text{dB}) = 20 \log 200$$

$$L = 20 * 2,3 = 46 \text{ dB}$$

## 2.2. Slika

### 2.2.1. Osobine vida i osnovne svjetlosne velicine

Svjetlost je psihofizička pojava. Fizikalna priroda svjetlosti leži u činjenici da je ona elektromagnetsko zračenje čija se valna duljina nalazi u području od 400 do 700 nm. Psihološka dimenzija svjetlosti jest u tome što je registrira ljudsko oko, što znači da se kod čovjeka manifestira kao psihološki proces. Glavni dijelovi oka su (sl.30):

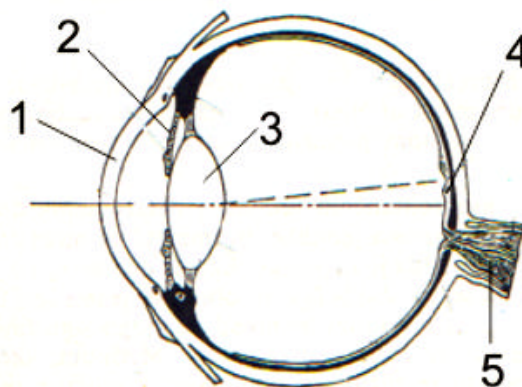
**Rožnica**, koja funkcionira kao leća stalne žarišne daljine.

**Šarenica**, mišić plave, zelene ili smeđe boje koji u većoj ili manjoj mjeri otvara zjenicu.

**Zjenica** je otvor u šarenici.

**Leca** je mekano, savitljivo i prozirno tijelo koje fokusira sliku na mrežnicu.

**Mrežnica** je skup od oko 130 milijuna stanica osjetljivih na svjetlost. Imaju oblik štapića – koji su osjetljivi na svjetlost ili čunjića koji su osjetljivi na boju.



Slika 30: Unutrašnjost oka

**Tromost oka** je jedna od važnih osobina oka. Kada se pojavi svjetlost, štapici tu svjetlost registriraju ali je nakon pojave potrebno neko vrijeme, da bi oko moglo primiti novu svjetlosnu informaciju pri čemu prethodno mora doći do smanjenja svjetlosti.

Osobinu tromosti oka koristimo kod prikazivanja pokretnih slika, uključujući i TV koja radi tako da svjetlosni mlaz u jednoj sekundi ispiše 25 slika na ekranu koje naše oko prihvaća kao jedinstven svjetlosni doživljaj.

**Fotometrija** je znanstveno područje koje se bavi mjerenjem osobina vidljivog dijela svjetlosnog spektra.

Osnovne svjetlosne veličine su:

a) **Jakost svjetlosti I [cd] (kandela)**

Definira se kao jakost svjetlosti nekog izvora u određenom pravcu.

Jedinica za jakost svjetlosti se zove kandela tj. svijeća i doista vrlo približno odgovara jačini svjetlosti svijeće, premda se točna definicija temelji na zračenju koje daje crno tijelo koje se nalazi na temperaturi stvrdnjavanja platine.

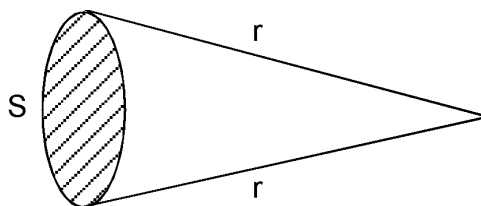
b) **Svjetlosni tok** – umnožak jakosti svjetlosti i prostornog kuta. Obilježava se slovom  $\Phi$ . Jedinica je **lumen [lm]**

$$\Phi = I \cdot \Omega$$

gdje je  $\Omega$  prostorni kut

$$\Omega = \frac{S}{r^2}$$

Prostorni kut (jed. steradian) je dio kugle zatvoren površinom  $S$ , na udaljenosti  $r$  od njenog središta (sl.31)



Slika 31: Prostorni kut

npr. žarulja 100W - 1300 lm

fluor.cijev 40W – 3000 lm

c) **Osvjetljenost** – neka površina je bolje osvijetljena što je veći svjetlosni tok, a manja površina koju osvijetljavamo

$E$  [lx] (**luks**)

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{I \cdot \Omega}{S} = \frac{I}{r^2}$$

,ako svjetlost pada okomito na površinu

$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \theta$  ? Odnosno: , ako svjetlost pada pod nekim kutem ? .

dnevna svjetlost u sobi	1000 lx
radni stol	300 lx
vanjska rasvjeta ulice	8 lx

Tablica 4: Tipicna osvjetljenost nekih prostora

d) **Sjaj (luminacija)** – gustoca jakosti svijetlosti nekog svjetlosnog izvora L [cd/m<sup>2</sup>]

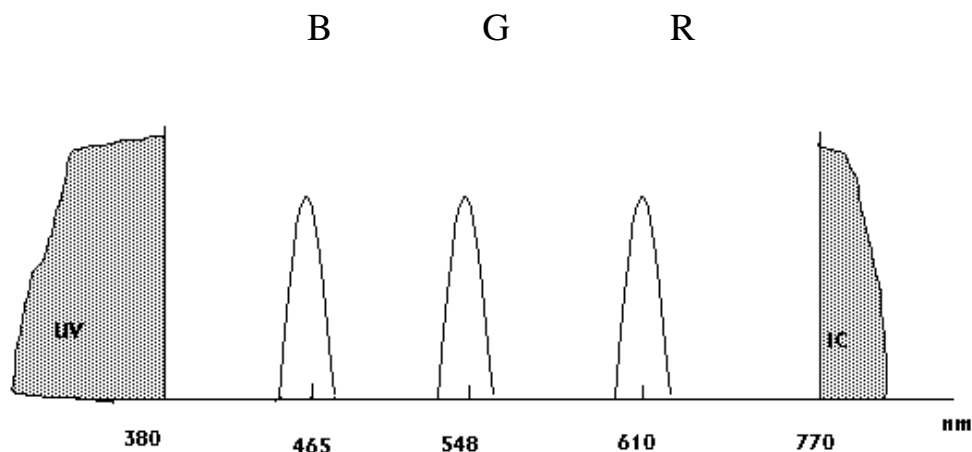
$$L = \frac{I}{S_{izv}}$$

Na primjer: Za žarulju (kugla), površina izvora  $S_{izv} = r^2$ , pa je:

$$L = \frac{I}{r^2} \quad [L/Cd/m^2]$$

### 2.2.2. Osnove kolorimetrije

**Kolorimetrija** je znanstveno područje koje se bavi mjerenjem boja, tj. kako covjek doživljava pojedinu boju i njezine osnovne karakteristike.



Slika 32: Spektar svjetlosnog zracenja

Na slici 32 prikazan je spektar elektromagnetskih zracenja unutar kojih se nalazi i zracenje koje registriraju ljudi pomocu svojeg organa vida. To je zracenje cije se valne dužine nalaze između 380 nm i 770 nm. Svijetlost pojedinih valnih dužina covjek doživljava kao boje.

U kolorimetriji su posebno značajne tri boje od kojih je moguće mješanjem dobiti sve ostale boje. To su : crvena (R), zelena (G) i plava (B).

Njihove su valne dužine:

Plava (B) - 465 nm

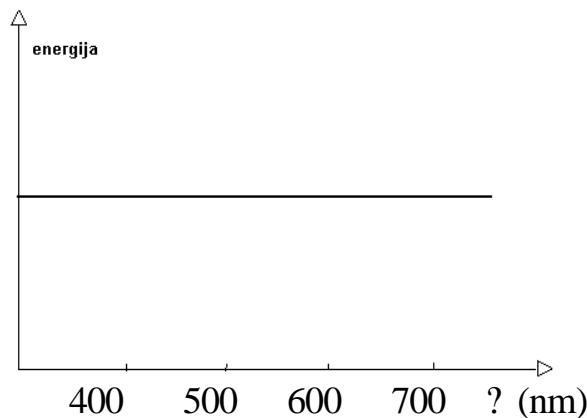
Zelena (G) - 548 nm

Crvena (R) - 610 nm

Na valnim duljinama koje su veće od 770 nm nalazi se elektromagnetsko zračenje koje se naziva infracrveno (IC) ili toplinsko zračenje, dok se na valnim duljinama manjim od 380 nm nalazi ultraljubičasto ili UV zračenje.

**Bijela svjetlost** je sastavljena od mnoštva elektromagnetskih zračenja različitih valnih duljina tj. boja. Oko vrlo teško razlikuje dvije bijele svjetlosti kod kojih se sastav boja znatno razlikuje.

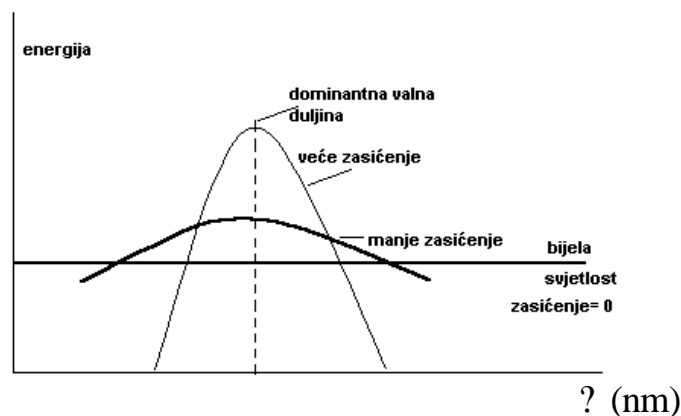
Na svim valnim dužinama ima približno istu energiju (sl.34).



Slika 34: Spektralni prikaz bijele svjetlosti

**Cistoca pobude** je udio bijele svjetlosti u nekoj boji. Boju određuje dominantna valna duljina i udio bijele svjetlosti u toj boji.

Ako je udio bijele svjetlosti u nekoj boji manji kažemo da je zasićenje te boje veće te ona sa manjom energijom pobuđuje maksimalni doživljaj boje. To znači da bijela svjetlost unosi poremećaj u doživljaj boje (sl. 35).

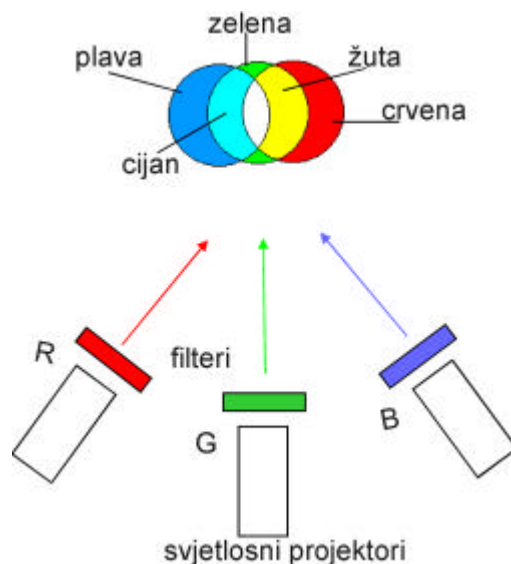


Slika 35: Bijela svjetlost smanjuje zasićenje boje

## Miješanje boja

Razlikujemo subtraktivno i aditivno miješanje boja

Nama je posebno interesantno i potrebno vidjeti kakvo je to aditivno miješanje boja (sl.36).



Slika 36: Aditivno miješanje boja

Aditivno miješanje koristi se kod TV pa se definiraju:

**PRIMARNE BOJE** – pomoću kojih se miješanjem dviju boja ne može dobiti treća. To su:

R ..... crvena

G ..... zelena

B ..... plava

**KOMPLEMENTARNE BOJE** – koje se dobiju miješanjem primarnih boja.

To su :

$R + G = Ye$  ..... žuta

$G + B = C$  ..... cijan

$R + B = M$  ..... purpurna

**Subtraktivno** miješanje boja je miješanje čestica odnosno pigmentata različitih boja. Koristi se u slikarstvu, tisku i fotografiji u boji. Subtraktivnim miješanjem boja dobiju se drugacije boje nego aditivnim miješanjem.

### 2.2.3. Opticko električni pretvaraci

Kamera je takav uređaj kojim se slika pretvara u električni signal, da bi se omogućio njen prijenos. Glavni dio kamere čini opticko – električni pretvarac.

#### 2.2.3.1. Vrste opticko-električnih pretvaraca

Razlikujemo tri osnovne vrste O-E pretvaraca:

- analizirajuće cijevi
- fotocelije
- senzori

Prema principu rada dijelimo ih na :

**Opticko - električni pretvaraci s vanjskim fotoefektom**, kod koji svjetlosna energija izaziva oslobađanje elektrona iz fotoosjetljivog sloja (ikonoskop) i

**Opticko – električni pretvaraci s unutarnjim fotoefektom**, kod kojih upad svjetlosne energije izaziva unutarnje promjene na fotoosjetljivom sloju, prvenstveno u vidu promjene vodljivosti tog sloja (vidicon)

#### ***Fizikalne osnove vanjskog fotoefekta:***

*Oslobađanje elektrona iz materije ili elektronska emisija nastaje povećanjem kinetičke energije elektrona nekim vanjskim uzrokom. Ovo povećanje mora biti toliko da elektroni savladaju potencijalnu barijeru na površini materijala.*

*To može biti toplinska energija, svjetlosna energija i kinetička energija dobivena udarom čestica izvana (npr. elektrona).*

*Kod fotoemisije vrijede sljedeća pravila:*

*Broj elektrona koji u jedinici vremena napusti površinu proporcionalan je intenzitetu svjetlosti.*

*Energija koju imaju oslobođeni elektroni ne ovisi o intenzitetu svjetlosti već o frekvenciji zračenja.*

*U tom smislu, prema Planckovoj teoriji energija zračenja je diskontinuiranog karaktera vezana uz male priraste energije ili kvantove.*

*Jedinica ili kvant energije elektromagnetskog zračenja izračunava se prema:*

$$W_0 = h \cdot f = h \cdot (c/\lambda),$$

gdje je :  $h$  – Planckova konstanta ( $h=6,63 \cdot 10^{-34}$  J s),

$c$  = brzina svjetlosti

$\lambda$  = valna dužina zracnja

Takav kvant energije naziva se foton.

npr. za svjetlost zelene boje  $\lambda=550$  nm,  $W_0=2,2$  eV

Prema Einsteinovoj teoriji elektron apsorbira cjelokupnu energiju fotona i dobiva kinetičku energiju kojom, ako je dovoljno velika, može napustiti površinu materijala.

$$mv^2/2 = W_0 - W_r,$$

gdje je  $W_r$  energija potrebna za napuštanje površine fotoosjetljivog materijala, a naziva se foto-električnom radnom funkcijom.

Vec smo spomenuli da se oslobađanje elektrona može izvršiti pomoću elektrona dobivenih iz nekog drugog izvora, ukoliko velikom brzinom udaraju u materijal i prodiru u njega.

Ta pojava se zove sekundarna emisija.

Jedan primarni elektron može, ako ima veliku energiju osloboditi više sekundarnih elektrona.

Broj sekundarnih elektrona naziva se odnos sekundarne emisije i označava se sa  $\eta$ .

Ova veličina ovisi o energiji primarnih elektrona, vrsti materijala čiju površinu bombardiramo i o upadnom kutu primarnih elektrona.

Najviše elektrona oslobađa se kod metala, koji imaju u sebi puno slobodnih elektrona.

Oslobodeni elektroni izazivaju pojavu rasta potencijala materijala kojeg bombardiramo ako je  $\eta > 1$  i obratno.

Oslobodeni elektroni imaju manju energiju od upadnih, a njihovo kretanje ima tendenciju ka najbližem tijelu koje ima pozitivni potencijal.

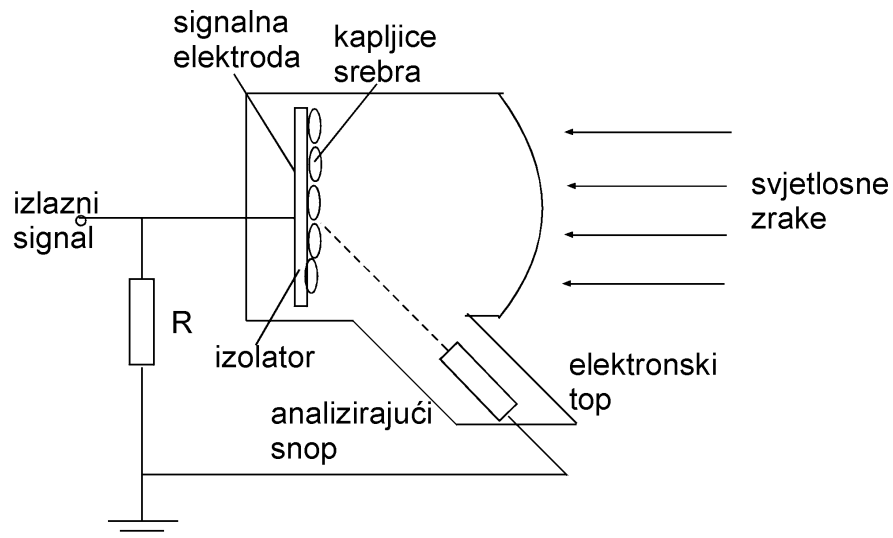
### **Fizikalne osnove unutrašnjeg fotoefekta:**

Unutrašnji fotoefekt ili fotovodljivost nastaje kao promjena vodljivosti nekog materijala pod utjecajem svjetlosti ili nekog drugo elektromagnetskog zračenja.

Oslobodeni elektroni u ovom slučaju ne napuštaju materijal, već ostaju u njemu i svojim prisustvom povećavaju vodljivost materijala.

### 2.2.3.2. Analizirajuće cijevi

#### **Ikonoskop**



Slika 37: Princip rada ikonoskopa

Ikonoskop je analizirajuća cijev koja koristi vanjski fotoefekt za pretvorbu slike (sl.37).

Na signalnu elektrodu nanijet je izolator (tinjac), koji je zaliven kapljicama srebra.

Kapljice srebra su fotoosjetljive te svjetlost izbija elektrone iz njih. One postaju pozitivno elektrizirane.

Njihova pozitivnost ovisi o intenzitetu svjetla. Na taj način se optička slika pretvara u sliku potencijala.

Elektronski top tj. žarna nit sa katodom emitira fokusirani snop elektrona kojim prelazi red po red po toj površini, na kojoj ostaje onoliko elektrona koliko ih u određenoj točki slike nedostaje.

Kapljice i signalna elektroda ponašaju se kao mali kondenzatori koji se prazne. Kroz otpor R prolazi struja pražnjenja, a pad napona na njemu je vremenski slijed signala koji opisuje prostornu sliku.

#### **Vidicon**

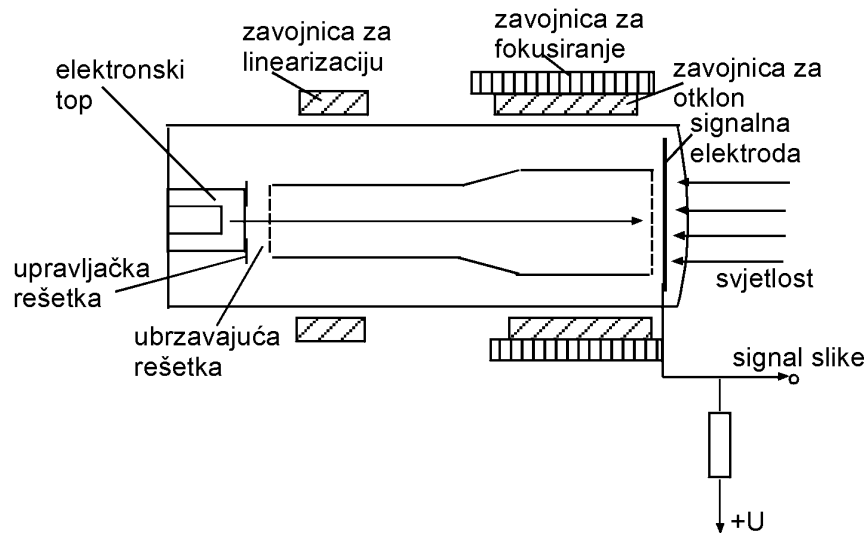
Vidicon je analizirajuća cijev unutarnjim fotoefektom.

Ugrađuje se u citace i slične uglavnom jeftinije kamere (sl.38).

Moderne analizirajuće cijevi građene su slično kao vidicon.

Signalna elektroda načinjena je u obliku prozirnog, ali vodljivog filma, na kojeg je nanijet sloj poluvodljivog fotovodljivog materijala (antimon trisulfid ili selen).

Promjenom jakosti osvjetljenja mijenja se otpor ovog sloja. Signalna elektroda je na potencijalu 10-50V prema katodi. Elektronski top se satoji od katode, upravljačke rešetke i ubrzavajuće rešetke.

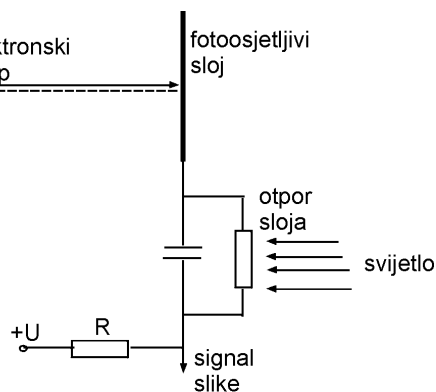


Slika 38: Princip rada vidicon

Kombiniranim djelovanjem magnetskog polja zavojnice za fokusiranje i elektricnog polja ubrzavajuće rešetke, elektronski snop se fokusira i usmjerava prema fotovodljivom sloju, tako da snop pogada fotovodljivi sloj u okomitom smjeru.

Snop vrši analizu sloja, a to je omogućeno magnetskim poljima zavojnica za horizontalni i vertikalni otklon.

Na nadomjesnoj shemi (sl.39) se svaki element fotovodljivog sloja može predociti kao mali (elementarni) kapacitet uskladištenja, kojem je paralelno spojen otpornik fotovodljivog sloja



Slika 39: Nadomjesna shema vidicona

Analizirajući snop, prelazeci preko promatranog elementa, nabija elementarni kondenzator na potencijal katode u idealnom slučaju.

U međuvremenu između dva analiziranja u vremenu od  $1/25$  s, ovaj se kondenzator preko otpora fotovodljivog sloja izbija u pozitivnom smjeru i to tim više što je element bio više osvijetljen tj. što je manji njegov otpor. Efekat povlacenja ili zaostajanja nastaje uslijed toga što je struja snopa premala i nedovoljna da u jednom prelazu napuni elementarni kondenzator, nego se to napravi nakon više prelaza tj. nekoliko puta po  $1/25$  s. To je glavni nedostatak ove cijevi, pa se ona koristi kod statičnih slika, teksta i sl.

### 2.2.3.3. CCD senzori

Koriste se u kamerama (umjesto analizirajućih cijevi), telekinima, skenerima ... Kod digitalnih kamera analogni signal na izlazu CCD-a se pretvara u digitalni signal i kao takav se dalje obrađuje. Digitalne kamere mogu imati jedan CCD za sve tri osnovne boje ili tri CCD-a posebice za svaku boju. CCD znači **C**harge **C**oupled **D**evelopments, u slobodnom prijevodu memorija vezanim nabojem.

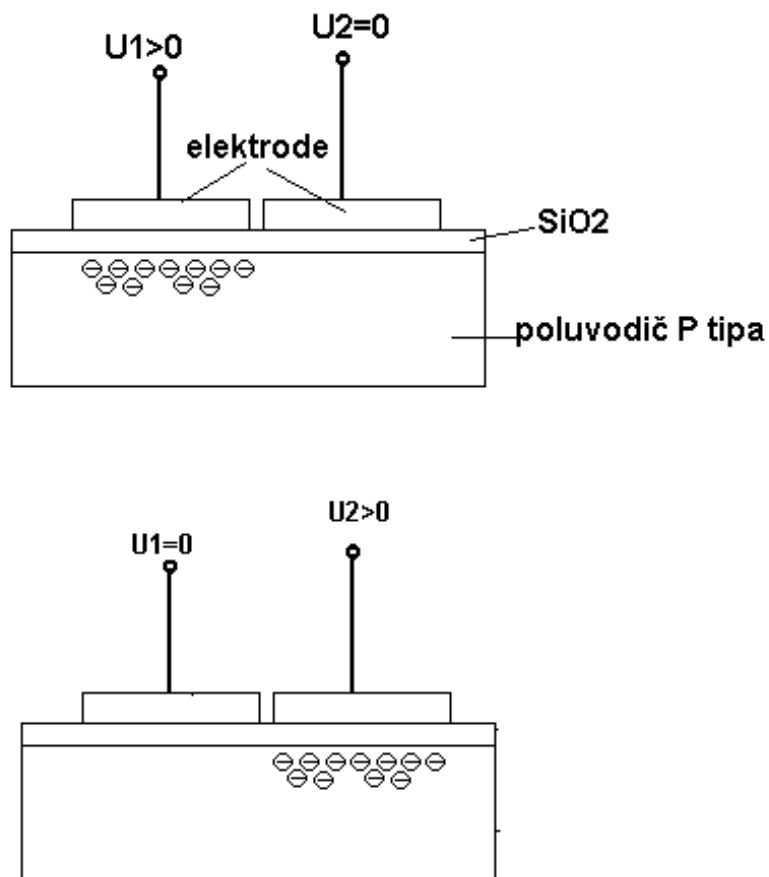
Izrađuju se u poluvodskoj MOS tehnologiji. Kod CCD-a nastaje niz diskretnih elemenata slike svakih  $1/50$  sec, koji se slažu na izlazu iz CCD-a u kontinuiran horizontalni slijed.

CCD tehnologija podrazumjeva dvije vrste poluvodskih elemenata koji su integrirani u **CCD slikovni senzor**:

- MOS analognog posmacnog registra i
- Fotosenzora

a) MOS analogni posmacni registar

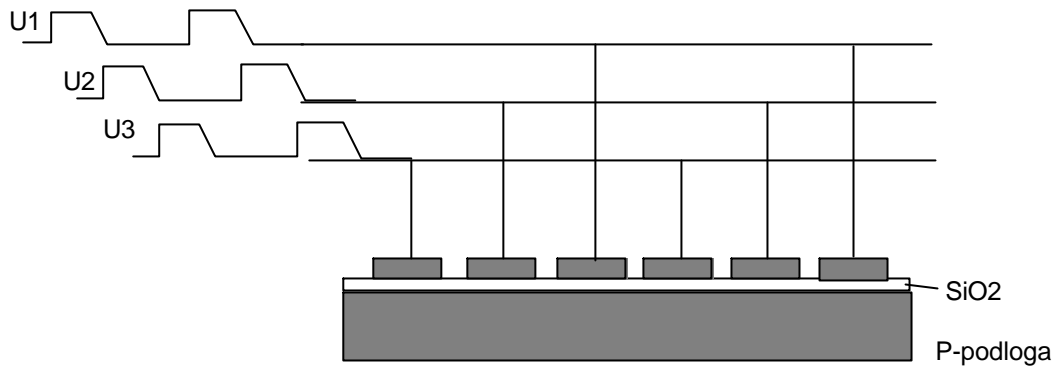
Ovaj dio se sastoji od niza integriranih MOS kondenzatora sa vrlo malim međusobnim razmakom, koji funkcioniraju kao analogni posmacni registar (sl.40).



Slika 40: Princip rada analognog posmacnog registra

Kada je na prvoj elektrodi napon  $U_1$  ispod nje ce se stvoriti prelazno podrucje u kojoj su šupljine manjinski nosioci. Ako u to prelazno podrucje izvana dovedemo elektrone oni ce se kada  $U_2$  bude vece od 0 ( $U_2 > 0$ ) preseliti u prelazno podrucje ispod druge elektrode. Elektrode su vrlo blizu, tako da se prelazna podrucja ispod njih preklapaju. Buduci da je elektroda više, naponi na njima vršiti ce posmak određene kolicine elektrona kao u posmacnom registru.

Sinkronizirani i fazno pomaknuti naponi  $U_1$ ,  $U_2$  i  $U_3$ , dovedeni na elektrode 1,2 i 3, a zatim istim redosljedom na elektrode 4,5, 6 vršit ce spremanje i pomak paketa naboja sinkronizirano i na taj nacin prenositi informaciju (sl.41).



Slika 41: Sinkronizirani prijenos paketa naboja

### b)Fotosenzor

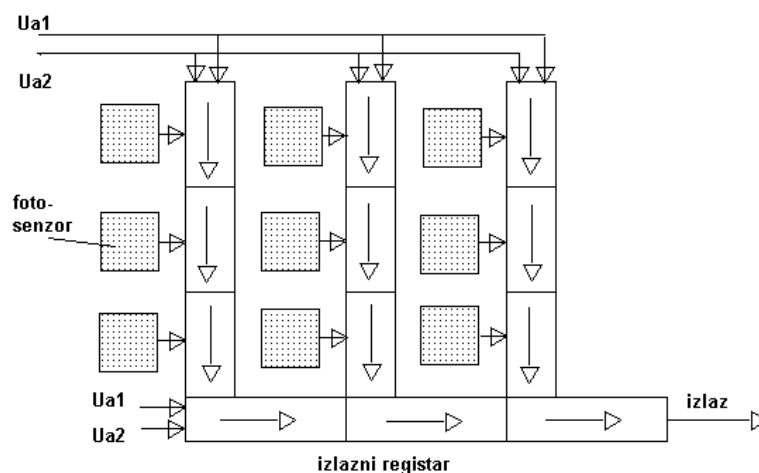
To je poluvodicki elemenat koji je kreiran takoder na bazi silicija. Ima sposobnost generiranja nabojskih paketa (elektrona) srazmjerno intenzitetu upadnog svjetla.

Navedeni CCD elementi se u sensorima slike koriste se na slijedeci nacin (sl.42):

Cjelokupna površina na koju se projicira slika u kameri sastoji se od vertikalno poredanih CCD kanala, nacinjenih od niza MOS kondenzatora. Broj kanala određuje i broj elemenata slike u aktivnom intervalu linije odnosno horizontalnu rezoluciju.

Sa CCD kanalima povezani su fotosenzori u kojima se akumulira naboj ciji je iznos proporcionalan intenzitetu osvjetljenosti.

Prijenos paketa naboja iz senzora u vertikalne kanale vrši se sinkronizirano. Vertikalni kanali spregnuti su sa horizontalnim kanalom za citanje, na cijem izlazu dobivamo video signal.



Slika 42: Struktura površine CCD slikovnog senzora

Prednosti kamera sa CCD tehnologijom su : nema zaostajanja signala iza slike, imaju dulji vijek trajanja, manju potrošnju, lakši su i jeftiniji.

### 2.3. Pitanja i zadaci

1. Nabroji osnovne dijelove oka i njihovu funkciju.
2. Što je tromost oka i koji je njezin značaj?
3. Kako definiramo osvjetljenost?
4. Koje fizikalne velicine određuju boju neke svjetlosti?
5. O čemu govori funkcija luminoznosti?
6. Kakva je razlika između aditivnog i subtraktivnog mješanja boja?
7. Nabroji vrste opticko-električkih pretvaraca.
8. Po čemu se opticko - električki pretvaraci međusobno razlikuju?
9. Objasni princip rada ikonoskopa.
10. Objasni princip rada vidiconu.
11. Objasni princip rada CCD slikovnog senzora.
12. Svjetlo električne svjetiljke jakosti 200 cd pada na radni stol pod kutem 45°. Osvjetljenje iznosi 141 lx. Izračunaj:
  - a) Udaljenost svjetiljke od radnog stola
  - b) Visinu svjetiljke u odnosu na površinu radnog stola.(Rezultat: a) 1 m, b) 0,7 m)
13. Pri fotografiranju predmet je osvijetljen električnom svjetiljkom udaljenom 2 m. Koliko se puta mora povećati vrijeme ekspozicije, ako ista svjetiljka osvjetljava predmet s udaljenosti 3 m.  
(Rezultat: 2,25 puta)

## 3. OBRADA SIGNALA I MULTIPLEKSNI SUSTAVI

### 3.1. Modulacija analognim signalom

Modulacija je postupak obrade signala kojim se u prijenosni signal utiskuje signal informacije. Na prijemnoj strani se vrši obratni postupak – demodulacija, da bi se informacija dobila ponovno.

Prijenosni signal ima veću frekvenciju te ima bolja svojstva širenja prijenosnim medijem.

Signal informacije zovemo još i modulacijski signal, dok kao rezultat modulacije dobivamo modulirani signal.

Postoji više vrsta modulacija:

- Analogna modulacija signala, kod koje se mijenja jedan od parametara sinusnog signala: amplituda, frekvencija ili faza. Stoga razlikujemo amplitudnu modulaciju (AM), frekvencijsku modulaciju (FM) i faznu modulaciju (PM).
- Diskretna modulacija ili digitalna modulacija sinusnog signala
- Modulacija impulsnih signala
- Digitalni modulacijski postupci, od kojih su najpoznatiji: Impulsno kodna modulacija (PCM) i delta modulacija (DM).
- Modulacijski postupci za prijenos podataka u radio-difuziji.

U povijesti komunikacija značajnu ulogu je odigrala amplitudna modulacija, koja je danas u svom izvornom obliku gotovo napuštena. Međutim njezina primjena je i dalje prisutna u složenim modulacijskim postupcima. Posebno je pogodna za razumjevanje modulacije uopće.

Frekvencijska modulacija je danas najzastupljenija u radio-difuziji, premda su razvijene i koriste se i druge modulacije odnosno modulacijski postupci koji u sebi sadrže veći broj postupaka i faza obrade signala.

Od velikog broja modulacija ovdje će biti prezentirane:

- amplitudna modulacija (AM)
- frekvencijska modulacija (FM)
- kvadaraturna amplitudna modulacija (QAM)
- impulsno kodna modulacija (PCM) i
- delta modulacija (DM)

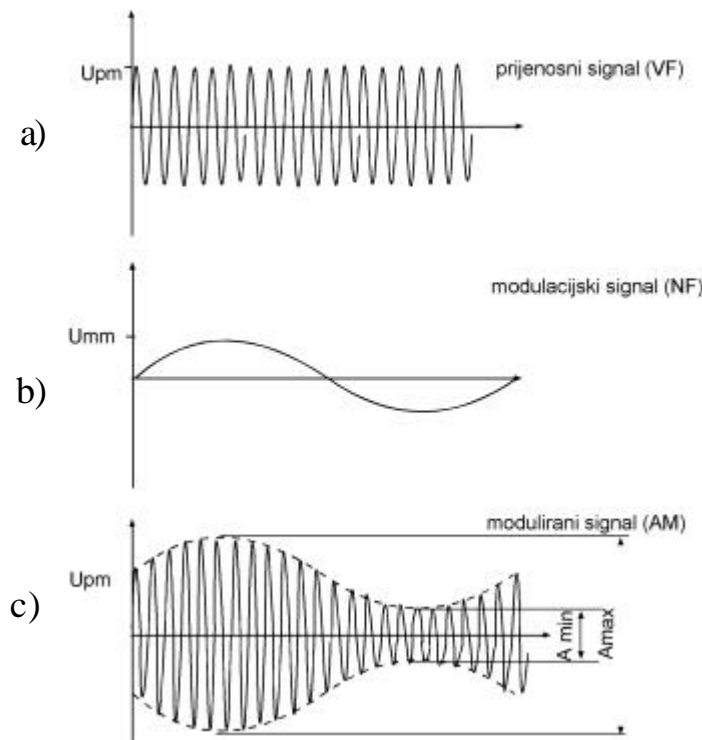
### 3.1.1. Amplitudna modulacija (AM)

Amplitudna modulacija u svojem pocetnom, izvornom obliku danas se malo koristi, no principe modulacije uopce, najlakše je razumijeti na primjeru amplitudne modulacije.

Modulacija amplitude prijenosnog signala vrši se tako da se amplituda mijenja na nacin i po zakonu promjene modulacijskog signala.

Prijenosni signal je taj koji ce nam poslužiti za prijenos informacije (sl.43 a).

On sam ne sadrži informaciju. Informacija je sadržana u modulacijskom signalu (sl.43b). On je sam po sebi informacija.



Slika 43: Amplitudna modulacija

Matematički oblik prijenosnog signala je:  $u_p = U_{pm} \sin \omega_p t$ , a

modulacijskog:  $u_m = U_{mm} \sin \omega_m t$ , pri čemu je:  $\omega = 2\pi f$ ,  $\omega_p \gg \omega_m$

Na slici 43 c prikazan je amplitudno modulirani signal gdje se vidi da se amplitudna modulacija dobiva tako da modulacijski signal utiče na amplitudu prijenosnog signala te je mijenja na nacin i po zakonu po kojem se mijenja amplituda modulacijskog signala.

Jedan od važnih parametara modulacije je dubina modulacije ili indeks modulacije.

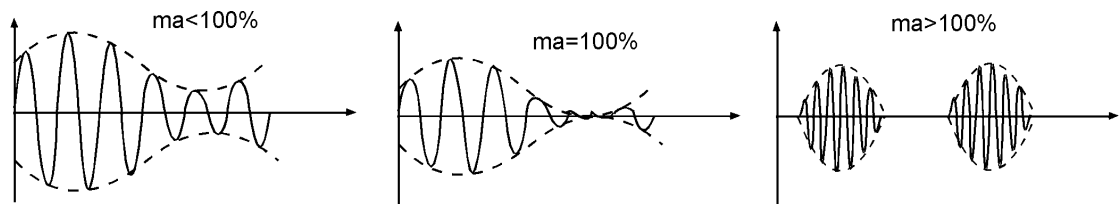
Indeks modulacije ili dubina modulacije je omjer između najveće promjene amplitude modulacionog signala i najveće promjene amplitude prijenosnog

signala. On pokazuje koliki je taj utjecaj modulacijskog signala na amplitudu prijenosnog signala. Izracunavamo ga prema sljedećoj formuli:

$$m_a = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} = \frac{U_{mm}}{U_{pm}}$$

Gdje su  $A_{\max}$  i  $A_{\min}$  velicine prikazane na slici 43c, dok su  $U_{mm}$  – amplituda modulacijskog signala, a  $U_{pm}$  – amplituda prijenosnog signala.

Na slici br. 44 prikazan je izgled AM signala za različite dubine modulacije:



Slika 44: Izgled AM signala za različite dubine modulacije

### 3.1.2. Spektralni prikaz AM signala

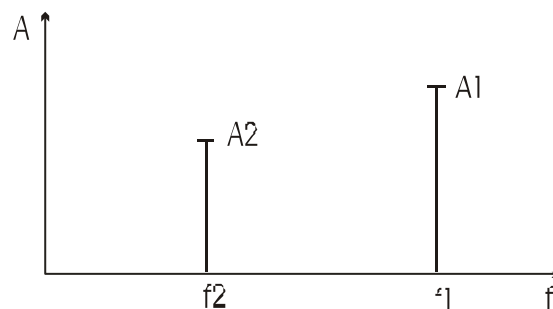
Što podrazumjevamo pod pojmom *spektar signala*.

Po definiciji, to je takav prikaz signala u kojem se vidi ovisnost amplitude signala o njegovoj frekvenciji. Taj prikaz može biti matematički, ali je grafički pogodniji.

Pretpostavimo da imamo dva neovisna signala i to:

- Sinusni signal čija je amplituda  $A_1$  i frekvencija  $f_1$  (? 1) i
- Sinusni signal čija je amplituda  $A_2$  i frekvencija  $f_2$  (? 2), pri čemu je  $A_1 > A_2$  i  $f_1 > f_2$ .

Njihov spektralni prikaz biti će kao na slici 45.



Slika 45: Spektralni prikaz dva zadana sinusna signala

U procesu amplitudne modulacije na ulazu u modulator (sl.46) imamo prijenosni signal  $u_p(t)$ , modulacijski signal  $u_m(t)$ , a na izlazu iz modulatora imamo tri signala:

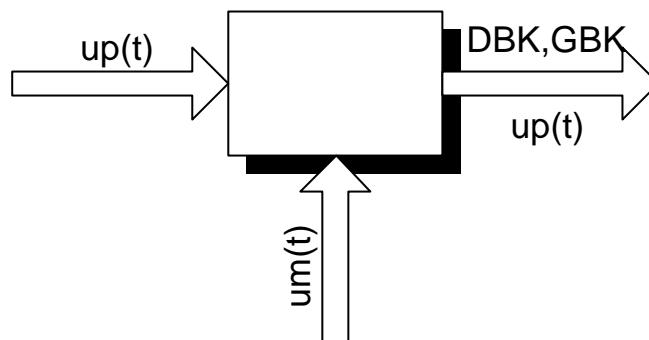
- signal amplitude  $\frac{m_a}{2} U_{pm}$  sa frekvencijom  $f_p - f_m$ , kojeg zovemo

### donja bocna komponenta (DBK) AM signala

- signal amplitude  $\frac{m_a}{2}U_{pm}$  sa frekvencijom  $f_p+f_m$ , kojeg zovemo

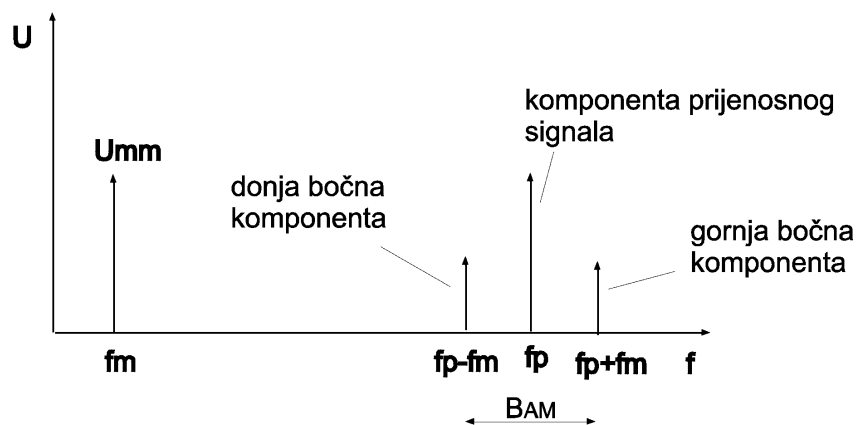
**gornja bocna komponenta (GBK) AM signala**, te

- nepromijenjen **prijenosni signal** sa amplitudom  $U_{pm}$  i sa frekvencijom  $f_p$ .



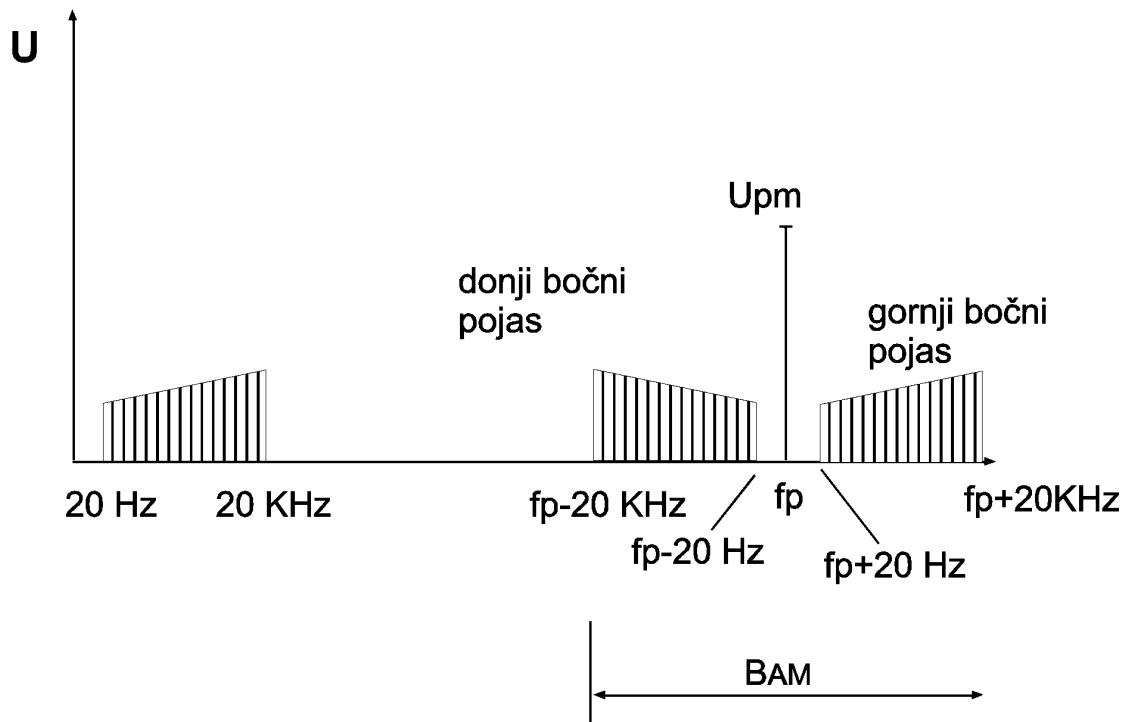
Slika 46: Blok shema AM modulatora sa pripadajucim signalima

Prema tome kod modulacije jednom frekvencijom imati cemo spektar signala prema slici 47:



Slika 47: Spektar AM signala kod modulacije jednom frekvencijom

Medutim, informacija redovito sadrži niz frekvencija i niz amplituda tako da spektar signala informacije prikazujemo u obliku trokuta ili trapeza. Prijenosni signal  $u_p(t)$  sada cemo modulirati nekom zvucnom informacijom koja, kao što znamo, obuhvaca pojas od 20 Hz do 20 KHz (sl.48).



Slika 48: Spektar AM signala kod modulacije pojasom frekvencija

Važan podatak kod svakog signala je širina pojasa frekvencija  $B$  kojeg on zauzima. U pravilu težimo da ona bude što manja, a da se ne naruši kvaliteta informacije.

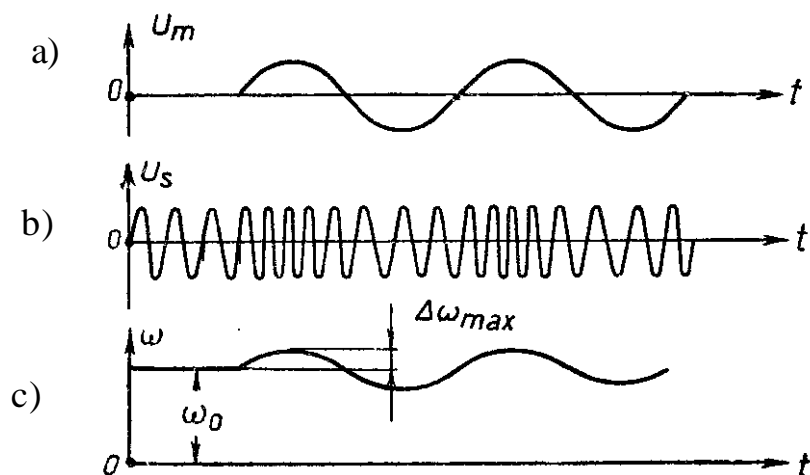
Za AM signal, širina pojasa  $B_{AM}$  je:

$$B_{AM} = 2 f_{m \max}$$

Gdje je  $f_{m \max}$ , maksimalna frekvencija modulacijskog signala (u našem primjeru  $B_{AM} = 40 \text{ KHz}$ ).

### 3.1.3. Frekvencijska modulacija (FM)

Frekvencijska modulacija nastaje kada se mijenja trenutna frekvencija prijenosnog signala proporcionalno promjeni razine modulacijskog signala. Vremenski prikaz FM signala (sl.49):



Slika 49: Vremenski prikaz FM signala

Na slici 49a je prikaz modulacijskog signala koji ima oblik sinusoide. Na slici 49b se vidi promjena frekvencije prijenosnog signala pri čemu se frekvencija za pozitivnu poluperiodu modulacionog signala povećava, a za negativnu smanjuje.

Na slici 49c dijagram prikazuje promjenu frekvenciju oko neke srednje vrijednosti  $\omega_0$ .

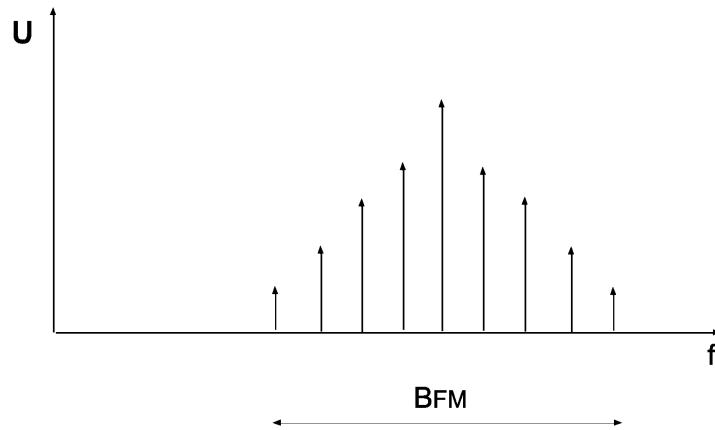
Maksimalnu promjenu frekvencije nazivamo devijacija frekvencije  $\Delta f$  ( $\Delta \omega$ ).

**Indeks frekvencijske modulacije  $m_f$**  definiramo kao omjer devijacije frekvencije i frekvencije modulacijskog signala.

$$m_f = \Delta f / f_m, \text{ gdje je:}$$

$\Delta f$  – devijacija frekvencije, a

$f_m$  - frekvencija modulacijskog signala



Slika 50: Spektar FM signala

Širina spektra FM signala mnogo je veća nego širina spektra AM signala. U procesu frekvencijske modulacije javlja se niz komponenata lijevo i desno od prijenosne frekvencije na međusobnim udaljenostima koje se razlikuju za  $f_m$ , no njihove amplitude brzo opadaju tako da se uzima širina spektra koja pripada amplitudi od maksimalno 1 % amplitude prijenosnog signala.

$$B_{FM} = 2 f_m (m_f + 1) \text{ ili}$$

$$B_{FM} = 2 f$$

### 3.1.4. Fazna modulacija

Frekvencijsku modulaciju (FM) i faznu modulaciju (PM), zajedničkim imenom nazivamo modulacija argumenta.

Što je faza?

Imamo signal oblika:

$U_0(t) = U_{m0} \sin(\omega_0 t + f_0)$ , izraz u zagradi predstavlja argument funkcije ili kut, pa se ove modulacije nazivaju i kutnim.

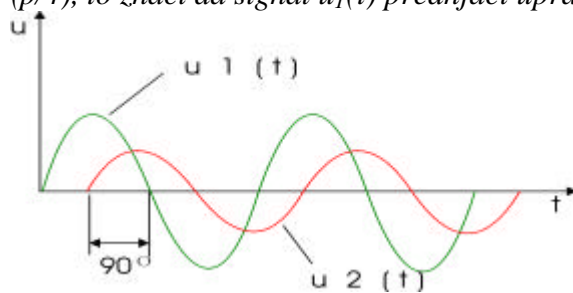
$f_0$  ćemo smatrati referentnom fazom koja će služiti samo za usporedbu sa nekim drugim sličnim signalom. Ako usporedbu ne moramo vršiti, možemo smatrati da je  $f_0 = 0$ .

Ako je drugi signal oblika:

$U_1(t) = U_{m1} \sin(\omega_0 t + f_1)$ , vidimo da su frekvencije oba signala jednake ( $\omega_0$ ), a različite su amplitude i faze.

Neka je na primjer razlika između faza  $f_1$  i  $f_0$ ,

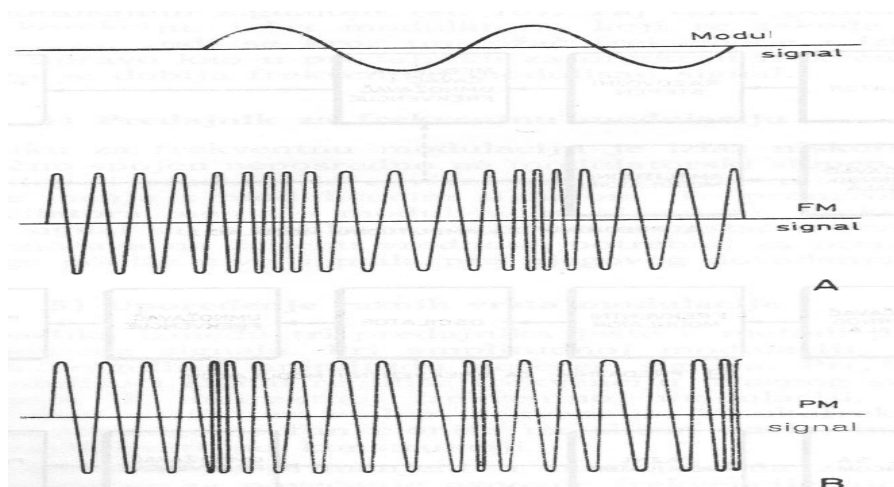
$f_1 - f_0 = 90^\circ$  ( $\pi/4$ ), to znači da signal  $u_1(t)$  prednjaci upravo za  $\pi/4$ .



Dakle biti će riječi o promjeni frekvencije i faze prijenosnog signala proporcionalno promjeni amplitude modulacijskog signala, sa ciljem prijenosa informacije.

Na slici su prikazi FM i PM signala uz odgovarajući modulacijski signal u vremenskom području.

Vidimo da su prikazi FM i PM signala identični.

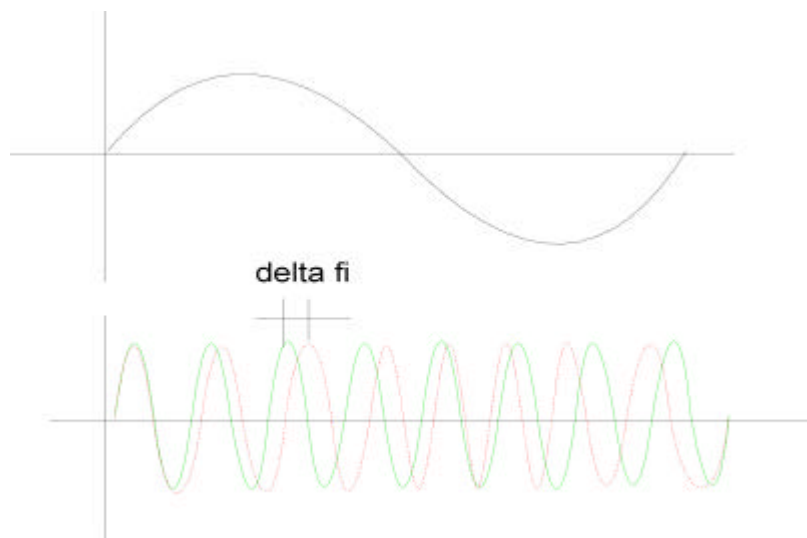


Slika 50/1. Frekvencijska i fazna modulacija

Iz toga proizlazi da se faznom modulacijom ujedno dobiva i FM signal, a frekvencijskom modulacijom se dobiva PM signal.

Koja je onda razlika među njima?

Kod PM-a je promjena faze proporcionalna promjeni amplitude modulacijskog signala, a kod FM je promjena frekvencije proporcionalna promjeni amplitude modulacijskog signala.



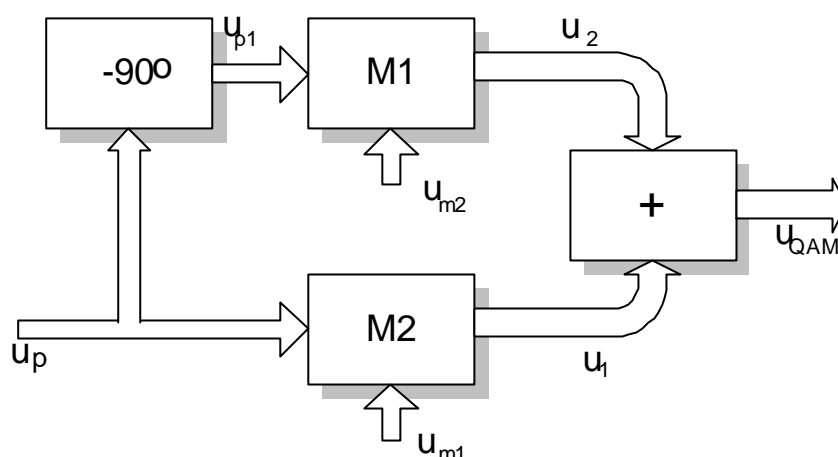
Oba signala imaju identican spektar.

Širina spektra teoretski je beskonacna, a komponente su na međusobnoj udaljenosti  $f_m$ . Amplitude ovih komponenti brzo opadaju te se u obzir uzimaju samo one čija je snaga unutar 1% snage prijenosnog signala.

### 3.1.5. Kvadratura amplitudna modulacija QAM

Kvadratura amplitudna modulacija ili QAM je složeniji modulacijski postupak, koji se koristi kod prijenosa TV signala i kod prijenosa digitalnih signala.

Ovom modulacijom postižemo to da se istom prijenosnom signalu, pomoću amplitudne modulacije, utiskuju dva modulacijska signala (sl.50).

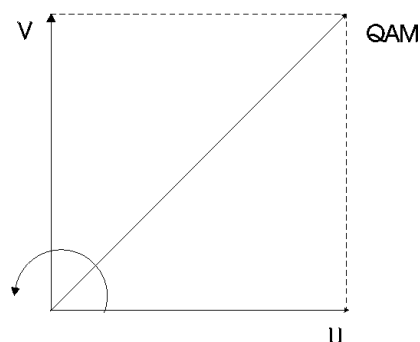


Slika 50: Blok shema dobivanja QAM signala

Modulacijski signal  $u_{m1}$  modulira amplitudu prijenosnog signala  $u_p$ , dok istovremeno modulacijski signal  $u_{m2}$ , modulira amplitudu signala, koji je relativno fazno pomaknut za  $90^\circ$  u odnosu na signal  $u_p$ .

QAM signal se dobije zbrajanjem ta dva signala dakle sinusoide i kosinusoide istih frekvencija.

Rezultantni modulirani signal  $u_{QAM}$ , će dakle imati promjenjivu amplitudu, ali i fazu u odnosu na nemodulirani signal (sl.51).



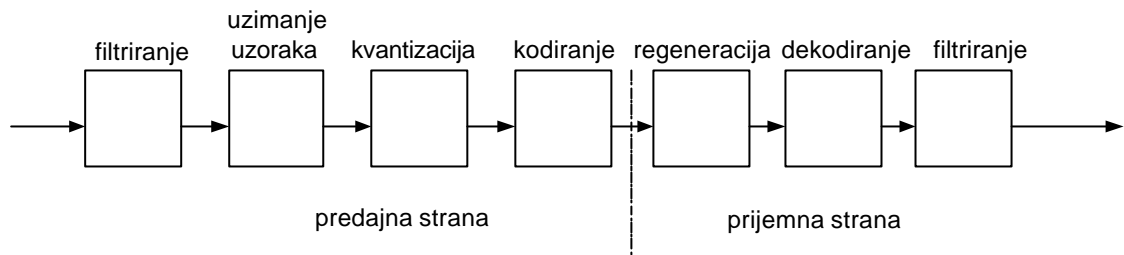
Sl.51: Vektorski prikaz QAM signala

$U$  i  $V$  su trenutne vrijednosti amplitude pojedinih moduliranih signala, a  $QAM$  je amplituda rezultantnog signala.

### 3.1.6. Pulsno-kodna modulacija (PCM)

Diskretne modulacije u koje spada i PCM (sl.51) imaju tu veliku prednost što su izvanredno otporne na smetnje. Štaviše diskretno modulirani signal se može skoro u potpunosti regenerirati ako je došlo do njegove promjene u

određenim granicama pod utjecajem smetnji. PCM se često koristi, osobito u sustavima vremenskog multipleksa, koji je kasnije opisan.



Slika 51: Blok shema dobivanja i prijenosa PCM signala

PCM se zasniva na tri temeljna procesa (sl.52):

- uzorkovanje
- kvantiziranje i
- kodiranje

### 1. Uzorkovanje (sampling)

Uzorkovanjem uzimamo mjeru signalu na ekvidistantim razmacima. To znači da svakih nekoliko mikrosekundi mjerimo iznos signala i uzimamo u tom trenu uzorak signala kakav on jest (sl.52 a,b).

Uzorkovanje se vrši po Shannon- ovom teoremu koji kaže da frekvencija uzorkovanje mora biti barem dva puta veća od najveće frekvencije signala kojeg uzorkujemo.

$$f_s = 2f_g$$

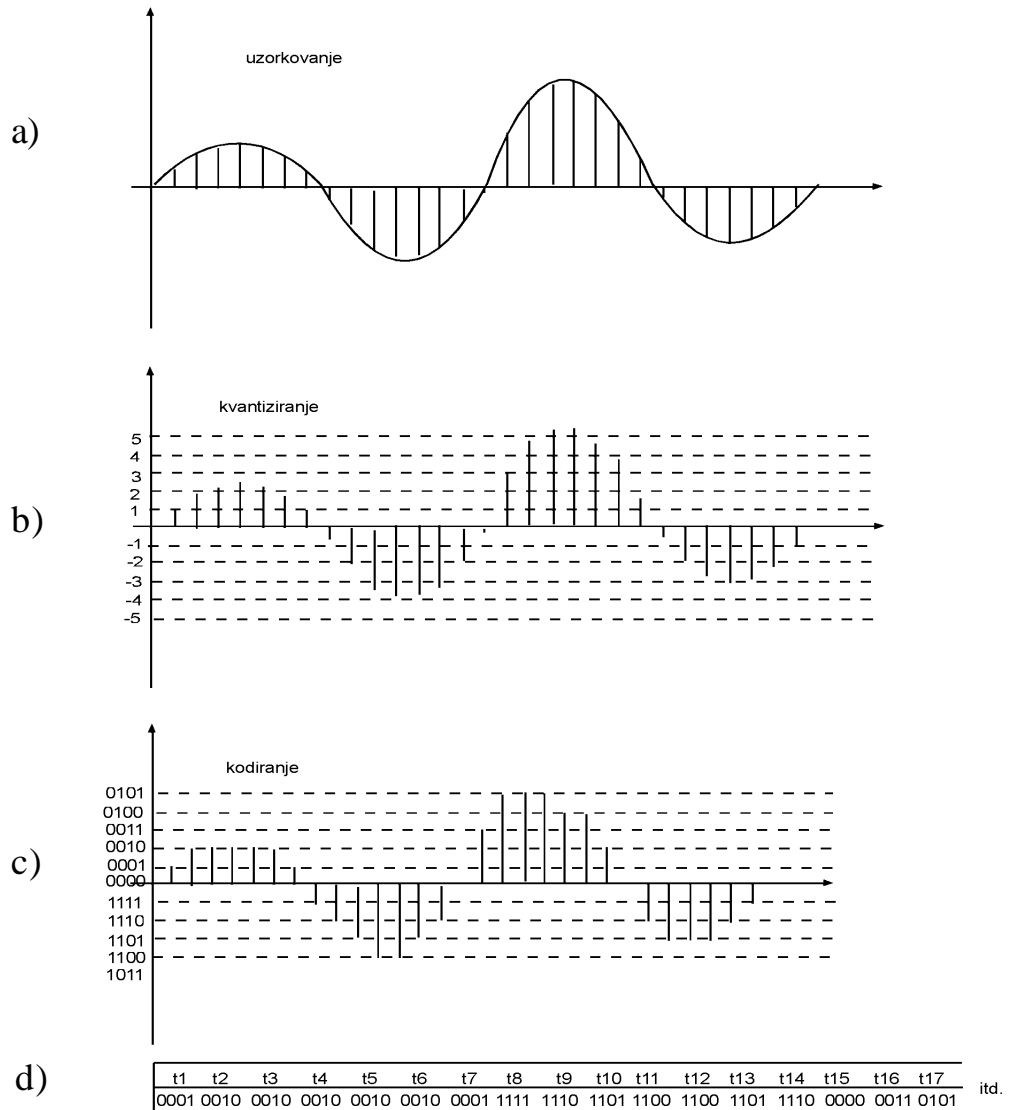
Ovako uzorkovani signal može se na prijemnoj strani besprijekorno regenerirati u svoj originalni oblik.

### 2. Kvantiziranje

Kvantiziranjem pridružujemo svakoj vrijednosti uzorka neku najbližu unaprijed zadanu vrijednost (sl.52 c).

### 3. Kodiranje

Kodiranjem pridajemo svakom kvantiziranom uzorku dvokomplementni binarni kod (sl.52 d).



Slika 52: Proces nastanka PCM signala

### Šum kvantiziranja

Zbog pridavanja kvantiziranih vrijednosti uzorcima, neminovno se javlja odstupanje od originalnog signala, koje se očituje kao šum kvantiziranja.

On se izražava, kao i svaki šum, kroz odnos S/N (signal/šum).

$$S/N = 6,02 \cdot n + 1,76 \text{ (dB)}$$

Vidimo da je odnos S/N bolji ako povećamo broj uzoraka.

Primjer:

Za snimanje muzickih CD-a koristi se PCM, pri cemu je broj bitova  $n = 16$ .

Na osnovu toga utvrđujemo da je broj razina kvantizacije  $2^n = 65536$ .

Zu ove uvjete, odnos signal šum ima vrijednost 98,08 dB.

Radi usporedbe kod magnetskog snimanja zvuka analognim postupkom kod profesionalnih uređaja, odnos signal-šum kreće se oko 60 dB.

### 3.1.7. Delta modulacija (DM)

Delta modulacija spada među diskretne, odnosno digitalne modulacije.

Kod PCM možemo lako uočiti, da prilikom uzorkovanja, ukoliko je ono izvršeno sa dovoljnom frekvencijom, među uzorcima signala postoji određena veza, tj. amplituda se znatnije ne mijenja.

Ta povezanost je tim veća što je veća frekvencija uzoraka.

Nameće se zaključak da je dovoljno promatrati samo razliku između veličine susjednih uzoraka tj. da li je slijedeći uzorak veći, manji ili jednak prethodnome.

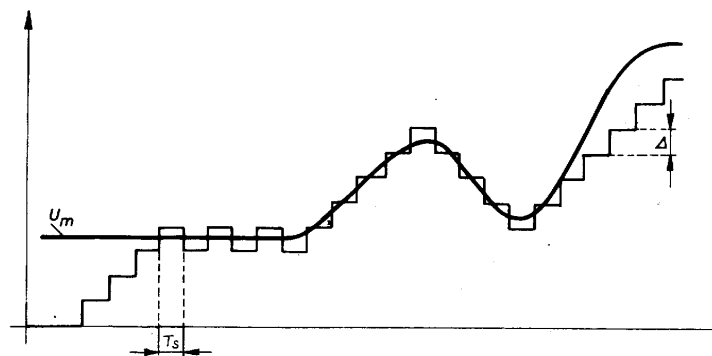
Taj postupak se zove diferencijalna kvantizacija.

Kod delta modulacije (DM) ne upotrebljavaju se podaci o apsolutnim razinama signala u trenucima uzimanja uzoraka već samo podaci o predznaku promjene signala.

Na ulaz u delta modulator dovodimo analogni signal informacije.

Delta modulator sam sekvencijalno generira uzorke signala  $U$ , u vremenskim razmacima  $T_s$ , počevši od neke slučajne razine, uspoređuje ih sa signalom informacije pokušavajući ga "uhvatiti" (sl.53)

Ako je razina trenutnog uzorka veća od razine prethodnog modulator će na svom izlazu generirati signal koji odgovara znaku «1», a ako je ona niža tada se generira «0». Ukoliko nema promjene u razini signala, naizmjenice se ponavljaju znakovi «1» i «0».



Slika 53: Princip nastanka DM signala

Na izlazu iz delta modulatora imat cemo u prikazanom primjeru:

111101010111111000001111111

### Pogreška kvantizacije u DM sustavu

U sustavima sa DM nastaju dvije vrste pogrešaka kvantizacije:

- izoblicenje signala zbog preopterećenja strminom i
- granulacijski šum

**Preopterećenje strminom** nastaje kada je korak  $\Delta U$  premalen da bi slijedio nagle promjene ulaznog signala (v.zadnji dio krivulje na prethodnoj slici)

**Granulacijski šum** je posljedica prevelikog koraka  $\Delta U$  zbog cega signal varira oko stvarne razine ulaznog signala.

Ova modulacija je najprikladnija za modulaciju govornog signala.

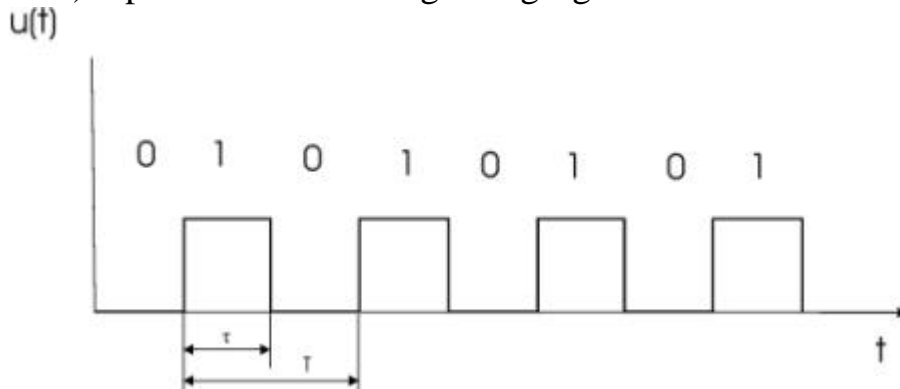
Da bi se izbjegle ove pogreške koristi se ADM –adaptivna delta modulacija.

Kod ove modulacije razlikuju se brze i spore promjene ulaznog signala, tako da se kod sporih promjena ulaznog signala uzima manji korak  $\Delta U$ , a kod naglih promjena veci korak  $\Delta U$ .

### 3.1.8 Diskretna modulacija sinusnog signala

Digitalnu informaciju predstavljamo digitalnim elektricnim signalom. To je signal koji se sastoji od diskretnih stanja amplitude. U vecini slucajeva to su «1» i «0». Takav elektricni signal možemo prenositi izravno na takav nacin da ga kao razlicite naponske razine uputimo preko nekog fizickog voda do primatelja. Drugi je nacin da njime izvršimo modulaciju prijenosnog signala sinusnog oblika te ga kao takvog šaljemo fizickim medijem (vodic) ili slobodnim prostorom (radio valovi)

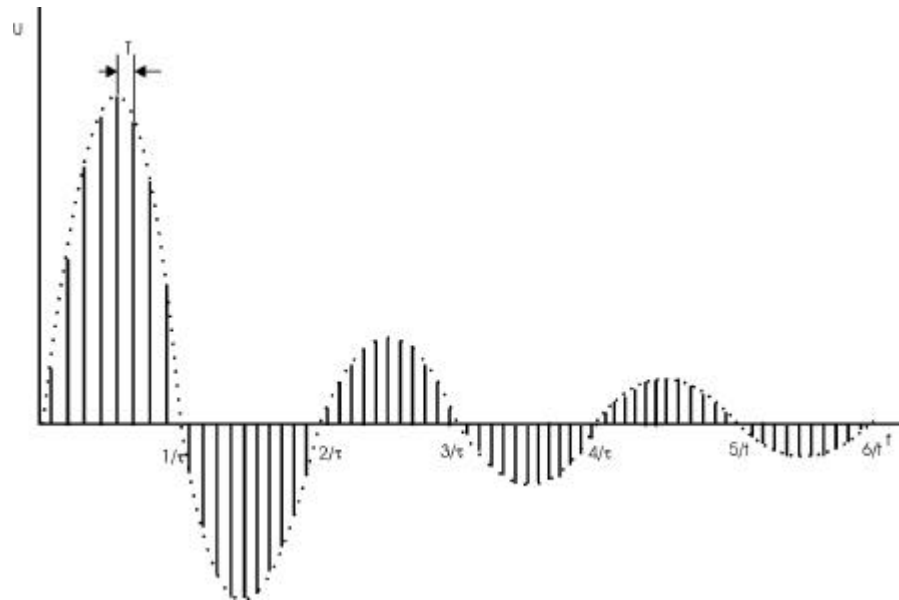
a) Spektralne osobine digitalnog signala



Slika 54:Vremenski prikaz digitalnog signala

Iz teorije znamo da pravokutni impulsi sadrže velik broj harmonickih komponenti i zauzimaju opseg frekvencija koji je vrlo širok (teoretski – beskonacno).

Spektar jednog pravokutnog impulsa prikazan je na slici 55.



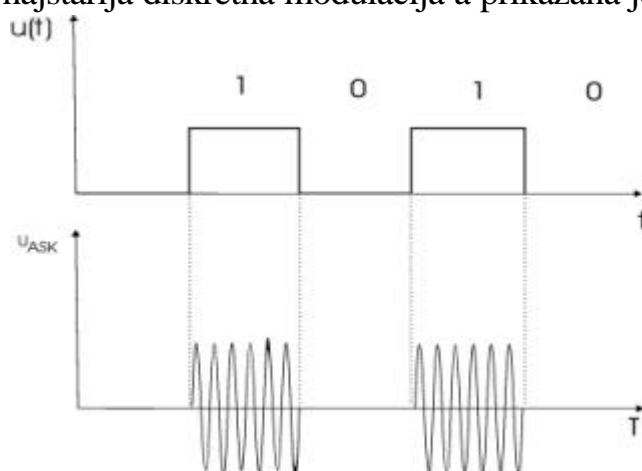
Slika 55: Spektar pravokutnog impulsa

Zbog velike širine spektra njihov bi prijenos bio vrlo neekonomican, pa se pravokutni impuls mora najprije prikladno obraditi.

Pogledajmo tri osnovne vrste digitalne modulacije sinusnog signala

b) Diskretna modulacija amplitude -ASK (Amplitude Shift Keying )

Ovo je najstarija diskretna modulacija a prikazana je na slici 56.



Slika 56: Diskretna modulacija amplitude

U vremenskom intervalu modulacijskog signala koji pripada znaku «1», modulirani signal ima amplitudu  $U_{pm}$  i frekvenciju  $f_p$ , a u intervalu koji odgovara znaku «0», amplituda moduliranog signala jednaka je nuli.

Spektar takvog signala i dalje zauzima beskonacnu širinu pojasa.

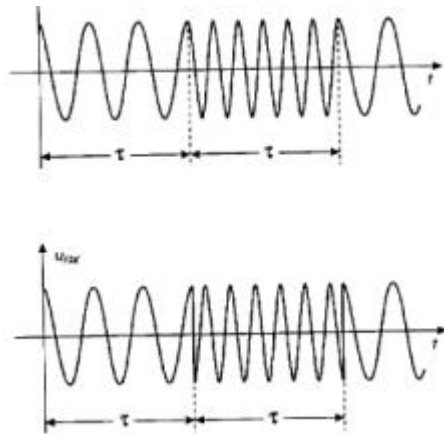
c) Diskretna modulacija frekvencije - FSK (Frequency Shift Keying)

Ovaj se modulacijski postupak temelji na tome da se svakom stanju binarnog digitalnog signala dodijeli jedna diskretna frekvencija prijenosnog signala (Sl.57).

Obično se stanju «1» dodijeli frekvencija  $f_1$ , a stanju «0» frekvencija  $f_0$ , pri čemu je  $f_1 > f_0$ .

Ova se pojava koristi danas veoma mnogo, a modulacijski postupak kojim se dobiju najbolji rezultati naziva se GMSK.

Ako imamo dva oscilatora koja naizmjenice generiraju frekvencije  $f_1$  i  $f_0$ , imat ćemo i diskontinuitet faze



Slika 57: Diskretna modulacija frekvencije

Spektar FSK signala također je beskonacno širok.

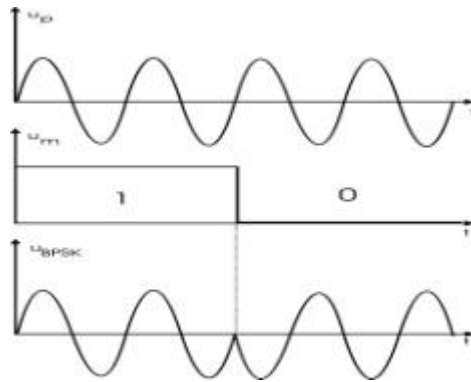
d) Diskretna modulacija faze- PSK (Phase Shift Keying)

Kod ove modulacije se binarnim znakovima 1 i 0 pridaju diskretne vrijednosti faze koje su točno definirane. Kao referentna uzima se faza prijenosnog signala.

Na primjer, znaku «1» pridajemo fazu  $0^\circ$ , a znaku «0» pridajemo fazu  $180^\circ$ , odnosno  $\pi$ .

Ovaj modulacijski postupak možemo jednostavno usporediti sa QAM, uz napomenu da imamo dva prijenosna signala fazno pomaknuta za  $180^\circ$ , a modulacijski signal poprima samo dvije amplitude.

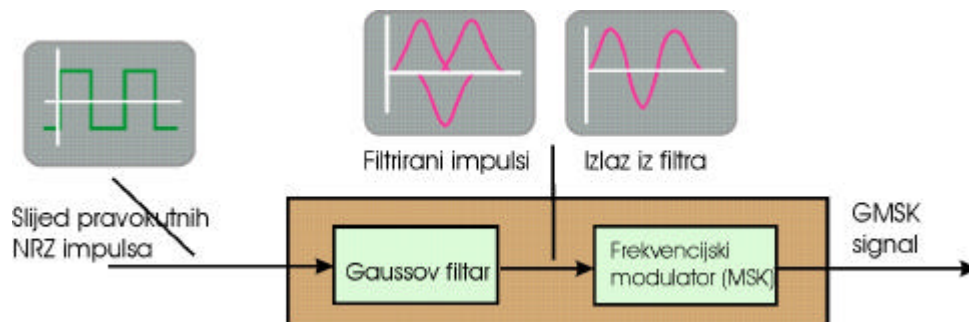
Vremenski prikaz tako moduliranog BPSK signala imamo na slici 58.



Slika 58: Vremenski prikaz BPSK

Dobra strana ovog modulacijskog postupka je otpornost na smetnje, a druga je prednost ovog modulacijskog postupka u obliku spektra ovoga signala. Ukoliko se prije samog modulacijskog postupka, modulacijski signal propusti kroz tzv. Gaussov niskopropusni filtar, spektar ce biti još boljih karakteristika.

Impuls koji propustimo kroz Gaussov filtar ima karakteristican «zvonasti» oblik .



Slika 59: Blok shema GSMK sustava

Kao rezultat ovog modulacijskog postupka dobivamo ustvari fazno modulirani signal, kojem se faza mijenja postupno, cime se dobiva spektar vrlo povoljan u pogledu širine i prigušenja nepoželjnih spektralnih komponentata.

Primjena GSMK danas je vrlo proširena, tako da je za prijenos podataka žicnim i bežicnim vezama nezaobilazan. Posebno je interesantan i zato što se primjenjuje u mobilnim komunikacijama - GSM.

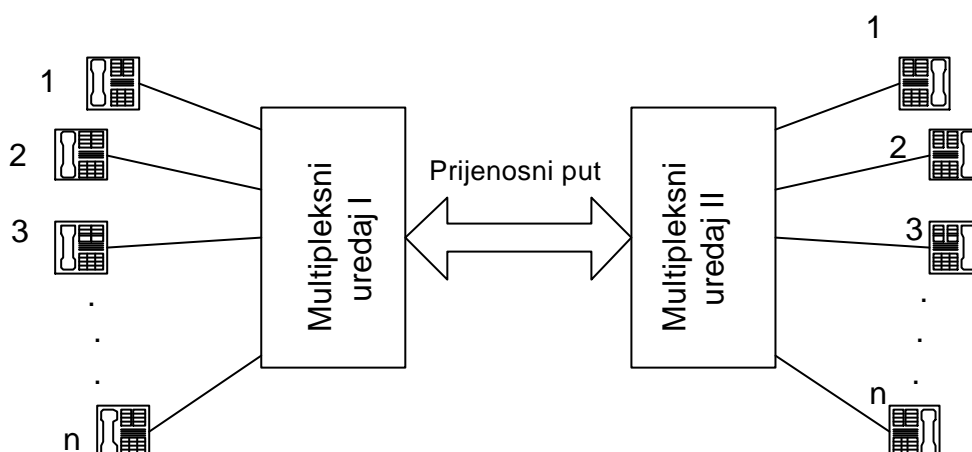
## 3.2. Multipleksni sustavi

Pojam «multipleks» već je spominjan na samom početku, a označava sustav koji omogućava višestruko korištenje jednog prijenosnog puta.

Od prvih projektiranja i izgradnje veza na daljinu javlja se ideja o višestrukome korištenju odgovarajuće linije tj. istovremenom korištenju nekoliko neovisnih aktivnih veza po istom prijenosnom putu.

Ovdje će biti riječi o dva najpoznatija principa multipleksa: frekvencijskom i vremenskom.

Principijelna shema multipleksa prikazana je na sl.60.



Slika 60: Principijelna shema n-kanalnog multipleksa

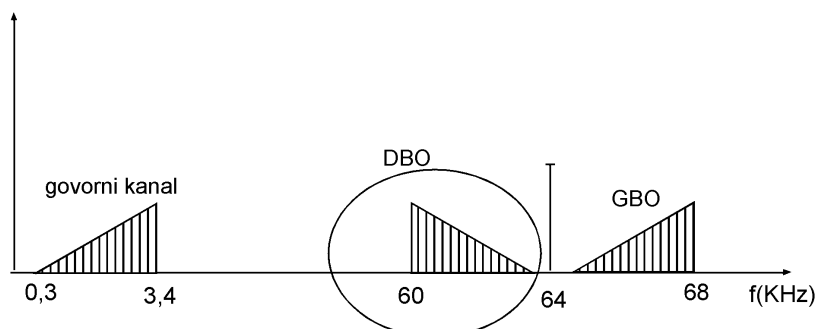
### 3.2.1. Frekvencijski multipleks

Frekvencijski multipleks se temelji na amplitudnoj modulaciji.

Pretpostavimo da vršimo amplitudnu modulaciju signalom informacije koji se sastoji od govornog signala u rasponu frekvencija u od 0,3 KHz do 3,4 KHz. Radi jednostavnosti reci ćemo da je širina govornog opsega 4 KHz, premda je ta širina ustvari 3,1 KHz (3,4 KHz – 0,3 KHz)

Modulaciju ćemo izvršiti prijenosnim signalom čija je frekvencija 64 KHz.

Na slici 61 pogledajmo spektar takvog AM signala :



Slika 61: Spektar AM signala kod modulacije govornim signalom

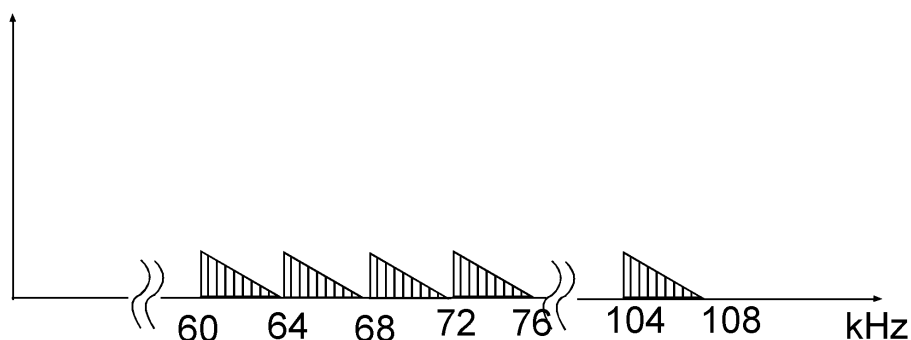
Modulacijom prebacujemo govorni opseg od 4 KHz u više područje spektra pri čemu nastaju dva bočna opsega.

Za prijenos signala dovoljan je jedan bočni opseg bez prijenosnog signala te se filtrom izdvaja donji bočni opseg u rasponu frekvencija od 60 do 64 KHz. Sljedećeg učesnika, odnosno njegov govorni signal modulirati ćemo sa 68 KHz i uzeti DBO od 64 do 68 KHz.

Tako ćemo redom 12 kanala modulirati sa prijenosnim frekvencijama pomaknutim za po 4 KHz.

Dobiti ćemo ukupno 12 kanala u rasponu od 60 do 108 KHz.

Tako složene kanale zovemo osnovna ili primarna grupa (sl.62).



Slika 62: Kanali koji čine osnovnu ili primarnu grupu

Sljedeći korak je slaganje na identičan način pet osnovnih grupa modulacijom sa odgovarajućim prijenosnim frekvencijama. Tako dobivamo super grupu od  $5 \times 12 = 60$  kanala u rasponu od 312 do 552 kHz.

Sljedeći korak je slaganje 5 super grupa u master grupu odnosno  $5 \times 60 = 300$  kanala.

Tako u nekoliko koraka dolazimo do kanalnog sustava od 10800 kanala koji zauzimaju područje frekvencija od 4 do 60 MHz.

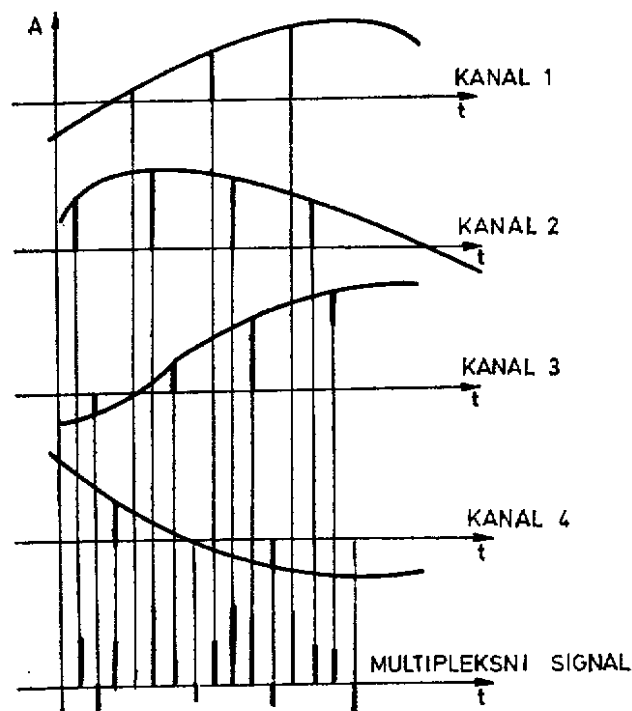
### 3.2.2. TDM-vremenski multipleks

Vremenski multipleks se bazira na PCM uz  $f_s = 8$  kHz. Svaki uzorak se kodira sa 8 bitova tj.  $n=8$ , odnosno  $2^n = 256$  razina kvantiziranja.

U prvom koraku obavlja se slaganje 32 kanala, pri čemu je 30 govornih kanala, a dva su pomoćna.

Formiranje vremenskog multipleksa pokazati ćemo na primjeru 4 kanala (sl.63).

Multipleks se formira na taj način da se od svakog kanala uzima sukcesivno po jedan uzorak: od 1. kanal – prvi, od 2. kanal – drugi itd.



Slika 63: Formiranje vremenskog multipleksa

Kao rezultat dobivamo slijed uzoraka, odnosno njihove kodove, u kojem se točno zna koji uzorak pripada kojem kanalu.

Realni sustav čine 32 kanala.

Kod frekvencije uzorkovanja  $f_s = 8 \text{ KHz}$ , vremenski razmak između dva impulsa je jednak  $T_s$  i iznosi  $125 \text{ } \mu\text{s}$ .

U tom vremenu potrebno je prenijeti impulse sva 32 kanala, što znači da na svaki kanal otpada  $125/32 = 3,9 \text{ } \mu\text{s}$ .

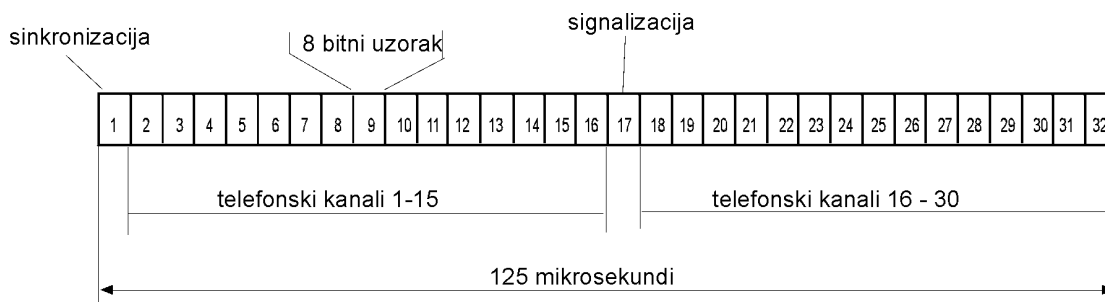
Slijedi kodiranje sva 32 impulsa sa 8-bitnim digitalnim kodom. Svi bitovi, sva 32 kanala čine **okvir** (frame).

Koliko ih je u jednoj sekundi?

$$8000 \text{ okvira} \times 32 \text{ kanala} \times 8 \text{ bita} = 2048000$$

To znači da je brzina potrebna za prijenos 32 kanala upravo  $2.048 \text{ Mb/s}$ .

Okvir ima svoju točno definiranu strukturu (sl.64).



Slika 64: Struktura okvira

Prvo mjesto tj. prvih 8 bitova pripada sinkronizaciji. Između odašiljaca i prijemnika mora se uspostaviti veza u kojoj će se točno znati kojih 8 bita pripada kojem kanalu i kada je uopće početak nekog okvira.

Za to je zadužen sinkronizacijski kanal koji sadrži prepoznatljivu kombinaciju bitova od kojih prijemnik počinje pravilno funkcionirati.

Sedamnasta grupa bitova pripada signalizacijskom kanalu. U njoj su sadržani bitovi koji predstavljaju signale koji se razmjenjuju tijekom komunikacije (pozivni signal, signal zauzeca i sl.)

Ostali kanali pripadaju govornim vezama.

Formiranje multipleksnih sustava kod TDM-a vrši se prema standardu koji se zove PDH (**P**leziohrona **D**igitalna **H**ijerarhija) i koristi se u Evropi .

Oznaka	Brzina	Broj kanala
E0	64 kbps	1
E1	2048 kbps	32
E2	8448 " , 8 Mbps	128 (120 govornih)
E3	34368 " , 34 Mbps	544 (480 govornih)
E4	139264 " , 140 MBps	2240(1920 govornih)
E5	565 Mbps	7680

Tablica 5: Pleziohrona digitalna hijerarhija

### 3.2.3. ISDN

ISDN je sustav koji omogućuje korisniku upotrebu vremenskog multipleksa. Navedimo najprije jednu od važecih definicija:

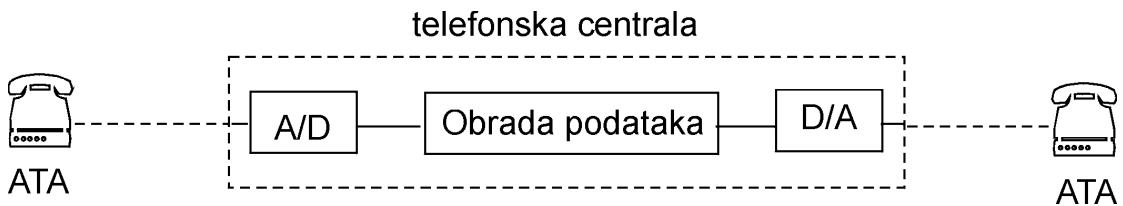
“ISDN je mreža koja nastaje **iz postojeće telefonske integrirane digitalne mreže**, osigurava digitalnu prospojnost s kraja na kraj i podržava širok izbor govornih i negovornih usluga do kojih korisnici imaju pristup preko ograničenog skupa **standardnih višenamjenskih sučelja**.” (HPT)

Iz ove definicije mogu se uočiti dvije važne činjenice:

Da bi korisnik mogao koristiti ISDN, mreža na koju je priključen mora biti već jednim djelom digitalizirana. U praksi to se svodi na digitalnu telefonsku centralu (tonsko biranje, posebne usluge, 7-znamenasti pozivni broj sl.), pri čemu se koristi bez preinaka postojeći telefonski priključak i odgovarajuća parica.

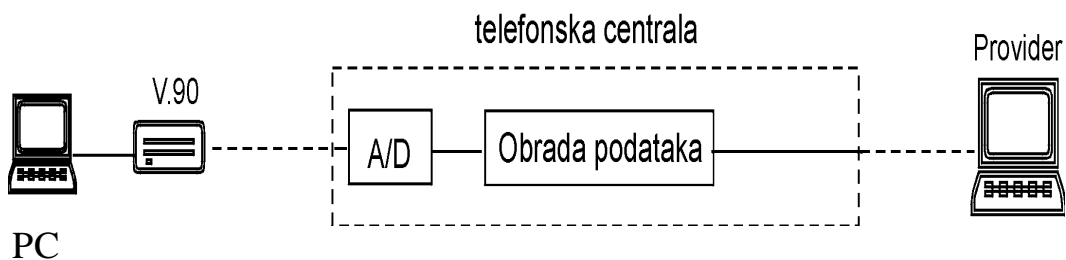
Standardna višenamjenska sučelja je pojam koji podrazumijeva da pretplatnik ima instaliranu odgovarajuću opremu koja na liniju šalje digitalni signal.

Dotadašnji način komunikacije podrazumijevao je da naš poziv na strani centrale podliježe A/D pretvorbi, u centrali se digitalno obrađuje i ponovno se pri slanju do ucesnika kojeg smo pozvali vrši D/A pretvorba (sl.65).



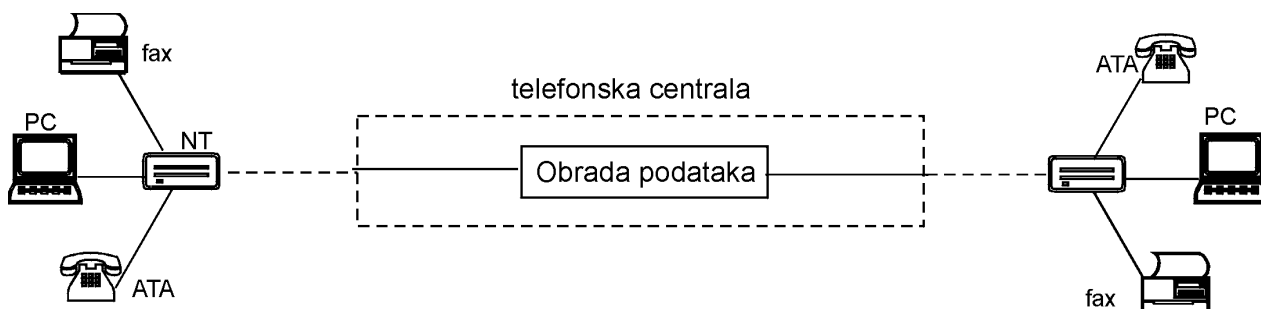
Slika 65: Blok shema prijenosa sa A/D i D/A pretvorbom

Kada se koristimo računalom za prijenos podataka situacija je bila identična. Upotrebom modema sa V.90 standardom, D/A pretvorba koristila se pri slanju signala na liniju, A/D pretvorba koristila se je u centrali na strani pretplatnika, ali je odgovarajući izlaz iz računala našeg providera bio direktno digitalno spojen sa centralom bez ikakve konverzije (sl.66), što je predstavljalo jednu međufazu u primjeni ISDN-a.



Slika 66: Blok shema korištenja modema V.90

U konacno formiranoj ISDN vezi A/D i D/A pretvorba vrši se kod samog pretplatnika, što znaci da na liniju odlazi digitalni signal, kao takav se u centrali obrađuje i prosljeđuje željenom ucesniku (sl.67).



Slika 67: Blok shema korištenja ISDN-a

Princip ISDN-a:

ISDN se bazira na PCM-u i vremenskom multipleksu. Pošto znamo da se PCM govornog signala vrši na osnovu frekvencije uzorkovanja  $f_s=8000$  Hz i 8 bitnom prijenosu, onda jednostavna racunica pokazuje da na taj nacin možemo ostvariti brzinu od  $8 \text{ bita} \times 8.000 \text{ Hz} = 64.000 \text{ bit/s}$ .

Tako se dobiva osnovni ISDN B-kanal (Broadband-širokopojasni).

Osim B kanala u ISDN-u se koristi i tzv. D-kanal koji služi za signalizaciju prilikom uspostavljanja osnovne veze preko B-kanala.

Brzina ovog kanala je 9600 bit/s.

Na raspolaganju korisnik ima dva B kanala, što znaci da može uspostaviti vezu brzinom od 128 Kb/s.

Korisnik može koristiti ISDN i ove kanale ako izabere jedan od dva moguća pristupa:

Osnovni pristup (BRA)

Primarni pristup (PRA)

### BRA - Osnovni pristup (Basic Rate Access)

Namijenjen je prvenstveno manjim korisnicima (manje tvrtke i obitelji) a omogućava brzinu usluge od 144 kbit/s po formuli:  $2B+D$ . To znaci da su korisniku na raspolaganju dva B-kanala i D-kanal.

Na ovaj način omogućeno je istovremeno slanje ili primanje podataka po dva kanala brzinom od 64 kbit/s po kanalu ili brzinom od 128 kbit/s korištenjem oba kanala u isto vrijeme za jednu vezu.

Napomena: Moguća je upotreba još i kanala za signalizaciju i za sinkronizaciju pri čemu se brzina povećava za 32 kbit/s na 160 kbit/s ( $2 \times 16 \text{ kbit/s} = 32 \text{ kbit/s}$ ).

### PRA – Primarni pristup (Primary Rate Access)

Predviđen je za velike korisnike (banke, poduzeća, ustanove), a realizira se četverožičnom vezom.

Sastoji se od 30 B-kanala i 2 D kanala, a veza se obavlja brzinom od 2.048 Mbit/s

### Mrežni zaključni uređaj (NT-Network Terminal)

To je uređaj kojim realiziramo našu ISDN vezu. On je sastavni dio Osnovnog pristupa i dobiva se na upotrebu sklapanjem ugovora o ISDN priključku.

Razlikujemo tri vrste NT uređaja:

NT1 – koji služi za priključivanje više ISDN uređaja (digitalni telefon, PC sa ISDN karticom, faksimil grupe 4)

NT-1+ 2a/b koji služi za priključak ISDN uređaja ali i 2 analogna terminalna uređaja (analogni telefon, modem i sl.)

NT-1 + 2a/b + V.24 koji omogućava priključak ISDN opreme i analogne opreme na prethodni način plus osobnog računala koje tada ne treba ISDN karticu.

### 3.3. Pitanja i zadaci:

1. Što je modulacija?
2. Što je amplitudna modulacija?
3. Kako definiramo indeks modulacije?
4. Nacrtaj spektar AM signala, ako je amplituda prijenosnog signala dva puta veća od amplitude modulacijskog signala, pri čemu je  $m_a = 100\%$ . Frekvencije zadaj proizvoljno.
5. Što je frekvencijska modulacija?
6. Što je devijacija frekvencije?
7. Čime je određena širina spektra FM signala?
8. Odredi širinu pojasa FM signala, ako je prijenosna frekvencija 88,7 MHz, maksimalna frekvencija modulacijskog signala je 10 KHz, a devijacija frekvencije je 30 KHz.
9. Što je uzorkovanje?
10. Kako se određuje broje uzoraka nekog PCM signala?

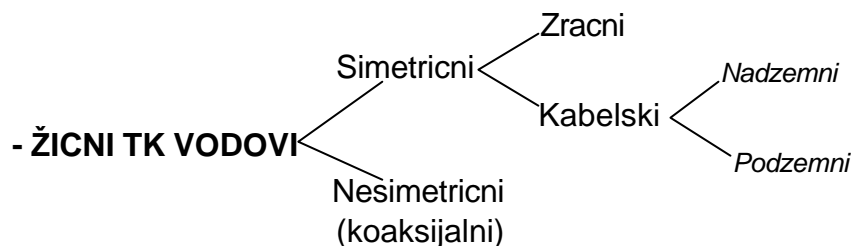
11. Što je kvantiziranje?
12. Što je kodiranje?
13. Koja je prednost DM u odnosu na PCM?
14. Koje se greške javljaju kod DM?
15. Rekonstruiraj izgled signala ako na izlazu delta modulatora imamo slijedeći slijed impulsa: 0 0 0 0 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1
15. Što podrazumjevamo pod pojmom multipleks?
16. Na čemu se bazira FDM?
17. Na čemu se bazira TDM?
18. Što je ISDN?
19. Na koji način korisnik ISDN-a raspolaže vremenskim multipleksom?
20. Koliku brzinu prijenosa ima na raspolaganju korisnik ISDN-a?

## 4. PRIJENOS SIGNALA

### 4.1. Prijenosni vodovi

TK vodovi (TK = telekomunikacijski) su električni vodici za prijenos informacija, a često se spominju u kontekstu tzv. «slabih struja».

Klasifikacija TK vodova:



- VALOVODI

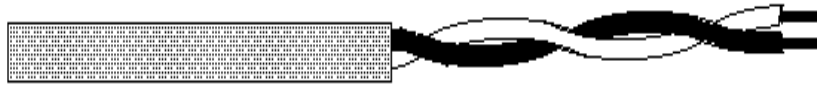
- SVJETLOVODI

#### 4.1.1. Simetrični kabelski vodovi

Kabelski vodovi ili kratko kabeli su skup vodica organiziranih na određeni način u jezgri koja je zaštićena od vanjskih utjecaja plaštem i armaturom. Naziv «simetričan» dolazi od toga da su svi vodici u kabelu simetrični u električnom smislu u odnosu prema zemlji.

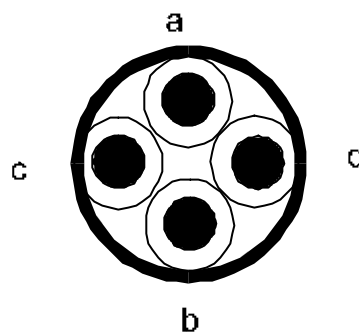
Vodici u kabelu se u jezgri kabela nalaze u dva osnovna oblika:

Parica tj. dva upredena izolirana vodica različito označena i to obično bojom (Sl.68).



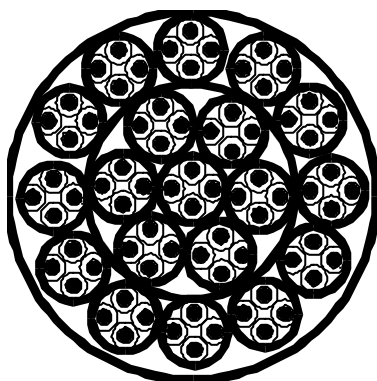
Slika 68: Parica

Cetvorka tj. dvije parice koje su medusobno upredene i obilježene na adekvatan način (Sl.69).

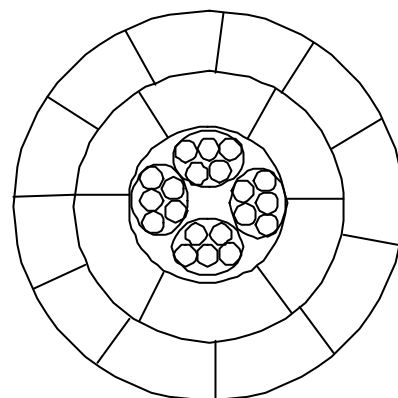


Slika 69: Cetvorka

Jezgra kabela može biti uređena na taj način da vodici budu postavljeni: koncentricno (Sl.70) ili sektorski (Sl.71)



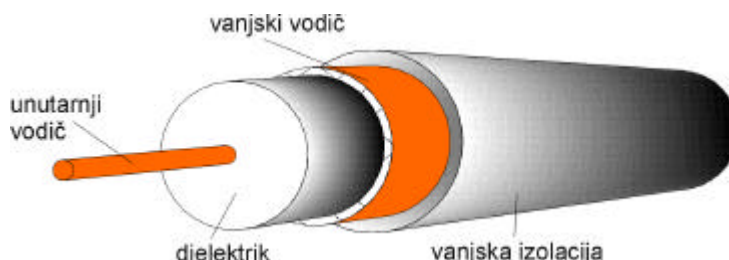
Slika 70: Koncentricna jezgra



Slika 71: Sektorska jezgra

#### 4.1.2. Nesimetrični kabelski vodovi

Osnovu ovih kabela čini tzv. koaksijalna ili nesimetrična parica ili koaksijalna tuba (Sl.72).



Slika 72: Struktura nesimetrične parice

Za razliku od simetrične parice, nesimetrična se upotrebljava kod prijenosa signala na višim frekvencijama.

Gornja granicna frekvencija za koaksijalnu paricu je 60 MHz, za razliku od simetrične parice gdje je to 552 KHz.

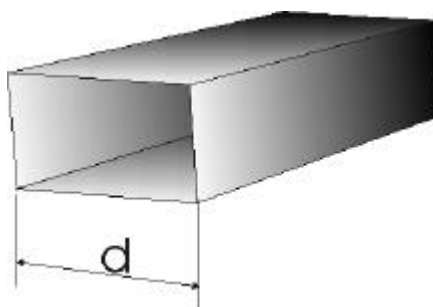
Struje visokih frekvencija ponašaju se na specifičan način. Pojava je poznata kao skin – efekt, a očituje se u tome da se gustoća struje kroz vodič povećava znatno povećava prema površini vodica, što je iskorišteno kod koaksijalnih vodova.

#### 4.1.3. Valovodi

Na vrlo visokim frekvencijama, elektromagnetski signal se ne prenosi kao struja nego poprima osobine elektro-magnetskog vala, čije se širenje može odvijati unutar zatvorenog prostora u zadanom smjeru.

Ove fizikalne karakteristike signala vrlo visokih frekvencija iskorištene su kod valovoda (Sl.73).

Valovodi su cijevi od vodljivih materijala, unutar kojih se šire elektromagnetski valovi. Presjek im može biti pravokutan, kružan ili eliptičan.



Slika 73: Valovod

Osnovne karakteristike valovoda su:

Prigušenje: 1 dB/km.

Širina pojasa frekvencija je : 50 – 100 GHz

Valna duljina elektromagnetskog zračenja koje se prenosi kroz valovod je:  
 $d > \lambda/2$  tj.  $\lambda < 2d$  , gdje je  $d$  – dulja strana valovoda.

Primjena valovoda ograničena je na povezivanje primopredajnih uređaja i antena.

#### 4.1.4. Svjetlovodi

Sljedeća stepenica u načinu prijenosa informacije je elektromagnetsko zračenje koje nazivamo svjetlost.

Prijenos svjetlosti sa najmanje gubitaka ostvaruje se optičkim vlaknima ili svjetlovodima.

Rijec je o valnim duljinama od 380 nm do 770 nm.

Područje većih valnih duljina od navedenih zovemo IC područje.

To su frekvencije reda veličina  $10^{15}$  Hz (Petaherca).

Prednosti svjetlovoda su sljedeće:

Odlična prijenosna svojstva : slabljenje signala je manje od 0,5 dB/km.

nema napona i struja pa je nepotrebna izolacija.

Nema preslušavanja tj. bježanja signala iz jednog u drugi paralelni vodič.

Malih su dimenzija i težine.

Velika im je savitljivost i elastičnost.

Velika otpornost na sve vrste vanjskih utjecaja.

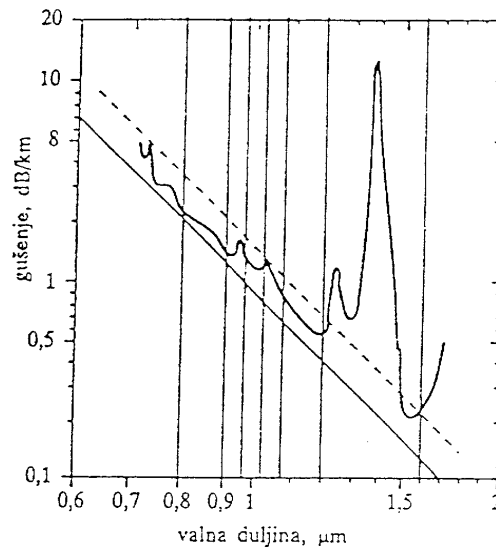
Niska cijena sirovine (SiO<sub>2</sub>).

Najbolja svojstva za vodenje svjetlosti imaju prozirni materijali

npr. specijalne vrste plastike, a posebno tzv. kvarcno staklo.

Kod prijenosa svjetlosti, kvarcni svjetlovodi nisu jednako prohodni za sve valne duljine svjetlosti.

Slika 74 prikazuje dijagram gušenja svjetlovoda izradenog od kvarcnog stakla u ovisnosti o valnoj dužini svjetlosti



Slika 74: Dijagram gušenja svjetlovoda od kvarcnog stakla

Na dijagramu uočavamo tri izrazita minimuma koji se nazivaju **prozori**.

Na osnovu ove karakteristike na upotrebi su tri grupe svjetlovoda.

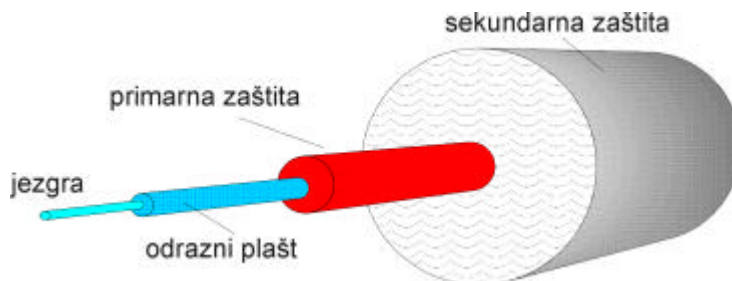
I prozor – 850 nm – danas se zbog prevelikog gušenja napušta

II prozor – 1250-1300 nm

III prozor – oko 1550 nm

Prema prozorima se klasificiraju uređaji i prijenosni svjetlovodni sustavi.

#### 4.1.4.1. Konstruktivne osobine svjetlovoda



Slika 75: Konstrukcija svjetlovoda

**Jezgra** služi za prijenos svjetlosnog signala. Obično je izradena od kvarcnog stakla. Promjer joj je tipično 50 μm.

**Odrasni plašt** ima namjenu da odbija svjetlost natrag u jezgru.

Izraden je obicno od kvarcnog stakla ciji je indeks loma manji nego indeks loma jezgre. Promjer niti sa odraznim plaštem je 125? m.

**Primarna zaštita** ima ulogu mehanicke zaštite jezgre i plašta.

Izradena je od plasticne mase. Promjer niti sa primarnom zaštitom je 220? m.

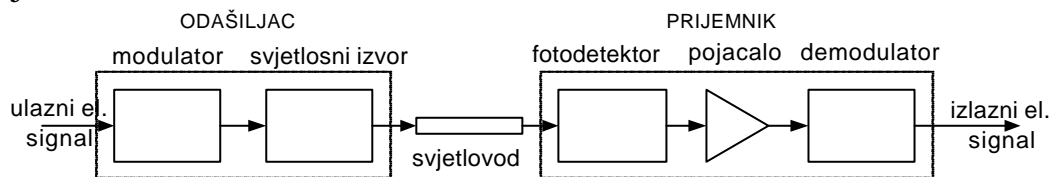
**Sekundarna zaštita** služi za dodatnu zaštitu - mehanicku, kemijsku i protiv vlage.

Promjer niti sa sekundarnom zaštitom je 1 mm.

## 4.2. Opticke komunikacije

Za prijenos informacija pomocu svjetlosti potrebna su tri osnovna djela:

- Elektroopticki pretvarac - predajnik
- Optoelektricni pretvarac – prijemnik i
- Svjetlovod



Slika 76: Blok shema optickog komunikacijskog sustava

Elektroopticki pretvarac ili opticki predajnik (Sl.76) sadrži:

- **modulator** i
- **svjetlosni izvor**

Pomocu modulatora se vrši upisivanje informacije u svjetlost koju emitira svjetlosni izvor.

Kod optickih komunikacija zastupljene su obje grupe modulacija:

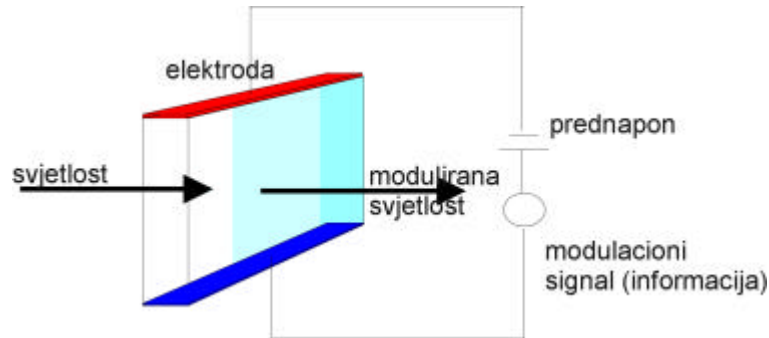
- analogne modulacija koja se danas malo koriste i
- digitalne modulacija koje su daleko ucinkvitije.

Modulacijom se kao što znamo informacija utiskuje u optički signal. To se može raditi na više načina, navodimo neke:

**Pumpanjem snage** – intenzitetna modulacija. Promjena snage svjetlosnog signala opisuje promjenu signala informacije.

**Apsorpcijom** (Sl.77)

Kod nekih kristala moguće je mijenjati apsorpciju (upijanje) svjetlosti vanjskim električnim poljem.



Slika 77: Modulacija svjetlosti apsorpcijom

**Promjenom indeksa loma** materijala vanjskim utjecajem (promjenom električnog polja, magnetskog polja, mehaničkim utjecajem i dr.)

**Promjenom frekvencije svjetlosti** (valne duljine)

Kao svjetlosni izvori služe:

- **laserske diode (LD)** i
- **svjetleće diode (LED)**

Optickoelektrični pretvarac ili prijemnik (Sl.76) sadrži:

**Fotodetektor**, koji prihvata svjetlosne signale i pretvara ih u električne. Za tu svrhu se koriste PIN fotodiode i lavinske diode (APD).

Pojacalo koje pojačava vrlo slab električni signal fotodetektora.

Demodulator koji izdvaja informaciju u takvom obliku kojega može koristiti odgovarajući terminal.

#### 4.2.1. Izvori svjetlosti u optičkim komunikacijama

Svjetlost koju emitira svjetleća dioda (LED) posljedica je zbivanja u unutrašnjosti atoma materijala od kojih je LED izrađena. Ova svjetlost nije

nastala zagrijavanjem materijala do usijanja, što nam je u klasičnom smislu poznato kao izvor svjetlosti npr. kod obične žarulje.

**Fizikalne osnove laserske diode i LED.** *Poznato je da se putanje elektrona oko atoma međusobno razlikuju i dijele na tzv. ljuske koje su na različitoj udaljenosti od jezgre.*

*Pored ovoga u fizici je poznata i pojava tzv. energetske razine. Elektron koji je pobuden nekim vanjskim uzrokom, na primjer energijom izvana u obliku toplinske, magnetske, električne ili svjetlosne energije, prihvata tu energiju i zauzima višu energetske razine u odnosu na prijašnje stanje.*

*Energija koju je preuzeo emitira u momentu kad se vraća na prijašnju energetske razine.*

*Energija koju vraća može biti i u vidu svjetlosnog zračenja, određenog iznosa (kvant energije) i određene valne duljine (?).*

*U odvijanju tog procesa razlikujemo sljedeće situacije:*

a) **Apsorpciju**, kod koje elektron u momentu sudara sa kvantom energije  $h \cdot f$ , apsorbira tu energiju i prelazi iz energetske stanja  $E_1$  u  $E_2$ .

*Velicina  $h$  označava tzv Planckovu konstantu koja iznosi*

$6,63 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ , a  $f$  je frekvencija elektromagnetskog zračenja.

b) **Spontana emisija**, nastaje kada elektron nakon vrlo kratkog vremena (10 ns) bez vanjskog razloga skoci natrag u nižu energetske razine i pri tome emitira kvant energije  $h \cdot f$

c) **Stimulirana emisija**, nastaje kada izvana kontinuirano vršimo pobudu atoma, tada je emisija fotona tj. elektromagnetskog zračenja također kontinuirana. Imamo pojavu snažnog koherentnog zračenja čija se frekvencija ne mijenja.

*Vecina elektrona nalazi se na razini  $E_2$ , a broj fotona energije  $h \cdot f$  koji napuštaju materijal veci je od onog koji ulaze u njega. Pojava se zove kvantno pojačanje.*

## **Svijetleće diode (LED)**

Svijetleća dioda je složena poluvodicka komponenta realizirana na bazi GaAs koja kontinuirano zrači svjetlost na sobnoj temperaturi.

Emitiranje svjetlosti nastaje kao posljedica spontane rekombinaciji uslijed injekcije nositelja u PN prijelaz.

Svjetlost je nekoherentna u spektralnom području 800 – 900 nm, sa širinom spektra od oko 100 nm.

## Laserske diode (LD)

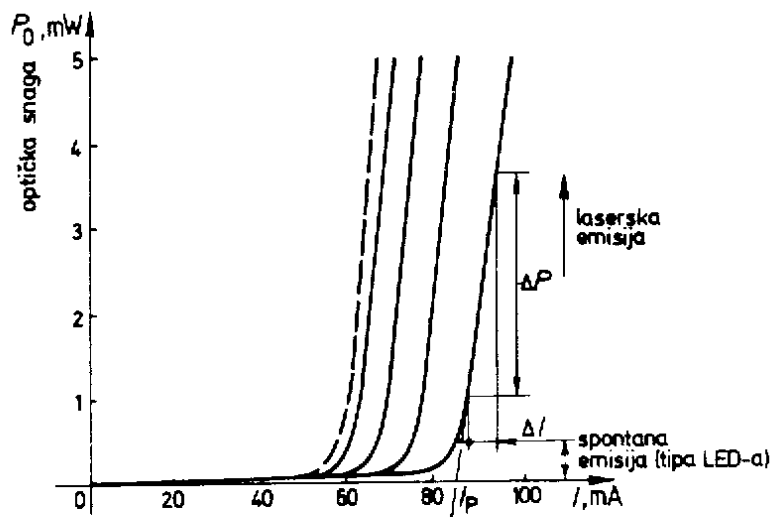
Laserska dioda kao i LED izrađuje se od galij-arsen i galij-aluminij-arsenovih spojeva, posebnim tehnološkim postupcima koji sprecavaju gubitke optickog polja, ali isto tako osiguravaju pojacanje svjetlosnog zracenja.

Pojedinim postupcima mogu se dobiti LD koje emitiraju nekoherentno ili koherentno zracenje.

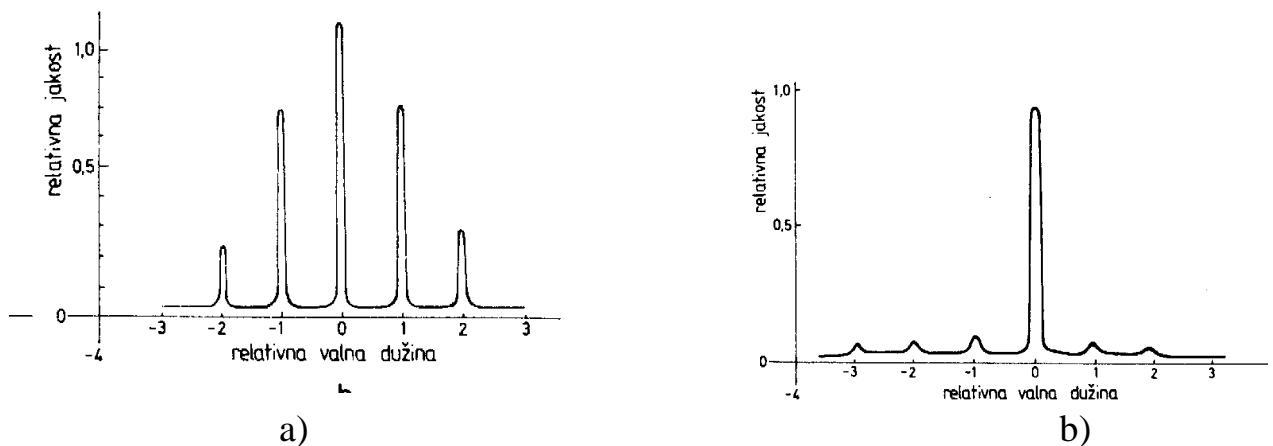
Koherentno zracenje omogucava da se konstruiraju jednomodne LD cija je širina zracenja manja od 0,1 nm. Izlazna snaga LD predvidene za neprekidan rad iznosi nekoliko mW.

Na slici 78 prikazan je dijagram ovisnosti zracenja o struji LD.

Nelinearni dio karakteristike predstavlja spontanu emisiju tipa LED.



Slika 78: Dijagram zracenja laserske diode

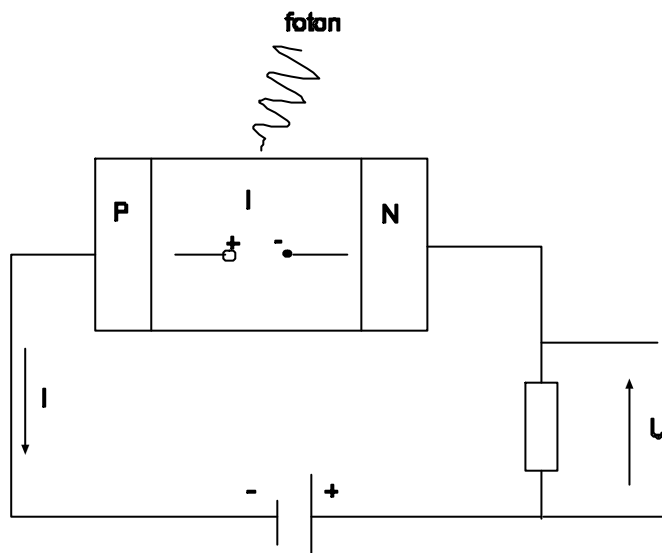


Slika 79: Spektar zracenja a)višemodne i b) jednomodne laserske diode

#### 4.2.2. Optički prijemnici i optički repetitori

**PIN dioda** je poluvodički element izrađen od P i N poluvodica, između kojih se nalazi relativno široko prijelazno (intrinzično) područje (Si.80). Svjetlosno zračenje koje pada na taj sloj izaziva stvaranje parova elektron-šupljina. Jaka svjetlost proizvede će više parova elektron-šupljina, dakle i jaču struju fotodiode.

Ove fotodiode su najpogodnije za prijem svjetlosnog signala koji je intenzitetno moduliran.



Slika 80: Princip rada PIN diode

Svojstva PIN fotodiode su :

- velika brzina ( $10^{-10}$  s)
- dobra osjetljivost (0,7 A/W pri 900 nm)
- jednostavnost sklopova
- niska cijena.

**Lavinska fotodioda** radi na slicnom principu kao i PIN fotodioda. Intrinzični sloj nalazi se pod utjecajem jačeg električnog polja, tako da će generirani parovi elektron-šupljina prilikom sudara sa neutralnim atomima prouzročiti stvaranje sekundarnih parova elektron-šupljina. Proces se multiplicira tako da dolazi do efekta lavine. Rezultat je da ista količina svjetlosti proizvodi veću struju nego u slučaju PIN diode.

Svojstva lavinske diode su :

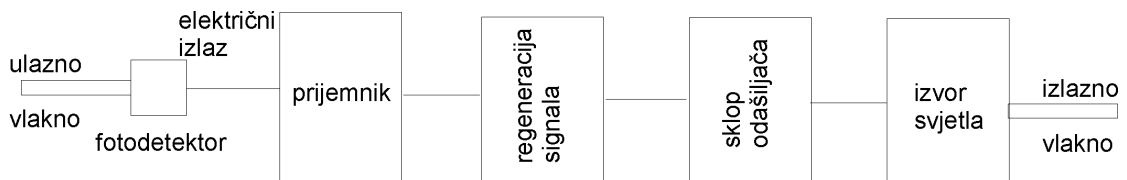
- osjetljivija od PIN dioda
- velika brzina
- složeniji sklopovi.

## Optički repetitori

Unatoc izvrsnim karakteristikama, svjetlosni signal na svojem putu kroz svjetlovod doživljava promjene, koje se, pored ostalog očituju kao prigušenje, odnosno smanjenje amplitude.

Pojacavanje signala je na nekoj duljoj trasi nužno. Ono može biti izvedeno na dva nacina:

## Elektrooptički repetitor



Slika 81: Princip rada elektrooptičkog repetitora

Princip rada sastoji se u tome da se svjetlosni signal pretvara u električni, pojačava i regenerira, zatim se opet pretvara u svjetlosni i prosljeđuje dalje.

## Optičko pojačalo



Slika 82: Optičko pojačalo

Optičko pojačalo dobiva slab optički ulazni signal, pojačava ga, te se dobije jak izlazni optički signal. Današnja optička pojačala ne regeneriraju signale, već samo povećavaju njihove amplitude, ali i šumove.

Optička pojačala imaju dvije važne prednosti u odnosu na elektrooptičke repetitore:

Pojedino optičko pojačalo može istodobno pojačati više širokopolasnih signala koji se prenose preko istog vlakna, bez opasnosti da oni međusobno interferiraju.

Opticka pojačala ne razlikuju oblik signala i vrstu modulacije, tako da se pri promjeni oblika i brzine signala koristi isto pojačalo.

Princip rada optičkih pojačala bazira se na načelu stimulirane emisije zračenja, odnosno na principu lasera, tako da svaki poluvodički laser može poslužiti u tu svrhu.

### 4.3. Radiodifuzni sustav

#### 4.3.1. Podjela frekvencija u radiodifuziji

Citavo područje elektromagnetskog zračenja podijeljeno je na dijelove prema slijedećoj tablici:

Skracena za naziv frekv.opsega	Frekvencija	Valna dužina (?)	Metricki naziv opsega	Dužina (opisno)
VLF (Very Low Frequency)vrlo niske frekvencije	3-30 KHz	100-10 km	mirjametarski val	vrlo dugi valovi
LF (Low Frequency) niske frekvencije	30-300 KHz	10-1 km	kilometarski val	dugi val
MF (Medium Frequency) srednje frekv.	300-3000 KHz	1 – 0.1 km	hektometar-ski val	srednji val
HF (High Frequency) visoke frekvencije	0.3 –300 MHz	100 – 10 m	dekametarski val	kratki val
VHF (Very High Frequency) vrlo visoke frekvencije	30-300 MHz	10 – 1 m	metarski val	vrlo kratki val
UHF (Ultra High Frequency) ultra visoke frekvencije	300 – 3000 MHz	100 – 10 cm	decimetarski val	ultra kratki val
SHF (Super High Frequency) super visoke frekvencije	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	centimetarski val	ultra kratki val
EHF (Extrem High Frequency) ekstremno visoke frekvencije	30 – 300 GHz	10 – 1 mm	milimetarski val	ultra kratki val
-	300 – 3000 GHz	1 – 0,1 mm	decimilimetarski val	ultra kratki val

Tablica 6: Podjela frekvencija u radiodifuziji

IC valovi	Vidljivo svjetlo	UV valovi	X – zrake.	Gama zrake
100 ? m – 0,7 ? m	0,7 – 0,4 ? m	0,43 – 0,0003 ? m	30 – 0,0003 nm	0,3- 0,1 pm

Tablica 7: Valne dužine ostalih elektromagnetskih zracenja

#### 4.3.2. Rasprostiranje elektromagnetskog vala

Za elektromagnetski val (EMV) kažemo da se širi brzinom svjetlosti. To je približno točno za vakuum, ali brzina ovisi o sredstvu kroz koje se svjetlost širi. Za zrak ona iznosi oko 295000 km/s, pod pretpostavkom da je zrak iste gustoće i temperature tj da je homogen.

Također smatramo da je širenje EMV pravocrtno. I to je samo djelomično točno. Naime zbog valne prirode elektromagnetsko zracenje ima neke karakteristike koje će biti ovdje pokazane.

Jakost EM polja u nekoj udaljenoj točki od izvora zracenja iznosi:

$$E \approx 9,5 * 10^{23} * \frac{\sqrt{P}}{d} \text{ (V / m)}$$

gdje je:

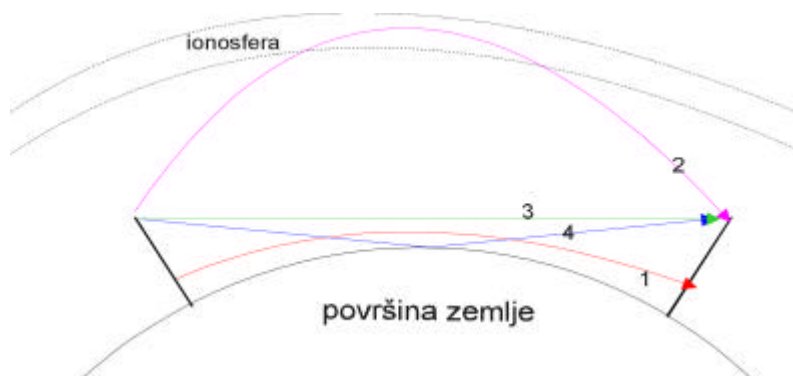
E – jakost elektricnog polja,

P – snaga zracenja izvora EMV

d – udaljenost od izvora

Ovaj izraz treba uzeti kao vrlo približan jer u njemu nisu obuhvaćeni važni parametri koji mogu imati presudan utjecaj na širenje EMV.

Širenje EMV je složeno, a odvija se na više načina. Na slici 83 prikazani su osnovni načini širenja EMV brojevima 1 do 4.



Slika 83: Osnovni načini širenja EMV

1 – **Površinski val**, prostire se duž površine Zemlje, slijedeci pri tom njenu prirodnu zakrivljenost. To vrijedi za EMV u području približno od 150 KHz do 10 MHz.

S porastom frekvencije domet ove komponentne zračenja je sve manji, pri čemu je iznad morske površine domet nešto veći.

2 – **Prostorni val**, prostire se ka gornji slojevima atmosfere i reflektira se u ionosferi od tzv. Heaviside-ovog sloja, natrag na zemlju. Ovo je karakteristično posebno za kratkovalno područje.

Domet su veći nego kod površinskog vala jer se događa višestruka refleksija od površine i od ionosfere, pri čemu je česta pojava iscezavanja signala (fading).

3 - **Direktni val**, prostire se po liniji optičke vidljivosti, karakterističan je za ultrakratkovalno područje.

4 - **Reflektirani val** – udio reflektiranog vala raste s frekvencijom, arefleksiranje može biti ne samo od površine zemlje, već i od različitih objekata na Zemlji. Vrlo često reflektirani val može biti jedini koji se u nekom području može primati.

Za poznavanje karakteristika EMV potrebno je poznavati i slijedeće pojmove:

**Fading** (fading) – pojam koji označava kolebanje jakosti polja koje ne traje dugom, ali se treba uzeti u obzir.

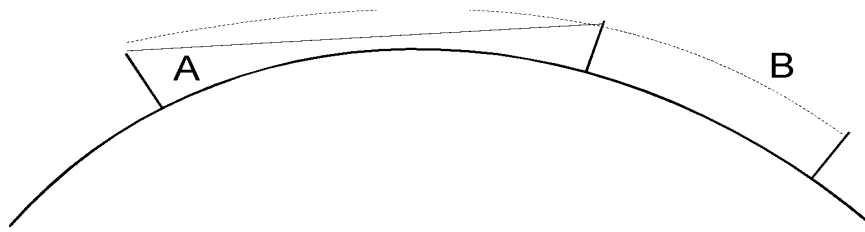
Uzroci fadinga mogu biti:

Dolazak izravnog i reflektiranog vala, pri čemu dolazi do interferencije što se manifestira kao nekontrolirano jačanje i slabljenje elektromagnetskog zračenja.

Također fading nastaje zbog nehomogenosti i nestabilnosti atmosfere (temperatura, vlaga, tlak zraka i dr.). Fading može biti *polagani* koji se manifestira zbog promjene doba dana ili godišnjeg doba ili *brzi* koji se očituje u nekoliko sekundi.

**Refrakcija (lom)** – nastaje zbog promjene temperature, vlage i tlaka zraka zbog čega dolazi do promjene indeksa loma elektromagnetskog zračenja.

Optički forizont (A), se zbog savijanja putanje prema dolje, povećava (B)(Sl.84).



Slika 84: Povećanje optičkog horizonta

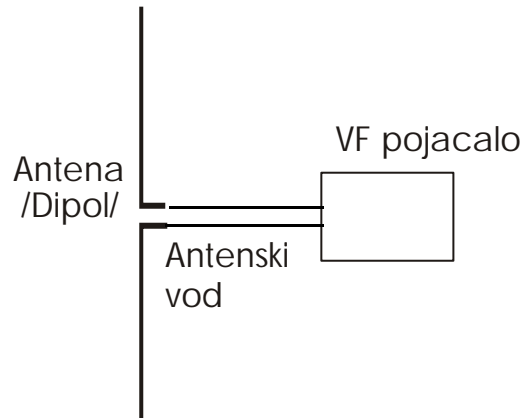
**Difrakcija** (ogib), nastaje zbog ogiba, zaobilaženja prepreke, tako da se EMV može registrirati i iza neke prepreke, ako ona nije preblizu.

**Apsorpcija** (upijanje), nastaje na frekvencijama iznad 10 GHz, zbog oblaka, vodene pare, kiše, snijega itd.

**Fresnelova zona** je područje optimalnog zračenja koje se utvrđuje prilikom projektiranja radio veza.

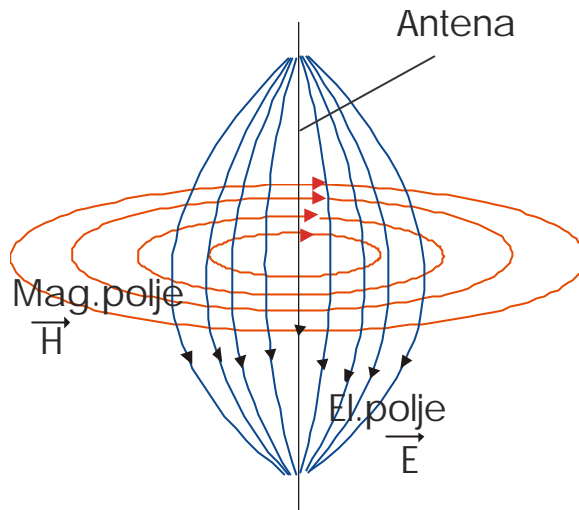
#### 4.3.3. Parametri antena

U električnom smislu antena predstavlja specifični titrajni krug, čije se napajanje vrši iz VF pojačala odašiljaca (Sl.85). Najjednostavnija antena predstavlja se kao dipol (dvopol). Znači da se sastoji iz dva jednaka dijela.



Slika 85: Dipol

Ako je dužina antene jednaka polovici valne dužine EMV kojeg emitira tada se ta antena zove poluvalni dipol. Elektromagnetsko zračenje koje svaka antena emitira u okolni prostor sastoji se od komponente električnog i komponente magnetskog polja (Sl.86).



Slika 86: Elektromagnetsko polje antene

Kroz antenu kao titrajni krug protice neka VF struja. Poznato je da se oko vodica kroz kojeg protice struja stvara magnetsko polje ( $H$ ). Isto tako tu se nalazi i električno polje ( $E$ ) čije se silnice protežu od mjesta višeg potencijala prema mjestu nižeg potencijala. Ravnine u kojima se nalaze silnice jednoga i drugoga polja međusobno su okomite.

**Parametri antena** su karakteristične veličine koje opisuju glavna svojstva antene i ostaju nepromijenjeni bez obzira na to da li se antena upotrebljava za odašiljanje ili za prijem signala.

Razlikujemo slijedeće osnovne parametre:

### **Polarizacija antene**

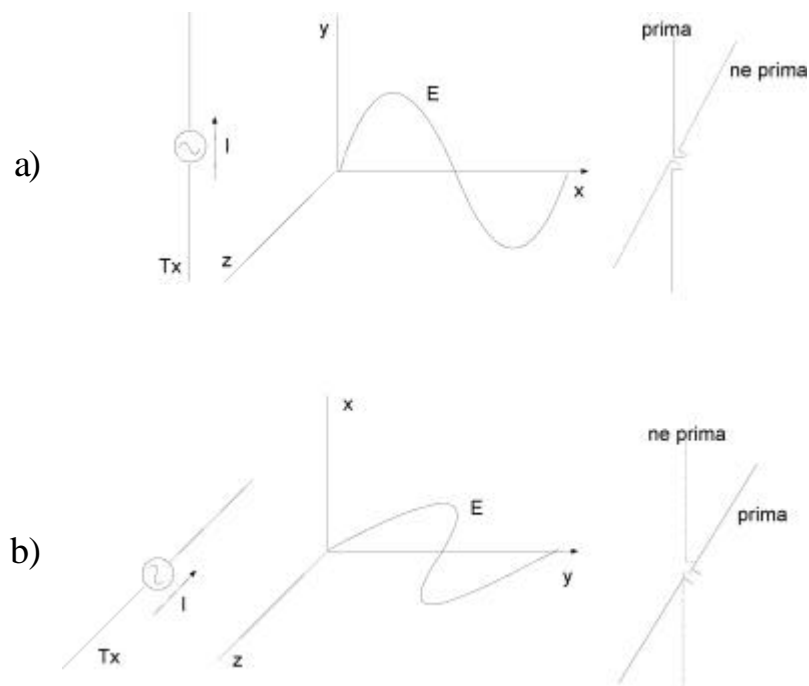
Kada se elektromagnetsko polje antene promatra na velikoj udaljenosti od nje, vektori električnog i magnetskog polja uvijek se nalaze u ravnini okomitoj na smjer širenja vala.

Budući da se vektori polja mijenjaju s vremenom, polarizaciju definira krivulja koju opisuje vrh vektora električnog polja i pripadajuća ravnina. Prijemna i odašiljacka antena moraju imati jednaku polarizaciju

Postoje dva specijalna slučaja:

Linearna polarizacija – koja može biti vertikalna (sl.87a) ili horizontalna (sl.87b), gledajući prema površini Zemlje i

Kružna polarizacija – koja može biti lijeva ili desna, gledajući u smjeru širenja vala.



Slika 87: Polarizacija antene

Kružna polarizacija primjenjuje se ako se želi uspostaviti veza između dva pokretna objekta, pri čemu jedan može imati antenu sa kružnom polarizacijom, a drugi sa proizvoljnom polarizacijom.

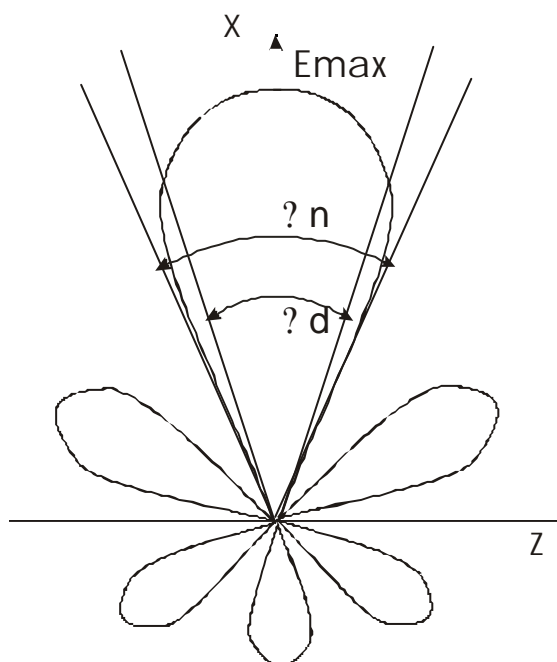
### Dijagram zračenja

Dijagramom zračenja antene nazivamo kutnu ovisnost intenziteta polja u jednako udaljenim točkama od antene.

Određivanje dijagrama zračenja

tehnički se izvodi mjerenjem jakosti el. polja u raznim smjerovima.

Specifičan dijagram zračenja neke antene u E ravni prikazan je na slici 88.



Slika 88: Dijagram zračenja antene

Karakteristicne velicine:

?  $D$  – kut usmjerenosti – To je kut oko glavnog smjera zracenja unutar kojega zracena snaga ne pada ispod polovice snage u smjeru maksimalnog zracenja tj.  $E_{max}/2$ .

?  $n$  – širina snopa – To je kut između dva pravca duž kojih je  $E = 0,707 E_{max}$ .

Ostale komponente, koje ne predstavljaju glavni smjer zracenja zovu se latica.

Poželjno je da koeficijent potiskivanja latica, osobito unazad, bude što veći.

## Impedancija antene

Opci izraz za impedanciju antene glasi:

$$Z_A = R_A + jX_A = (R_Z + R_D) + jX_A, \text{ gdje je :}$$

**$R_Z$**  – otpor zracenja antene, je onaj aktivni otpor na kojem bi se, kada bi kroz njega prolazila efektivna struja antene, razvijala snaga jednaka snazi zracenja antene. Ovaj otpor za polovalni dipol iznosi oko 70 oma, a ovisi o obliku, dimenzijama i valnoj dužini.

**$R_D$**  – otpor gubitaka, koji obuhvata sve aspekte gubitka snage određuje se analogno otporu zracenja. Ovisan je o obliku antene, položaju antene u odnosu na površinu Zemlje i

objekte koji se nalaze u njoj blizini, aktivnom otporu materijala od kojeg je antena izradena itd. U pravilu je iznos otpora gubitaka znatno manji od otpora zracenja pa se često može zanemariti.

**$X_A$**  – reaktivna komponenta, koja zavisi o podudaranju valne dužine elektromagnetskog zracenja i dužine antene.

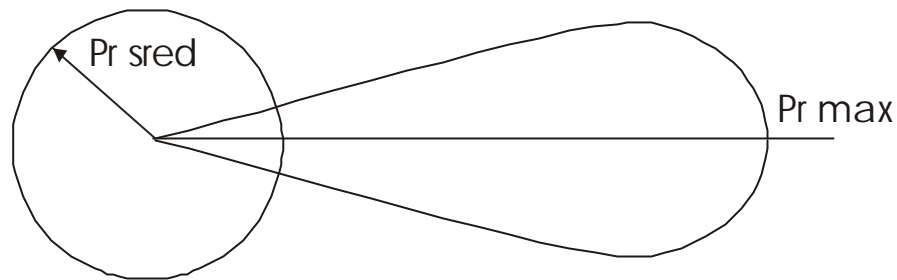
Ako je duljina dipola manja od valne duljine zracenja  $X_A$  će biti kapacitivnog karaktera, a u protivnom imat će induktivni karakter. Kada je duljina dipola jednaka valnoj dužini zracenja, reaktivna komponenta ne postoji.

## Usmjerenost antene

Usmjerenana antena koncentrira emitiranu energiju u određenom pravcu u kojem mogu nastati velike vrijednosti polja pri relativno maloj snazi zracenja.

Koeficijent usmjerenosti antene  $D$  u nekom pravcu definiramo kao odnos gustoće snage u tom pravcu  $P_{rmax}$  srednje gustoće snage  $P_{rsred}$ .

$$D = \frac{P_{r \max}}{P_{rsred}}$$



Slika 89: Usmjerenost antene

Srednja vrijednost gustoće snage  $P_{r \text{ sred}}$  dobije se kada određena antena emitira istu snagu u svim pravcima. Takvu antenu zovemo izotropni radijator, a predstavlja ustvari točkasti izvor zračenja.

### Dobitak antene

Dobitak antene pokazuje koliko bi puta snaga zračenja izotropnog radijatora morala biti veća od privedene snage promatrane antene da bi na nekoj udaljenosti obje antene davale istu gustoću snage.

$$g = k \cdot D$$

U obzir se uzima i faktor iskorištenja  $k$  zbog disipacije antene u okolinu.

#### 4.3.4. Podjela i vrste antena

Premda nema bitne razlike u funkciji prijemne i predajne antene posebno u pogledu karakteristike dobitka i usmjerenosti ipak se tehnička izvedba odašiljčkih antena puno razlikuje od izvedbi istih prijemnih antena.

Prije svega odašiljčke antene su u pravilu profesionalne antene, koje se instaliraju na mjestima optimalnim za rasprostiranje signala.

Ta su mjesta najčešće izložena nepovoljnim klimatskim uvjetima, napose udarima vjetra, težini snijega i leda itd.

Isto tako snage zračenja antena su velike pa i to bitno utiče na konstruktivne osobine odašiljčkih antena.

Sve skupa nas navodi na zaključak da su odašiljčke antene robusnije, izradene od materijala otpornih na vanjske utjecaje.

Postoji velik broj različitih vrsta i izvedbi antena, a osnovna podjela vrši se prema frekvencijama za koje su namjenjene.

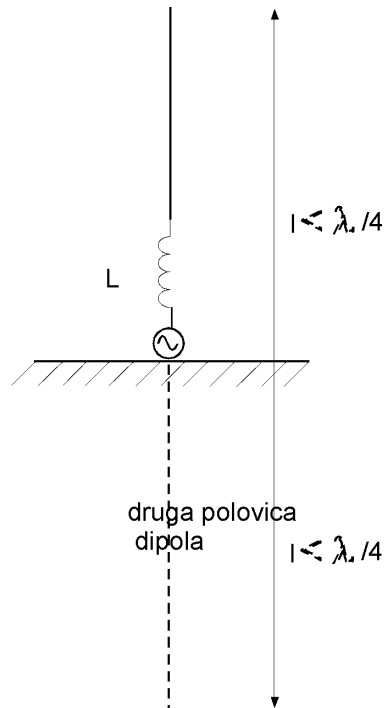
Neke od njih biti će ovdje opisane.

Za SV i KV : uspravljeni poludipol i «L» antena

Za VHF i UHF: Yagi i GP

Za SHF: Helikoidalna antena

### Uspravljeni poludipol



Poluvalni dipol možemo radi ekonomičnost skratiti, pa dobivamo četvrtvalni dipol ili poludipol, ali moramo dodati zavojnicu koja poništava kapacitivnu komponentu antene (zavojnica za produljenje).

Antena će biti učinkovita ako joj je duljina barem  $\lambda / 4$ . Drugi kraj dipola je uzemljen (spojen na masu) i kao takav je u električnom smislu virtualan.

Najviše se koristi kod prijenosnih radio-uređaja.

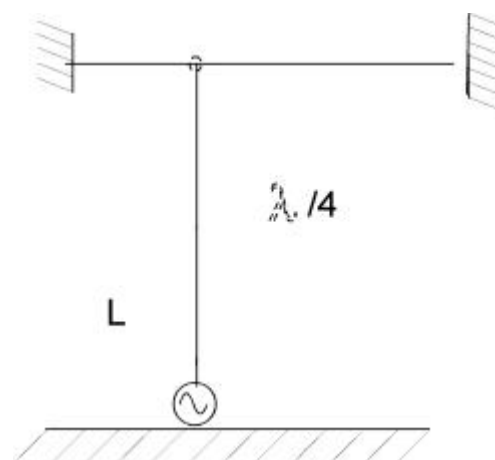
Slika 90: Uspravljeni poludipol

«L» antena

Dužina poludipola može bit velika, pa se on može savinuti (sl.87).

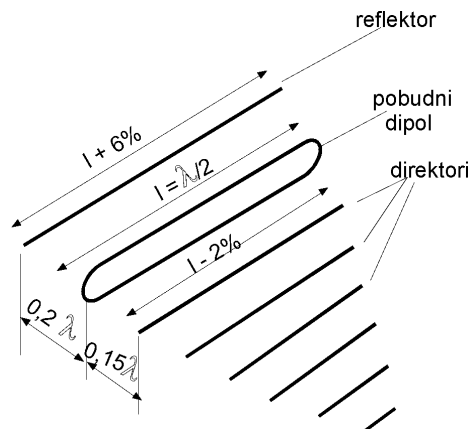
Savijanjem vodica u horizontalni položaj možemo povećati dužinu, kako bi iz praktičnih razloga smanjili visinu.

Na taj način povećavamo efikasnost antene.



Slika 91: «L» - antena

## Yagi antenna



Slika 92: Yagi antenna

Ova se antenna koristi se najviše na UKV i UHF području. Konstruirana je od elemenata čija su duljina i raspored točno određeni.

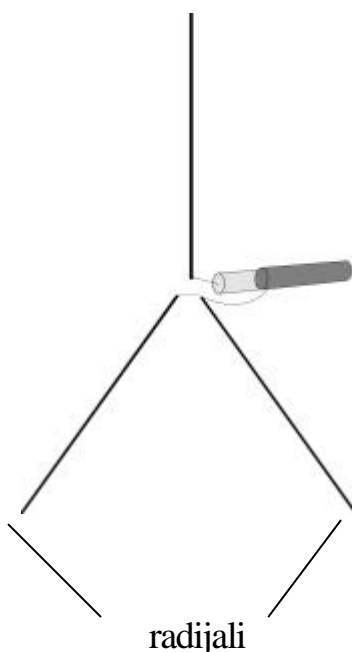
Direktori ili pasivni radijatori su elementi pomoću kojih se postiže usmjerenost antene.

Zračenjem pobudnog dipola u radijatoru se inducira napon, koji izaziva struju. Uslijed toga stvara se dodatno elektromagnetsko polje koje usmjerava zračenje u tom pravcu.

Reflektor doprinosi usmjeravanju ali i prigušenju zračenja antene unatrag.

Dobitak Yagi antene iznosi 6 do 20 dB u odnosu na poluvalni dipol, impedancija 40 do 200 oma.

## GP antenna (Ground Plane)

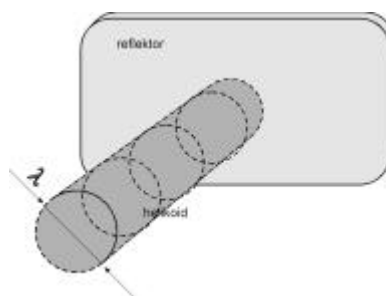


Emitira zračenje u svim smjerovima ali sasvim nisko prema horizontu. Upotrebljava se na području 30 do 170 MHz Broj radijala nije određen, a kreće se od 3 do 16. Dužina radijala je  $n \times \lambda/4$ .

Slika 93: GP antenna

## Helikoidalna antena

Helikoidalnu antenu čini reflektor i helikoid (spirala – zavojnica). Ova antena daje kružnu polarizaciju EMV, a smjer polarizacije ovisi o smjeru motanja spirale tj. lijevo ili desno gledajući u smjeru širenja EMV. Dobitak antene ovisi o broju zavoja. Dijagram zračenja je vrlo usmjeren. Koristi se za mikrovalne radio-**relejne veze**.



Slika 94: Helikoidalna antena

### 4.4. Pitanja i zadaci:

1. Kakva je razlika između simetričnih i nesimetričnih TK vodova?
2. Što su valovodi i gdje se koriste?
3. Koje su prednosti svjetlovoda u odnosu na žičane vodove?
4. Što su «prozori»?
5. Od kojih se dijelova sastoji svjetlovod?
6. Po čemu se razlikuju jezgra i plašt svjetlovoda?
7. Što je numerički otvor?
8. Koji su uvjeti potrebni da se svjetlost može širiti kroz svjetlovod?
9. Koje vrste svjetlovoda poznajemo?
10. Koje su osnovni dijelovi optičkog sustava komunikacija?
11. Od čega se sastoji optički odašiljac?
12. Koje su dijelovi optičkog prijemnika?
13. Kako se provodi modulacija svjetlosti?
14. Koji se izvori svjetlosti koriste u optičkim komunikacijama?
15. Kakva je razlika u prirodi svjetlosti žaruljice i LED?
16. Kakva je razlika u prirodi svjetlosti LED i LD?
17. Koje vrste zračenja emitiraju LD?
18. Koji se poluvodnički elementi koriste kao fotodetektor?
19. Koje područje valnih dužina pokriva radio difuzija?
20. Koje područje valnih dužina prekrivaju ostala elektromagnetska zračenja?
21. Izračunaj valnu dužinu EMV koji ima frekvenciju 300 MHz.
22. Koje su osnovni načini širenja EMV?
23. Što je fading?
24. Kako nastaje elektromagnetsko zračenje antene?
25. Što određuje polarizaciju antene?

- 26. Koje su karakteristicne velicine dijagrama zracenja antene?
- 27. Kako dobivamo dijagram zracenja antene?
- 28. Po cemu se razlikuju prijemne i odašiljacke antene?
- 29. Koje su karakteristike Yagi antene?
- 30. Koje osobine ima helikoidalna antena i gdje se ona koristi?

## 5. TERMINALI U TELEKOMUNIKACIJAMA

### 5.1. Podjela terminala

Terminali ili korisnicki uredaji su takvi uredaji koji korisniku omogucuju pristup mreži i korištenje njenih usluga.

Terminale medusobno razlikujemo prema razlicitim kriterijima:

- Podjela terminala prema funkciji (namjeni):

**jednofunkcionalni:** telefon, fax, TV, tastatura.

**višefunkcionalni:** telefon + faksimil u jednom kucištu.

- Podjela prema smjeru komunikacije:

**jednosmjerni :** TV, radio, tastatura.

**dvosmjerni:** telefon, racunalo.

- Podjela prema nacinu rada:

**simplex** – svaki smjer ima poseban kanal ili vod (npr. radio-uredaji kod kojih je se odašiljanje vrši na jednoj, a prijem na drugoj frekvenciji).

**duplex** – jedan kanal ili vod služi za komunikaciju u oba smjera istovremeno (npr. telefon).

**poluduplex** – jedan vod za komunikaciju u oba smjera, ali vremenski odjeljeno (npr. faksimil).

- Podjela prema vrsti informacija:

**terminali za prijenos zvuka** (radio)

**terminali za prijenos slike** (pokretna slika – TV, nepokretna – fax)

**terminali za prijenos podataka** (data terminali - racunala)

## 5.2. Automatski telefonski aparat

Telefonski aparati s rucicom su dio povijesti telefonije, a zvali su se . telefonski aparat sa lokalnom baterijom, za razliku od današnjih, koje zovemo telefonski aparati sa centralnom baterijom.

Danas još možemo naci telefonske aparate sa brojcanikom, ali ih sve više potiskuju oni sa tastaturom.

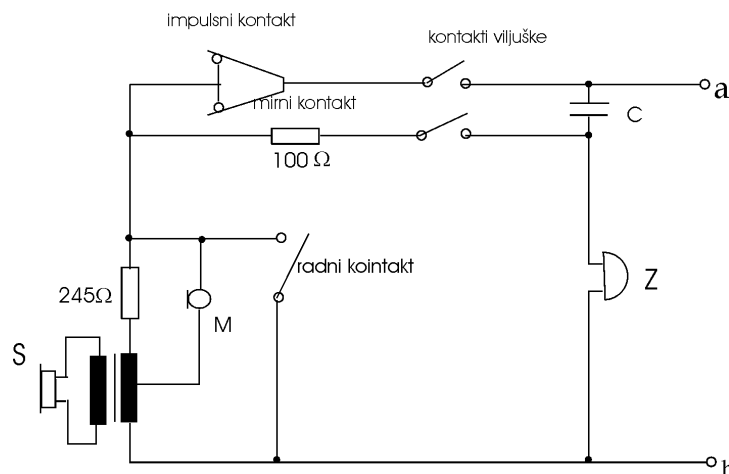
Telefoni s brojcanikom su sa tzv. impulsnim biranjem, dok su vec masovno u upotrebi tel. aparati sa tonskim biranjem.

Osnovni dijelovi svakog automatskog telefonskog aparata (ATA) su:

- Viljuška ili komutacijska jedinica, koja omogućava detektiranje ukljucene ili iskljucene linije tj. ostatka telefonskog aparata.
- pozivna jedinica ili prijemnik poziva
- biracka jedinica
- govorni krug, elektroakusticka (e.a.) jedinica ciji je dio i mikrotelefonska kombinacija (MTK).

### 5.2.1. Automatski telefonski aparat s impulsnim biranjem

Impulsno biranje vrši se brojcanikom ili tipkovnicom telefona na taj nacin da se prekida linijska struja koja protice kroz telefonski aparat u trenutku kada smo podigli MTK iz njenog ležišta (viljuška).



Slika 95: Principijelna električna shema telefonskog aparata

U postupku uspostave veze i funkcioniranja telefona razlikujemo dolaznu i odlaznu vezu.

Dolazna veza:

Poziv iz centrale upućuje se izmjenicnom strujom  $f=25$  Hz, koja se zatvara preko kondenzatora i zvonca za izmjenicnu struju koji su stalno priključeni na vod. Dizanjem slušalice zatvaraju se kontakti viljuške i mirnog kontakta. Kondenzator se prazni preko otpora  $100 \Omega$ , a linija je opterećena sa  $245 \Omega$ . Centrala prepoznaje opterećenje i ukopćava liniju koja je uputila poziv. Struja jednim dijelom prolazi kroz mikrofona M, a jednim dijelom kroz primar transformatora i dalje na kontakt b linije.

Odlazna veza:

Podizanjem MTK zatvaraju se kontakti viljuške, a krugom za napajanje mikrofona poteče linijska struja iz centrale.

Okretanjem brojčanika prekida se strujni krug i ovisno o tome centrala dobije informaciju koga želimo pozvati.

Prekidanje obavlja impulsni kontakt koji prekida liniju onoliko puta koji broj biramo +2 puta, tj.  $n+2$  puta, gdje je n birani broj.

Mirni kontakt je za to vrijeme otvoren osim za vrijeme zadnja dva od  $n+2$  impulsa, kada se zatvara i kratko spaja impulsni kontakt, tako da je prema centrali upućeno n znakova.

Dva zadnja znaka nazivaju se prazan hod, i predstavljaju pauzu među znamenkama, koja je potrebna organima centrale za njihovu reakciju.

Radni kontakt zatvara liniju tokom biranja da bi se izbjegle smetnje, koje za vrijeme biranja mogu nastati u slušalici, dakle isključuje elektroakustički dio.

Vrijeme raskida – vrijeme koje je potrebno da centrala razumije kao prekid linije tj. veze = 600 ms

Naponi i struje na liniji:

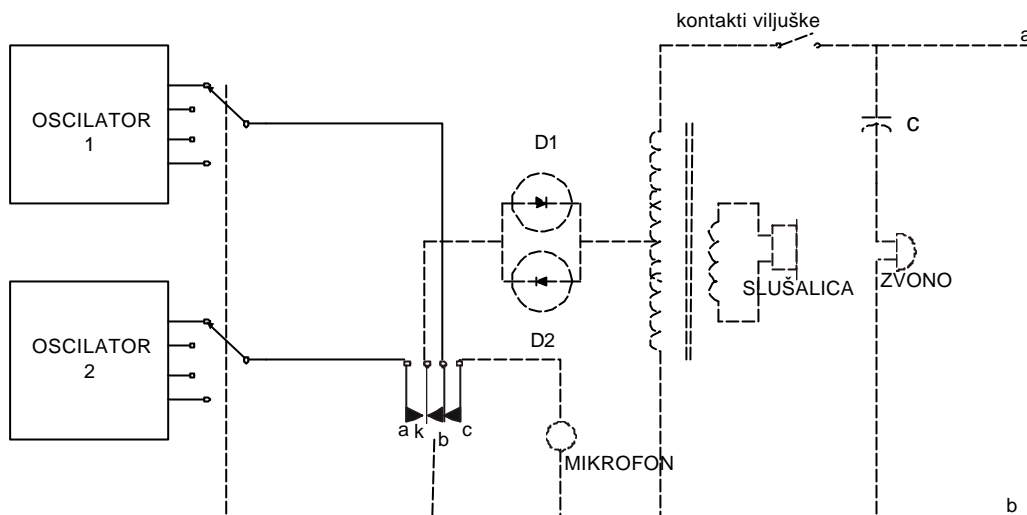
Napon neopterećene telefonske linije je 48 V, 60 V u 90% slučajeva

Struja kratkog spoja je 20 – 60 mA.

### 5.2.2. Automatski telefonski aparat s tonskim biranjem

Jedinstvene norme u telefoniji i telegrafiji do 1994. propisivane su od strane međunarodne organizacije čija je kratica bila CCITT, a kasnije to je ITU tj. Međunarodna unija za telekomunikacije.

Principijelna električna shema telefonskog aparata s tonskim biranjem:



Slika 96: Principijelna električna shema telefona s tonskim biranjem

Dolazna veza:

Pozivni signal iz centrale aktivira zvono, dižemo MTK zatvara se kontakt viljuške i naš se telefonski aparat nalazi u strujnom krugu između a i b žile. Struja iz mikrofona preko kontakata c, b, k i preko diodnog ograničivaca D1, D2 odlazi na liniju.

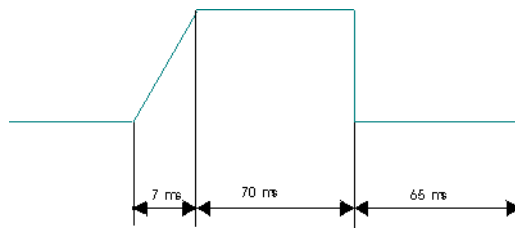
Odlazna veza:

Dizanjem MTK uspostavljamo strujni krug i biramo broj s kojim želimo uspostaviti vezu. Pritiskom na neku od tipki generira se ton koji se sastoji od 2 frekvencije, a koji centrala prepoznaje kao neki znak ili broj.

Na liniju odlaze dvije frekvencije koje u određenoj kombinaciji predstavljaju svaku znamenku.

		grupa viših frekvencija				
		1209	1336	1477	1633	
grupa nižih frekvencija	697	1	2	3	A	tipke A, B, C i D nisu obavezne
	770	4	5	6	B	
	852	7	8	9	C	
	941	*	0	#	D	

Slika 97: Raspored tipki i frekvencija:



Slika 98: Vremenski dijagram tonskog biranja

Prednost tonskoga biranja je brzina uspostave veze. Trajanje tonskog signala koji se upućuje na liniju je ograničeno na 142 ms, bez obzira kako dugo držimo pritisnutu tipku

Napon i struja na liniji:

Napon neopterećene telefonske linije je 48 V ili 60 V u najvećem broju slučajeva.

Struja kratkog spoja je 20 – 60 mA.

### 5.2.3. Digitalni telefonski aparat

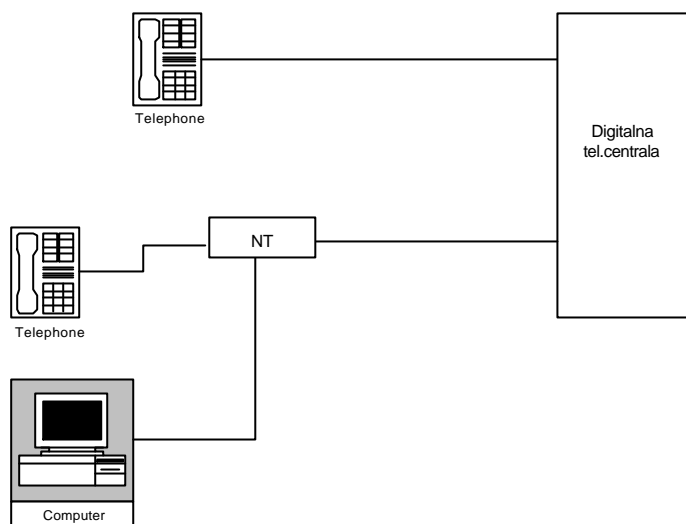
Digitalni telefon za razliku od običnog telefona u sebi sadrži mogućnost A/D i D/A konverzije signala, kako bi se u digitalnom obliku ovi signali prenosili po korisničkoj liniji.

On osigurava prijenos informacija čiji je volumen 2B+D, dakle osigurava prijenos brzinom od 144 kbit/s



Slika 99: Digitalni telefonski aparat

Na liniju može biti priključen direktno ili preko mrežnog terminala (sl.100).

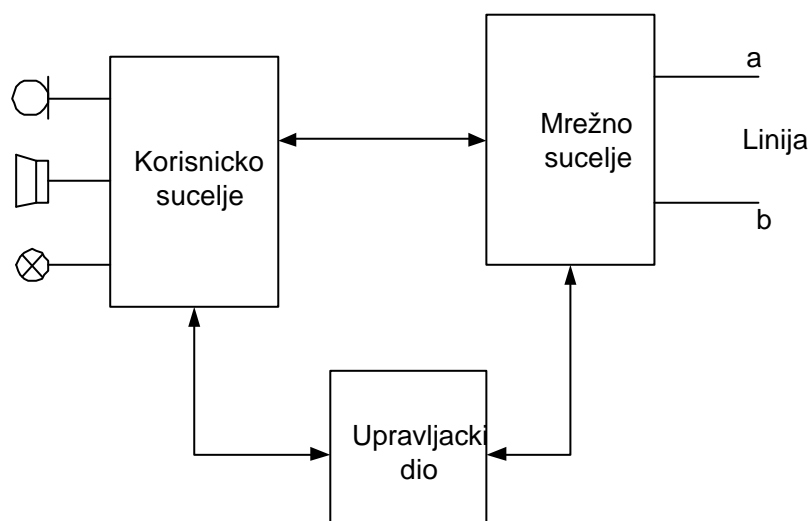


Slika 100: Prikljucivanje digitalnog telefonskog aparata

### Opis i funkcija dijelova digitalnog telefona

Pojedini sklopovi unutar digitalnog telefona mogu se prema funkciji koju vrše, svrstati u cetiri funkcionalne cjeline:

- Mrežno sucelje
- Upravljacki dio
- Korisnicko sucelje
- X sucelje



Slika 101: Blok shema digitalnog telefona

a) Mrežno sucelje

Mrežno sucelje sacinjavaju:

**Sklop za linijsku zaštitu**, galvanski odvaja telefon od linije štiteći ga od smetnji i od naponskih udara s linije. Služi ujedno i za napajanje telefona električnom energijom.

**Sklop za A/D i D/A pretvorbu**, koji analogni signal digitalizira prema A zakonu, a digitalni ekspanira i filtrira pretvarajući ga u analogni u području od 200 – 3400 Hz.

**Linijsko sučelje**, je digitalni adapter, kojim upravlja mikroprocesor, a kojem je osnovni zadatak formiranje okvira

**2B+D** i njegovo sinkronizirano primanje i slanje prema telefonskoj centrali.

b) Upravljački dio

Sastoji se od mikrokontrolera koji upravlja radom telefona preko mrežnog sučelja prema centrali te preko korisničkog sučelja prema samom telefonu.

On skenira kontakte MTK i tastature i odgovarajuću informaciju koju dobije prenosi preko mrežnog sučelja prema centrali.

Također informaciju koju dobije preko linijskog sučelja usmjerava prema zvučniku/slušalici odnosno prema odgovarajućim indikatorima.

c) Korisničko sučelje

Sastoji se od slijedećih komponenata:

**Operativni korisnički elementi**, su dijelovi telefona s kojima je korisnik u neposrednom dodiru : displej, LED, zvučnik sa akustičkim dijelom.

Displej i LED indiciraju pojedina stanja u kojima se telefon

trenutno nalazi odnosno preko njih korisnik dobiva informacije o broju koji zove, o zauzecu linije, preusmjeravanju veze i sl.

Zvučnik sa akustičkim dijelom radi u tzv. HANDSFREE MODU kada se ne koristi slušalica.

Govorna komunikacija odvija se tada u poludupleksu, tj. kada jedan učesnik govori drugi sluša. Sustav kontrolira razine s jedne i s druge strane tako da postojeći signal pojačava, a onaj drugi slabi te na taj način osigurava da ne dođe do interferencije dolaznog i odlaznog signala.

Ukoliko oba sugovornika govore istovremeno, sustav će prihvatiti onoga koji ima višu razinu.

To može izazvati problem u komunikaciji jer će sporazumijevanje biti loše ili gotovo nemoguće.

**Mikrofon i slušalica** koriste se prilikom normalne govorne komunikacije preko telefona.

**Tastatura** se sastoji od grupe tipaka za biranje broja i programskih tipaka kojima je funkcija fiksno pridružena i ne može se mijenjati, kao npr. tipka za programiranje, tipka za prebacivanje poziva i sl.

**Funkcijske tipke** (F-tipke) se mogu programirati ovisno o potrebama i namjeni telefonskog aparata.

d) X sučelje sastoji se od sklopova koji služi za priključivanje opreme za snimanje razgovora.

## 5.4. Faksimil

Telefax ili popularno fax je pojam koji se je udomacio u svakodnevnom životu, posebno među poslovnim ljudima ili ljudima od telekomunikacijske struke.

Ponekad pod tim pojmom podrazumijevamo dvije različite stvari: Kažemo da smo primili ili poslali fax, misleći pod time poruku preko odgovarajućeg uređaja, ili npr. možemo čuti da je netko jeftino kupio fax koji nije radio puno, misleći pod tim na uređaj za slanje fax poruka.

Stručna terminologija uređaj naziva **faksimil**, a uslugu koju on daje **telefaks**. Stoga mi kao stručne osobe moramo to imati u vidu i pravilno koristiti. Dakle: *Faksimil je uređaj za daljinsko kopiranje koji se priključuje na TK mrežu preko koje se otprema ili prima pisani tekst, crtež ili slika.*

Posljednjih godina faksimil uređaj je postao cijenom vrlo dostupan, a performanse se uređaja stalno poboljšavaju.

**Prva generacija** faksimila (G1) pojavila se sedamdesetih godina, a omogućavala je prijenos stranice A4 formata koji je trajao oko 6 minuta.

**Druga generacija** (G2) mogla je to napraviti za tri minute,

**Treća generacija** (G3), prenosila je tu količinu informacija za jednu minutu,

**Cetvrta generacija** (G4), to radi za 15 s, a može prenositi i boje ako se prikljuci na digitalnu TK mrežu.

Funkcijske mogućnosti faksimil uređaja mogu biti različite, može to biti dvofunkcionalni uređaji gdje je uključen i telefonski aparat, sa tonskim biranjem, različitim memorijskim mogućnostima, fotokopiranjem, serijskom otpremom više dokumenata, telefonskom sekretaricom itd.

Princip rada (Sl.102):

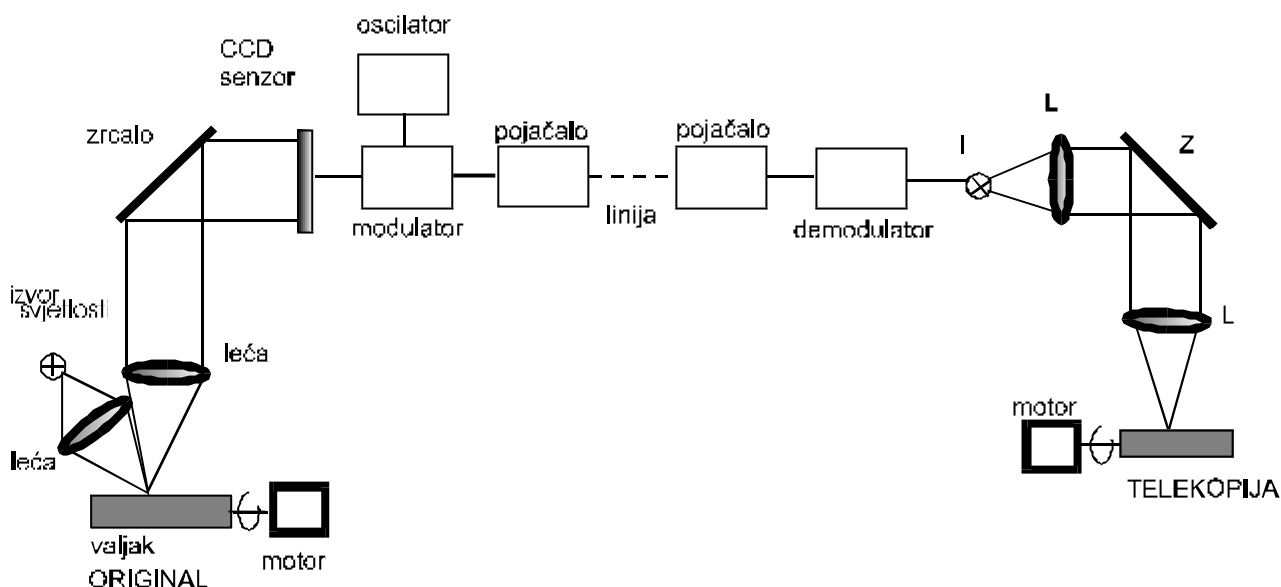
Originalan dokument namotan je na valjak koji se vrti brzinom 3 do 6 okr/min.

Duž valjka translatorno se giba optički citac u kojem se nalazi izvor svjetlosti, npr. niz LED-ova ili fluorescentna lampa, koji preko odgovarajuće optike projicira svjetlost na sliku. Svjetlost koja se reflektira od pojedinih tocaka slike prima se na CCD senzoru, na cijem izlazu imamo odgovarajući električni signal.

Nakon modulacije, koja je ovisna o vrsti i kvaliteti linije, signal se preko izlaznog pojačala šalje na liniju.

Na prijemnoj strani signal se pojačava i demodulira te pokreće pisac, koji može biti tintni, termički ili laserski.

Pisac se translatorno giba po papiru koji se okreće na valjku istom brzinom kao i original, te ispisuje točku po točku slike ili teksta.



Slika 102: Princip rada faksimil uređaja

Standardizirane brzine prijenosa su:

2400 bps	12000 bps
4800 bps	14400 bps i
7200 bps	33600 bps
9600 bps	

Performanse najnovije generacije faksimil-uređaja

Suvremena razmjena dokumenata u sve dinamičnijem poslovanju bazira se na intranet/internet komunikaciji sa neprekidnim mostom telefax i e-mail podataka.

Suvremeni faksimil uređaj DX-1000 (Panasonic) ima sljedeće mogućnosti: Memoriranje primljenih i poslanih dokumenata, te njihovo editiranje, pregledavanje i dodavanje novih dokumenata. Sve to prati se na LCD display-u.

Pretraživanje i odabir adresanata i njihovo inteligentno pretraživanje, sortiranje i pozivanje.

Istovremeno, sinkronizirano slanje i primanje dokumenata, ako su dostupne dvije TK linije.

Pošto su analogne TK linije podložne smetnjama koristi se tzv. **mod korekcije grešaka**, na sljedeći način:

Prijemnik vraća dio podataka odašiljacu, koji ih uspoređuje sa poslanim podacima, te ako nisu identični signalizira grešku.

Odašiljacka strana tada ponavlja slanje tog dijela podataka.

Ispis dokumenta je laserski, uz mogućnost kvalitetnog kopiranja. Ispis je 15,4 linija i 8 kolona po mm za razliku od standardnog ispisa od 3.85 linija i 8 kolona po mm.

I na kraju:

Uredaj radi sa novim fax-komunikacijskim brzinskim standardom tzv. SUPER G-3, što je moguće postići sa 33,6 Kbps fax modemom koji radi na bazi preporuka ITU od 1994. i 1996. godine, poznat kao V.34., a temelji se na metodi kompresije podataka.

Dokument formata A4 na ovaj način šalje se za 3 s.

## 5.5. Terminali za prijenos podataka

Osnovna namjena terminala za prijenos podataka je otprema, prijem i reprodukcija podataka i to između dva ili više terminala ili između terminala i centralne jedinice.

Glavni zadaci terminala jesu:

Uspostava veze za prijenos podataka i njezino besprijekorno funkcioniranje.

Otprema i prijem podataka

Reprodukcija i/ili zapis podataka

Uobicajeni terminali za prijenos podataka su računala.

Što računala kao terminali za prijenos podataka razmjenjuju između sebe?

Dakle, različite informacije. To mogu biti tekstovi, slike, govorne informacije (i druge zvučne informacije), različiti podaci u brojčanom obliku i sl.

Ipak sve te informacije za prijenos između računala moraju imati jedinstven oblik, oblik podataka.

Prije svega, to znamo, mogu biti jedino i samo u digitalnom obliku, dakle kao niz jedinica i nula, jer kao takve ih jedino računalo može prihvatiti.

U računalu se oni nalaze pohranjeni na odgovarajućim mjestima (disk, CD, flopi, RAM, ROM) stalno ili povremeno.

Kako podaci dopijevaju u računalo?

Na više načina.

- Zvučni zapis se digitalizira i kodira .
- Slika se razlaže na točkice (pixel), a svakoj točkici se dodjeljuje višebitni binarni broj.

- Videozapis se razlaže na npr.25 slika u sekundi, a svaka slika se digitalizira na prethodni način.
- Tekst i brojevi se prenose kao skup znakova (ASCII – kod), pri čemu je svaki znak prepoznatljiv kao 8-bitna kombinacija.

Sav taj posao radi računalo sa svojim perifernim uređajima.

Pretpostavimo da želimo:

1. Preko tipkovnice u računalo utipkati jednu stranicu neke knjige. Svako slovo, brojka, ili koji drugi znak računalo sebi prevodi kao 8-bitnu kombinaciju tj kodnu riječ koju zovemo byte (B). Riječ je o tzv. ASCII-kodu.

Primjer: Jedna stranica teksta u knjizi sadrži 40 redaka, a u svakom je retku 50 znakova. Ukupno je to 2000 znakova ili 2KB podataka.

2. Sada želimo te podatke prenijeti drugom računalu. To ćemo učiniti slijedeći određenu proceduru, i uz odgovarajuće tehničke pretpostavke, drugo će računalo primiti niz bitova, u ukupnom iznosu 2 KB. Prijenos podataka je završen.

Spomenuli smo proceduru i pretpostavke...

Dakle, o njima će biti riječ.

### 5.5.1. Osnovni dijelovi računala u ulozi terminala za prijenos podataka.

Tipično to su:

- tipkovnica (tastatura)
- display (monitor)
- jedinica za upravljanje i kontrolu (memorijsko - logička jedinica)
- jedinica za napajanje koja je obično u istom kućištu sa prethodnom.
- sustav za pohranu podataka
- pisac i druga periferna oprema
- modem ili međuspoj-sucelje (interface)

Računala se, da bi mogla razmjenjivati podatke, povezuju između sebe. To povezivanje ili umrežavanje može biti izvedeno na više načina, različitim sredstvima i kroz različite oblike.

### 5.5.2. Tipovi mreža

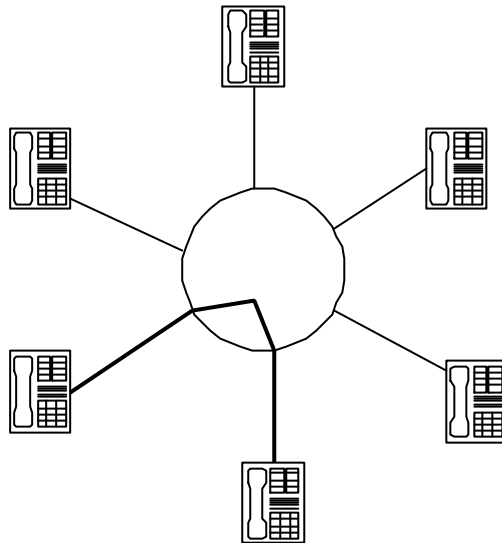
Razlikujemo tri osnovna tipa mreža koje se danas koriste za međusobnu razmjenu informacija:

- mreže s komutacijom kanala
- mreže s komutacijom poruka i
- mreže s komutacijom paketa.

Pojam *komutacija* već smo upoznali. Dakle komutacija je pojam koji općenito znači promjenu ili izmjenu, a u telekomunikacijama označava mogućnost različitih kombinacija razmjene informacija između korisnika nekog komunikacijskog sustava.

#### 5.5.2.1. Mreža s komutacijom kanala

Svi učesnici su međusobno povezani preko jednog centra, pri čemu su sve veze jednakopravne.

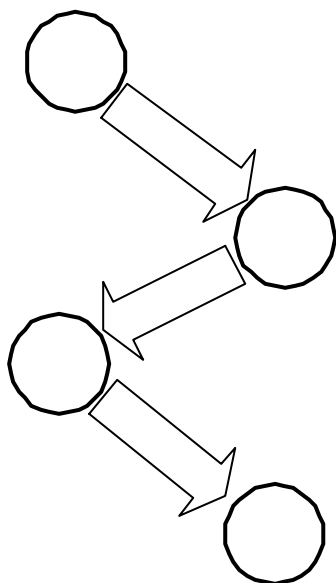


Za vrijeme prijenosa informacije ne postoji mogućnost komunikacije s ostalim učesnicima.

Mjesto komutacije u klasičnom smislu, je telefonska centrala koja svojim komutacijskim poljem omogućava međusobnu uspostavu veze između bilo koja dva pretplatnika.

Slika 103: Mreža s komutacijom kanala

#### 5.5.2.2. Mreža s komutacijom poruka



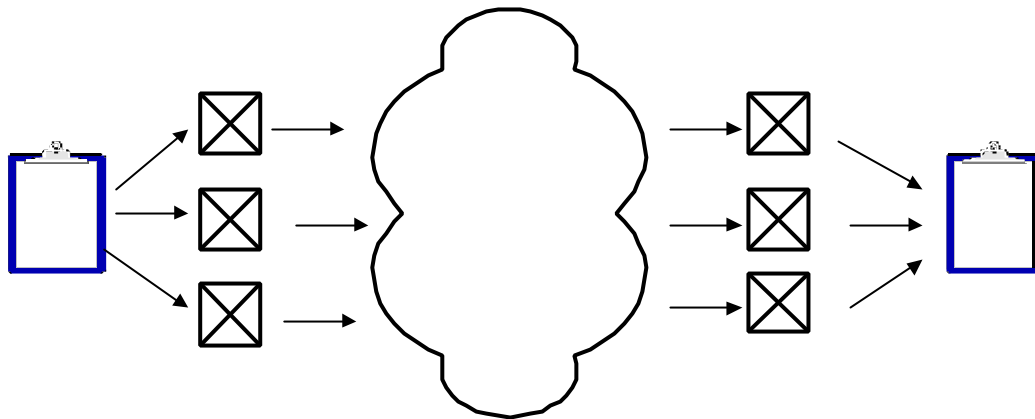
Cvorovi međusobno šalju poruke do određene čvora. Dok se poruka šalje, vod je zauzet za sve korisnike.

Poruka sadrži adresu, samu obavijest i zaštitni dio, koji osigurava zaštitu od pogrešnog prijenosa.

Nedostatak je ovog sustava veliko vrijeme kašnjenja.

Slika 104: Mreža s komutacijom poruka

### 5.5.2.3. Mreža s komutacijom paketa



Slika 105: Mreža s komutacijom paketa

Poruka se rastavlja na manje pakete, koji imaju različite mogućnosti dolaska do odredišta. Na odredištu se, na osnovu pristiglih paketa, vrši rekonstrukcija poruke. Prednosti ovakve mreže su slijedeće:

- u slučaju pogrešnog prijema paketa moguće je ponavljane slanja
- mrežu istovremeno može koristiti više korisnika, što omogućava interaktivan rad.

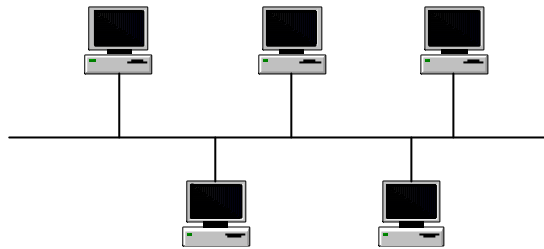
### 5.5.3. Oblici povezivanja računala u mreže

- Najjednostavniji vid je povezivanje između dva računala. To se još zove povezivanje točka-točka. Udaljenosti na kojima se spajaju su ionako male, a ograničene su karakteristikama medija kojim su spojeni.
- Više od dva računala već čine mrežu. Uobičajen je termin "lokalna mreža" (LAN) ili velike mreže koje su WAN. Broj računala je ograničen prostorom na kojem se povezivanje vrši, tj. ukupnom udaljenošću između krajnjih tocaka mreže. Ograničenje u tom smislu predstavlja medij odnosno sredstvo, kojim se računala povezuju.

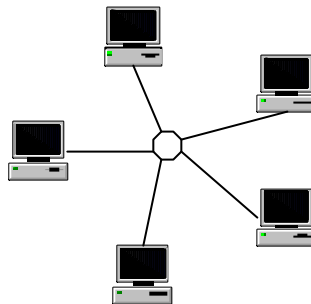
U takvoj mreži jedno od računala može imati glavnu ulogu. To je najčešće i najbrže računalo koje zovemo server ili poslužitelj. Ostala računala se zovu klijenti.

Klijenti mogu koristiti usluge servera na više načina, npr. memorijski prostor, usluge pisaca, veza sa drugim mrežama i sl. Svi oni mogu biti međusobno povezani na tri načina:

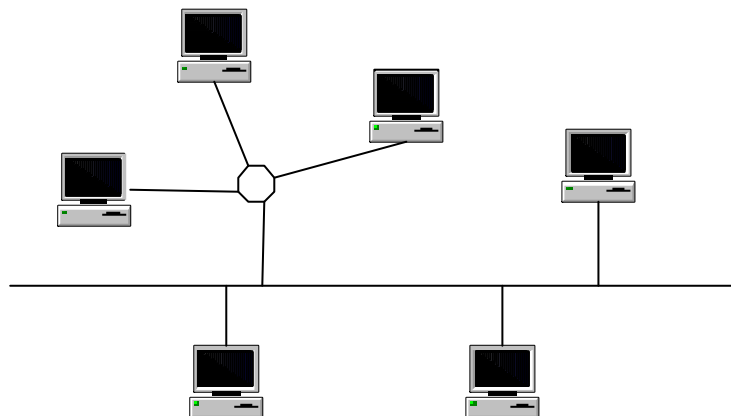
- u obliku linije ili sabirnice (sl.103),
- u obliku zvijezde (sl.104) i
- kombinirano (sl.105).



Slika 106: Povezivanje u obliku sabirnice



Slika 107: Povezivanje u obliku zvijezde



Slika 108: Kombinirano povezivanje

Ukoliko pak u jednu LAN mrežu ipak moramo uključiti računala sa područja koje nadilazi neke uobicajene dimenzije, to neće biti problem. To se može realizirati uz pomoć odgovarajuće opreme.

Ako mrežu i dalje proširujemo i uvodimo novu opremu, pomalo prerastamo u mrežu koja se zove WAN.

Daljnje proširivanje mreže dovodi nas postupno do mreže koja objedinjuje sve mreže svijeta, a to je Internet.

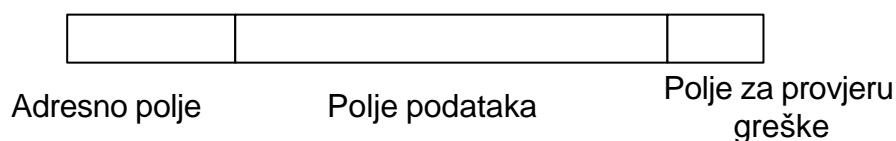
Koje su temeljne pretpostavke za rad u najmanjoj mreži, a koje za rad u LAN, WAN, Internetu?

Za sve razine mreža standardizirani su:

- protokoli tj. načini razmjene podataka (mrežni jezik), kojih se pridržavaju sva računala u mreži.
- mediji i potrebna oprema

#### 5.5.4. Protokoli

- CSMA/CD protokol, koji je u sastavu citave jedne tehnologije koja se zove ETHERNET, prvi je i osnovni protokol na kojem su izgrađeni svi ostali protokoli. Zasniva se na komunikaciji između računala u mreži na principu detekcije sukoba.  
To znači da računala prate stanje na mreži i svoje podatke predaju samo kada je mreža slobodna. Podaci se predaju u obliku paketa bitova čija je struktura točno definirana.  
Tri su osnovna dijela paketa: adresno polje, polje podataka i polje za provjeru greške (sl.109).



Slika 109: Struktura ETHERNET paketa

Svako računalo u mreži – radna stanica, ima svoju adresu koja se sastoji od 48 bitova. Na osnovu te adrese vrši se distribucija paketa podataka u mreži.

Polje podataka je promjenjive veličine od 46 do 1500 bajtova. U njemu su sadržani svi podaci koji se razmjenjuju, uključujući i podatke potrebne za rad računala na višim protokolima.

Polje za provjeru greške sadrži specifičnu kombinaciju bitova na osnovu koje se utvrđuje da li je došlo do greške u prijenosu.

TCP/IP protokol je skup protokola koji uređuju razmjenu podataka između različitih računala u različitim tipovima i vrstama mreža. Uvjet je da dotična računala imaju instaliranu odgovarajuću programsku podršku.

TCP/IP protokol omogućava razmjenu podataka na još višim protokolima kao npr. E-mail, FTP, WWW i drugih.

### 5.5.5. Mediji i oprema

Za povezivanje računala se kao medij koristi:

- Nesimetrični kabel (oznaka xBASE-5 i xBASE-2)
- Simetrični kabel s uvijenim paricama – UTP (oznaka xBase-T)
- Svjetlovod (oznaka xBASE-FL,-FB,-FP)

Uz njih se koriste i odgovarajući završeci, odnosno konektori.

Uz samo računalo tu se nalazi i mrežna kartica koja je opremljena odgovarajućim priključkom za medij koji smo odabrali.

Na prijelazu između mrežne kartice i odabranog medija nalazi se primopredajni uređaj koji prima signale iz mrežnog medija i šalje ih kartici i obratno. Nalazi se u sklopu aktivne mrežne opreme čiji opis slijedi.

Prespojnik (koncentrator ili hub) – je samostalni uređaj koji objedinjuje više manjih segmenata mreže čija je veličina ograničena osobinama samog medija (dozvoljena duljina).

Paketni preklopnik – je uređaj kojim se dodatno povećava propusnost mreže na taj način da on usmjerava paket na odgovarajuću adresu i na taj način mu skraćuje put.

Premosnik i usmjernik (Gateway) su uređaji za povezivanje lokalnih mreža u veću mrežu (WAN i Internet), a koje se vrši preko relativno sporih postojećih telekomunikacijskih sustava (fiksne telefonske mreže, digitalne mreže ili GSM-a).

### 5.5.6. Pisaci

Komunikacija između data terminala bitno je različita nego između dva faksimil uređaja jer oni komuniciraju kodiranim bitovima.

**Medutim**, računalo pisacu ne šalje ASCII kod, već se u računalu vrši postupak **rasterizacije**, tako da pisac dobije električni signal pogodan za upravljanje laserom.

Ako se rasterizacija ne vrši u računalu, onda se pisac oprema odgovarajućom elektronikom koja vrši tu rasterizaciju.

Podjela pisaca:

Osnovna podjela je na :

«**impact**» i

«**nonimpact**», pre tome da li glava pisaca dolazi u neposredni dodir sa papirom ili ne.

Impaktni pisaci su:

- **lepezasti pisaci**, koji su po svojoj konstrukciji slični pisacoj mašini
- **termalni pisaci**, koji rade na principu zagrijavanja termoosjetljivog papira

- **matricni pisaci** otiskuje znak kao mozaik tj.matricu

Najpoznatiji su 9 iglicni i 24 iglicni.

Nacini rada mogu biti: tekstualni, graficki

Brzina se izražava u cps (Characters Per Second), a

gustoca grafickog ispisa u dpi (Dot Per Inch)

Neimpaktni pisaci su:

- **Tintni pisac (Ink jet)**

Mlaz tinte debljine 0,1 mm izbacuje se iz glave pisaca pomocu piezoelektricnih vibracija na papir.

- **Laserski pisac**

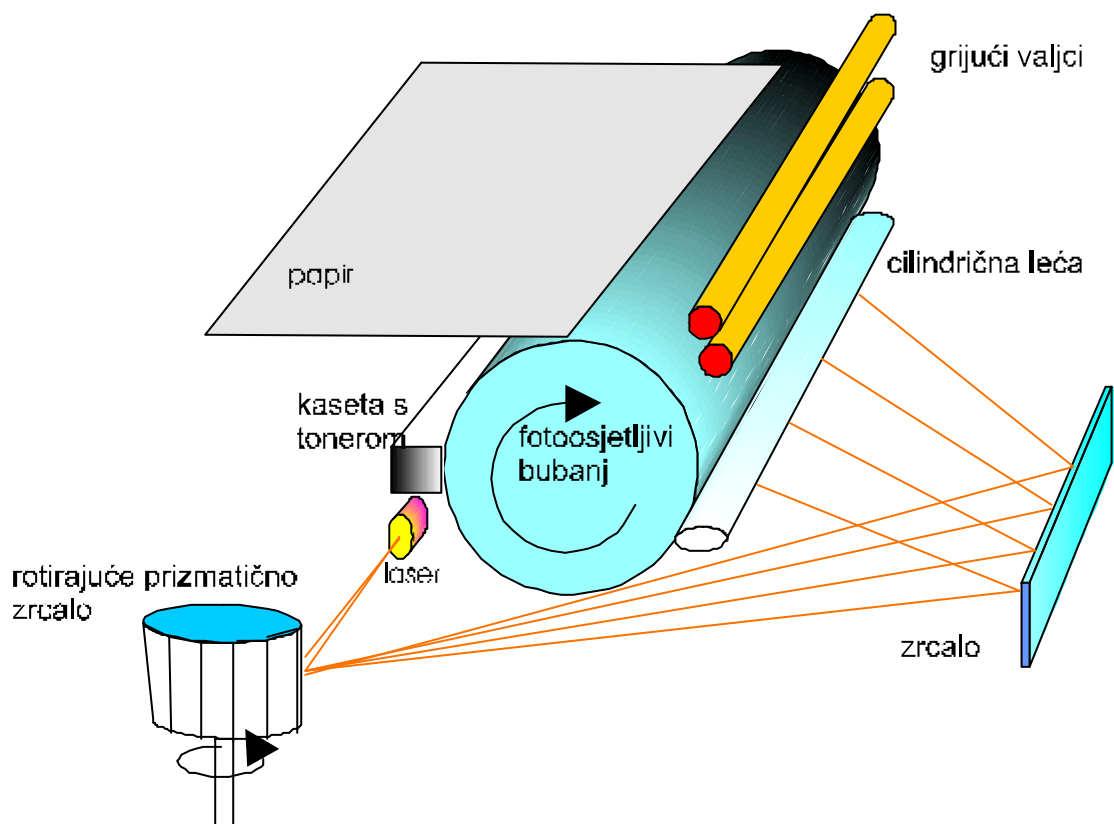
Princip rada ( sl.110) :

Osnovni dio cini metalni valjak na kojem se nalazi tanak sloj selena. Selen je poluvodic koji u nekim situacijama vodi struju, dok u nekim predstavlja izolator.

U prvom koraku citava površina valjka nabija se statickim elektricitetom.

Ovaj naboj ostaje na selenu jer on sada djeluje kao izolator.

Sa druge strane laserska zraka preko sistema leca i rotirajuceg zrcala osvjetljava transversalno površinu valjka koji rotira.



Slika 110: Princip rada laserskog pisaca

Laserska zraka se pali i gasi, a upravljana je elektronskim sustavom. Na mjestima koja laser osvjetli, selen postaje vodljiv, pa se naboj s površine isprazni preko metalnog valjka.

Na taj način naboj ostaje samo na mjestima koja laserska zraka nije osvjetlila.

Toner koji je ustvari fini crni prah, nabija se na isti polaritet kao i selenska površina, tako da se hvata samo na onim mjestima na valjku na kojima je laserska zraka izvršila izbijanje.

Papir se također elektrizira i to na suprotni polaritet od tonera, tako da privlači čestice tonera, kad prelazi preko bubnja.

Tako se sav toner s valjka prenese na papir. Na papiru smo dobili čestice tonera na mjestima koja je osvjetlio laser.

Na kraju papir prelazi preko grijucih valjaka koji zagrijavaju toner i utiskuju ga u papir.

#### 5.5.6. Modemi

To su uređaji koji omogućavaju prijenos digitalnih podataka između dvaju terminala analognom TK mrežom (PSTN).

Modem vrši prevodenje digitalnih signala u analogne i obratno koristeći modulaciju.

(**mod**ulataor/**dem**odulator = MODEM)

Područje upotrebe analogne TK linije je 2400 bauda. To znači da se preko nje u jednoj sekundi može prenijeti «samo» 2400 različitih stanja tj. «jedinica» ili «nula».

Najjednostavnija pretvorba bila je pomoću frekvencijske modulacije koja je omogućavala prijenos maksimalnom brzinom od 2400 bps, a bazirala se na tome da se jednom bitu dodijeli 1 ton tj. frekvencija. Na taj način se za vrijeme jednog bauda prenese 2400 bitova.

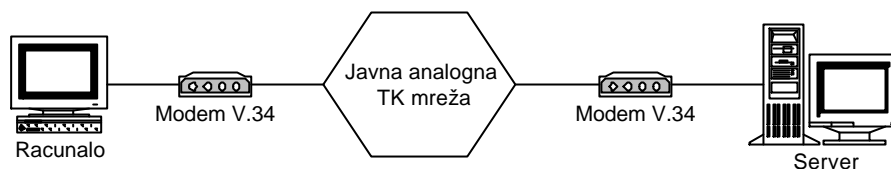
Za veće brzine koristi se amplitudna modulacija (AM), fazna modulacija (PM) i kvadriamplitudna modulacija (QAM). Uz njihovu primjenu dobivaju se brzine od 33600 bps.

Kombinacijom spomenutih modulacija jednom se baudu dodijeli 14 bitova, što daje  $2400 \times 14 = 33600$  bps.

Standard koji podržava ovakav prijenos zove se V.34

Danas je u uporabi standard V.90, koji radi brzinom od 56.600 bps, a temelji se na V.34 uz uporabu digitalnog signala na izlazu iz racunala na koje je naš modem priključen preko mreže tzv.providera.

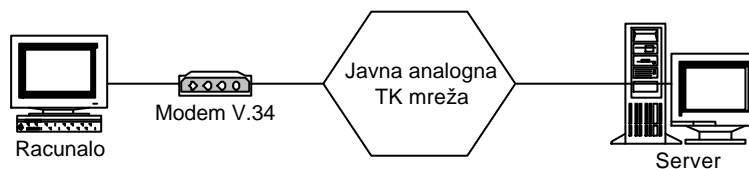
Standard V.34 podrazumjeva korištenje potpuno analognih uvjeta za slanje digitalnih podataka. To znaci sa se u modemu preko kojega se spajamo na analognu mrežu vrši A/D i D/A konverzija, a isto tako da se A/D i D/A konverzija vrši i na strani servera (ISP) (sl.111)



Slika 111: Upotreba modema V.34

Analogno digitalna pretvorba vrši se na principu poznatom kao A-zakon (PCM). Taj postupak podrazumjeva nastanak kvantizacijskog šuma, koji znatno utice na brzinu prijensa (64 Kbps smanjuje na 35 Kbps). U digitalno-analognoj pretvorbi toga problema nema.

Standard V.90 je prošireni standard V.34 utoliko što se server priključuje na mrežu na digitalan način (npr.ISDN)(Sl.112).



Slika 112: Upotreba modema V.90

Sada izostaje potreba za jednom analognu-digitalnom pretvorbom i to upravo prilikom prijema podataka.

Dakle odašiljanje jest isto kao i kod standarda V.34, ali je prijem digitalan. To povećava ukupnu brzinu na receni iznos od 56.6 Kbps.

## 5.6. TV prijenos pokretne slike

### 5.6.1. Analiza slike i princip proreda

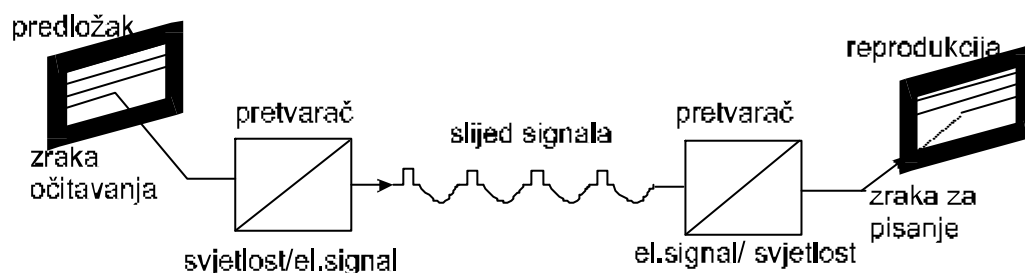
Prvi prijenosi pokretne slike na daljinu poticu iz davne 1884. godine, kada je njemacki znanstvenik Nipkov izradio mehanicki uredaj za skeniranje pokretne slike. Prijelaz na elektricni princip prijenosa omogucen je 1897, kada je Braun patentirao elektronicnu cijev, pretecu današnje katodne cijevi. Osnovna ideja prijenosa pokretne slike na daljinu, doživjela je male promjene.

Razumjevanje analize i prijenosa slike zapocinje na primjeru crno-bijele slike.

U opto-elektricnom pretvaracu (kamera) slika se razlaže u uzdužne ravne linije. Svjetlosna jakost pojedine tocke slike pretvara se u promjene jakosti elektricne struje.

Takve promjene struje na odgovarajuci nacin stižu u vremenskom slijedu na mjesto prijema i tamo se ponovno pretvaraju u promjene svjetlosne jakosti.

**Osnovni princip prijenosa slike sastoji se u tome da se razlicite svjetlosne jakosti određenog predmeta razlažu tocku po tocku i da se u istom redoslijedu – sekvencijalno, prenesu na mjesto reprodukcije (Sl.113).**

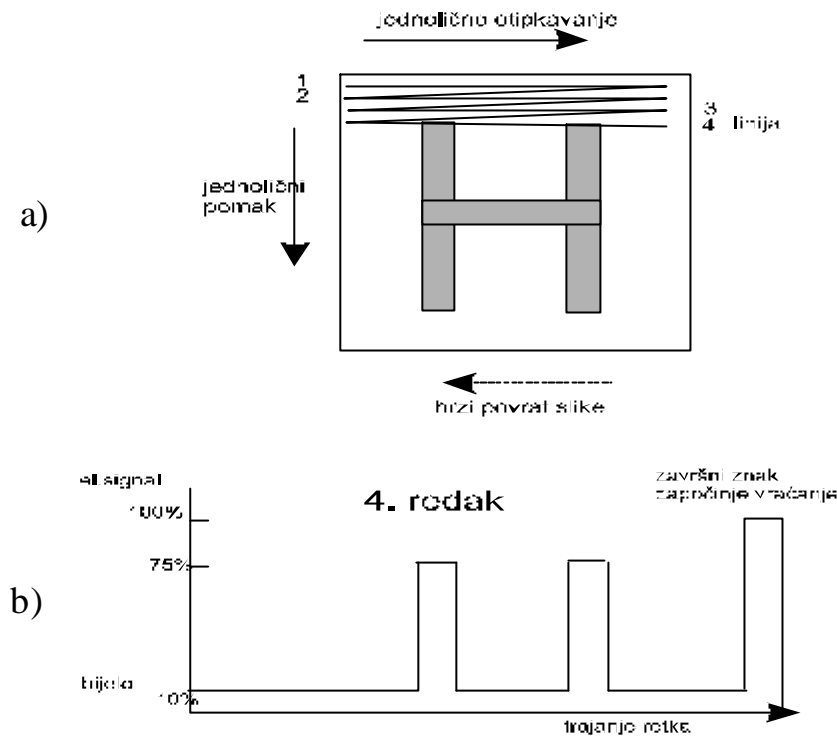


Slika 113: Princip TV prijenosa slike

Analiziranje predloška tj. slike vrši se finim elektronskim mlazom u cijevi kamere. Vrijednosti svjetlosne jakosti pojedine tocke slike pretvaraju se u el. signale, koji se jedan za drugim prenose sekvencijalno na mjesto prijema. Tu se signali ponovno pretvaraju u svjetlosnu jakost na ekranu katodne cijevi redak po redak.

U sastavu video signala nalaze se i dodatni elementi kojima je zadatak sinkronizacija. Tako se postiže istovremenost analize predloška i ispisa u katodnoj cijevi.

Analiza slike prikazana je na slici 114a, a rezultat te analize u obliku elektricnog signala na slici 114b.



Slika 114: Analiza slike

Na prvoj slici je predložak u obliku slova H. Elektronski mlaz analizirajuće cijevi prelazi u redovima preko predloška. Na mjestima gdje je slika tamnija, kao što je u 4.retku, elektricni signal ce imati vecu razinu. Za razinu crnoga na slici predviden je iznos od 75% maksimalnog iznosa signala. Za razinu bijeloga to je 10%, dok je maksimalna razina predvidena kao znak za završetak retka.

Na taj nacin odašiljac signalizira prijemniku da je redak završen i da pocinje drugi, kako bi se na prijemnoj strani slika korektno rekonstruirala.

## Princip proreda

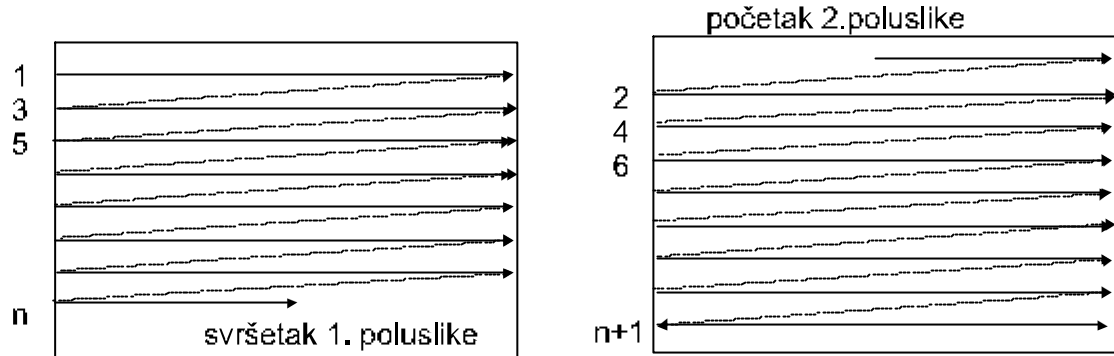
Podsjetimo se nacina formiranja slike pri reprodukciji filma. U jednoj sekundi projektor emitira 24 slicice, pri cemu je vidno treperenje slike. Da bi se treperenje odstranilo ide se na dvostruko i trostruko dodatno zatamnjjenje i osvjetljavanje slike.

Kod formiranja TV slike, u sekundi se vrši 50 izmjena slike, pa možemo biti sigurni da ce treperenje slike biti nezamjetno.

Kako bi se smanjili zahtjevi na prijenosne uredaje, primjenjuje se sljedece:

U jednoj 50-tinki sekunde ispisuje se jedna poluslika koja se sastoji od neparnih redova na ekranu, a u drugoj 50-tinki sekunde ispisuje se druga poluslika sastavljena od parnih redova (Sl.115).

Dakle u 2/50 ili 1/25 sekunde ispiše se citava slika.



Slika 115: TV slika sastavljena od dvije poluslike

Citava slika se sastoji dakle od dvije poluslike - parne i neparne. Svaka poluslika se sastoji od 312, 5 redaka. Neparna poluslika završava sa poluretkom, a parna zapocinje sa poluretkom.

Taj princip preskakanja redova naziva se princip proreda.

Broj potpunih slika naziva se frekvencija izmjene slika (25 Hz), a broj poluslika je ujedno i frekvencija poluslika ili vertikalna frekvencija (50 Hz). Ukupan broj linija je neparan i iznosi 625 (posljednji 625- ti redak sastoji se od dva poluretko).

Na osnovu iznešenog definirane su osnovne CCIR norme za TV signal (Internacionalna savjetodavna komisija za radiokomunikacije):

*Frekvencija izmjene slike (broj potpunih izmjena slike): 25 Hz*

*Frekvencija rastera – vertikalna frekvencija (broj poluslika) : 50 Hz*

*Broj redaka potpune slike (linija): 625*

*Linijaska frekvencija – horizontalna frekvencija (ukupan broj linija u sekundi): 15625 Hz*

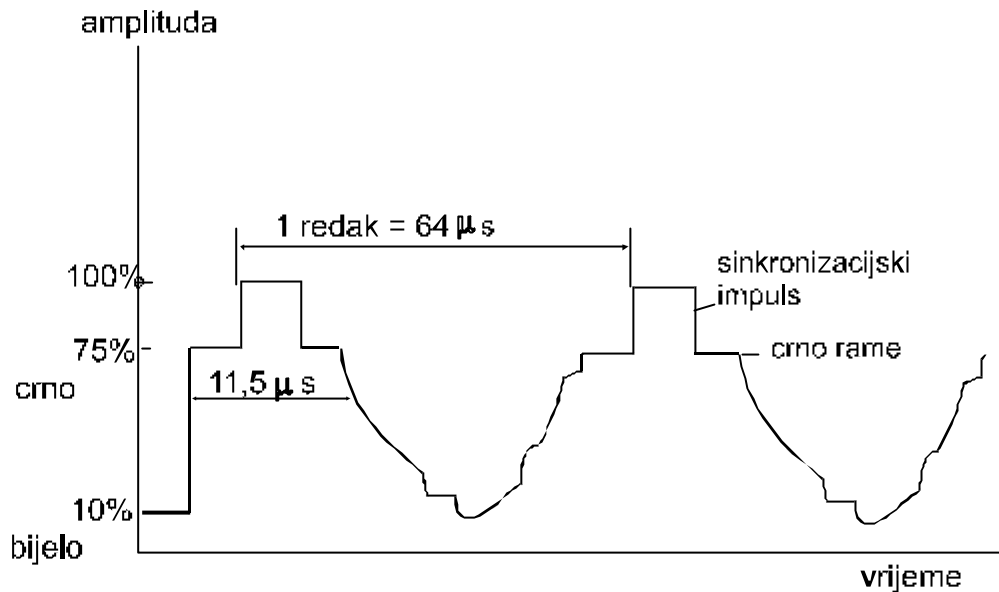
## Video signal

Ovdje cemo se pozabaviti izgledom analognog signala kojeg zovemo video signal, a to je osnovni signal koji sadrži sve elemente potrebne za formiranje TV slike (sl.116).

Kolika je perioda signala cija je frekvencija 15625 Hz?

$$T = 1/f = 1/15625 = 64 \text{ ? s}$$

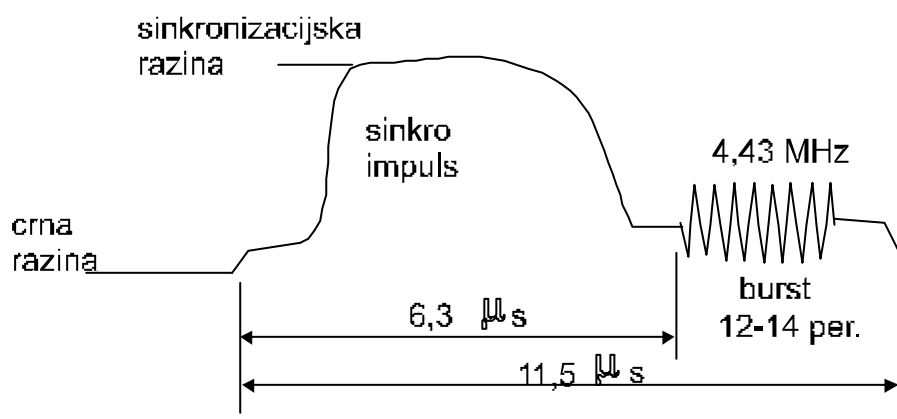
To je dakle vremensko trajanje ispisivanja jednog retka. Veci dio toga vremena pripada djelu signala u kojem se nalazi informacija o sadržaju retka, dok se 11,5  $\mu$ s uzima za potiskivanje i sinkronizacijski impuls.



Slika 116: Video signal

U okviru toga vremena nalazi se sinkronizacijski impuls i «crno rame» Sinkronizacijski impuls oznacava kraj retka i daje nalog za prijelazak na ispis novog retka.

«Crno rame» spriječava da se povratak zrake javi kao svijetli trag. Sinkronizacijski impuls uvećan nekoliko puta prikazan je na slici 117.



Slika 117: Sinkronizacijski impuls

Kod TV u boji u sastavu sinkroimpulsa imamo dodatak koji se zove burst. To je kratkotrajni signal frekvencije 4,43 MHz koji sadrži podatke o boji.

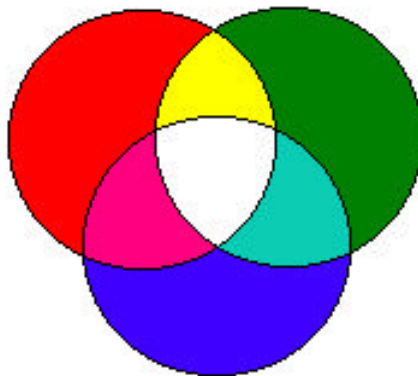
Kompletan signal se zove BVPS (boja, video, potisni, sinhronizacijski impuls), za razliku od video signala u akromatskoj TV gdje se zove VPS.

### 5.6.2. Krominantni koordinatni dijagram

Na koji se način informacija o boji ugrađuje u video-signal?

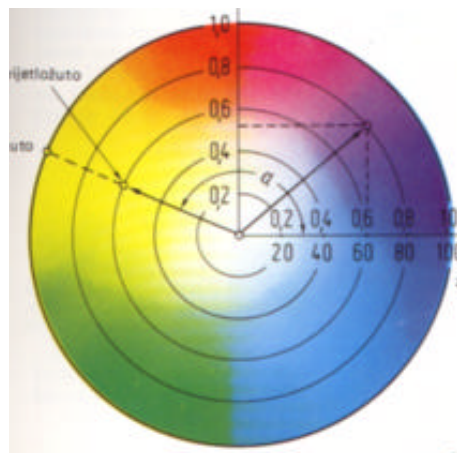
Za objašnjenje TV prijenosa slike u boji (kromatska TV) sjetimo se jedne od postavki kolorimetrije da se bijela svjetlost dobiva miješanjem svjetlosti tri osnovne boje: plave, zelene i crvene

Podsjetimo se kako izgleda aditivno miješanje boja (sl.118)



Slika 118: Aditivno miješanje boja

Ovdje su tri kruga koja su poredana u trokut. Trokut boja prema DIN-u sastoji se od ove tri osnovne boje. U tom trokutu uzima se u obzir i zasićenost boja, tako da se dobije puno veći izbor boja. Trokut boja može se predstaviti i kao krug boja (sl.119).



Slika 119: Krug boja

U krugu boja su prikazane tri osnovne boje, ali i boje koje su nastale njihovim mješanjem.

Još je jedna velicina iz kolorimetrije dana ovim prikazom. To je zasícenje boje. Ono je najmanje u centru kruga i raste iduci od centra kruga prema obodu.

Tako možemo bilo koju boju u krugu u potpunosti odrediti polarnim koordinatama kao funkciju dvaju argumenta: kuta  $\alpha$  koji odreduje boju i duljine vektora, koji odreduje zasícenost boje.

Dakle:

boja = ton boje + zasícenost boje

Os  $x$  ovdje se zove  $U$ , a os  $y$  se zove  $V$ , tako da možemo svaku boju izraziti pomocu koordinata u koordinatnom sustavu.

Na slici br.114 su oznacene koordinate purpurne boje pri cemu je :

$U = 0,6$   $V = 0,5$ .

Npr.svijetlo plava:  $U = 0,2$   $V = - 0,5$  itd.

Ovim smo dobili matematicki model kojim možemo predstaviti svaku boju, što ce nam trebati kod shvacanja funkcioniranja kromatske TV.

## **Princip rada kromatske TV kamere**

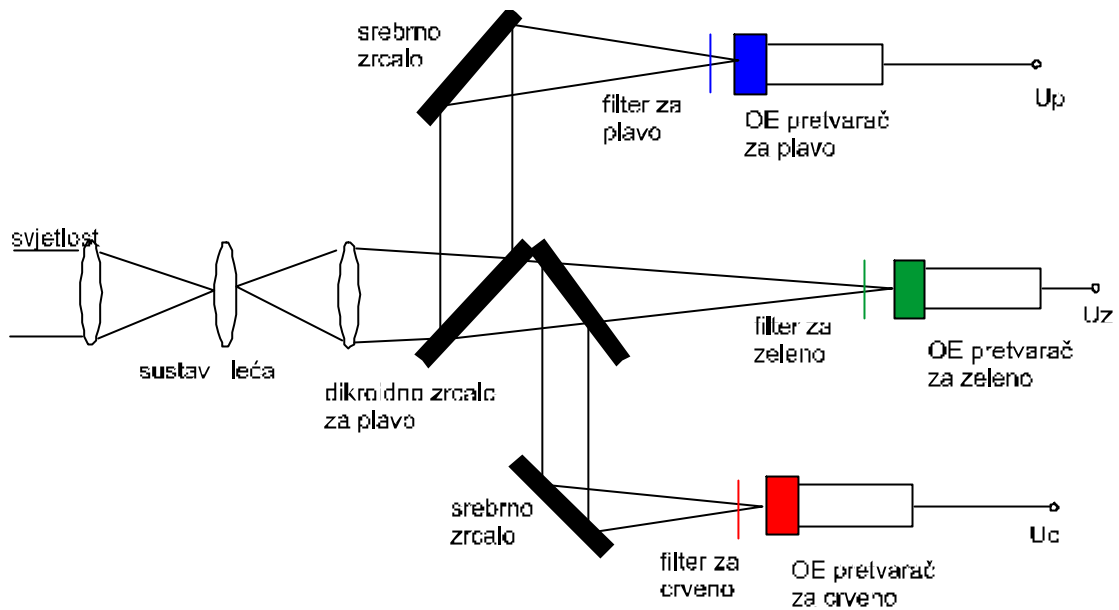
Osnovni uvjet koji postoji u radu kromatske TV je da ona bude kompatibilna sa akromatskom TV.

To znaci da akromatski prijemnik mora reproducirati sliku u boji i obratno.

Crno bijela slika kod kromatske TV ne dobije se posebnim opticko-elektricnim pretvaracem (OE pretvarac) vec zaobilaznim putem preko tri kromatska signala.

Postupak dobivanja el.signala iz slike u boji najprije polazi od toga da se dobiju pojedinačni signali od tri boje: crvene, plave i zelene.

Za to nam trebaju tri OE pretvaraca koji su slijepi na boje. Svaki od njih neovisno funkcionira kao akromatski OE pretvarac.



Slika 120: Princip rada TV kamere u boji

Na izlazu dobivamo tri odvojena signala  $U_p$ ,  $U_c$  i  $U_z$ . Sljedeći korak je dobivanje modela jedinstvenog signala koji će sadržavati ova tri signala boje.

### 5.6.3. Signali boje

Kompatibilnost kromatske i akromatske TV postićemo istovremenom primjenom **kromatskog i luminantnog** signala.

Kromatski signal u sebi sadrži podatke o boji (U i V), a luminantni signal o svjetlosti, odnosno samoj slici.

Iz tri dijela boje C, Z i P sastavlja se Y signal. On odgovara video signalu akromatskog prijemnika.

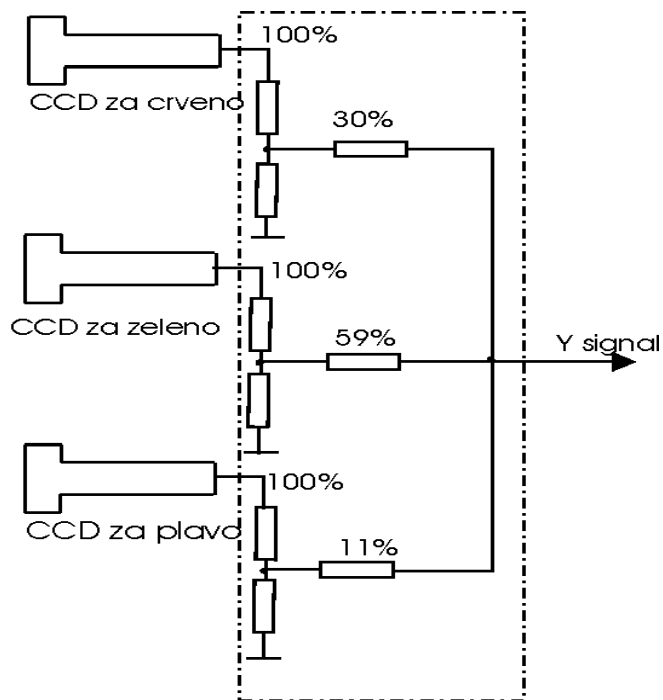
Y signal za bijelu površinu ima sljedeći oblik:

$$Y = 0,30 U_c + 0,59 U_z + 0,11 U_p = 0,3 C + 0,59 Z + 0,11 P \quad (5.1.)$$

Ovi iznosi su dobiveni iz krominatnog dijagrama, a govore koliki je udio pojedine boje u bijeloj boji.

U recenim odnosima bit će signali pojedinih boja u ukupnom signalu što je prikazano na slici 121.

Kada se znaju ovi odnosi onda možemo reći da je dovoljno prenijet samo Y, C i P, dok se Z može rekonstruirati iz formule 5.1.



Slika 121: Principijelna shema dobivanja Y signala

Zbog toga se za dobivanje kompletne informacije o boji prenosi:  
Y signal te C i P.

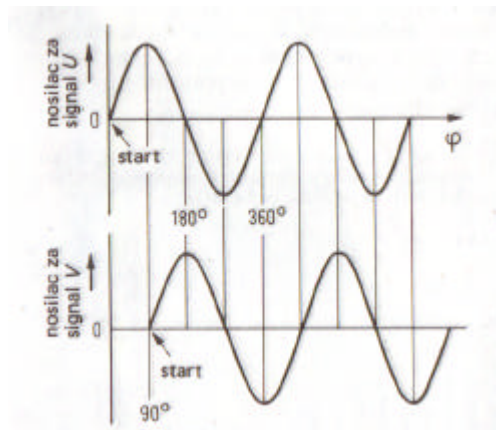
Od ovih podataka možemo rekonstruirati sve boje na osnovu formula:

$$U = (C - Y) \text{ i } V = (P - Y)$$

Ovo su iznosi napona, koje dobijemo na elektroničkim sklopovima. Time smo u potpunosti miješanje boja prikazali matematičkim modelom.

Ovi naponi se sada koriste za modulaciju **bursta** na slijedeći način:  
Znamo da je **burst** kratkotrajni titraj u sastavu sinkroimpulsa te da je njegova frekvencija 4,43 MHz.

Iz generatora ove frekvencije uzmemo dva signala koji su fazno pomaknuti za  $90^{\circ}$ . Oba signala amplitudno moduliramo i to jedan signalom U, a drugi signalom V. Rijec je, naravno, o QAM (sl.122).



Slika 122: Modulacija U i V signala

Kompatibilnost kromatskog i akromatskog sustava prijenosa slike ogleda se u slijedecem:

Informacija o boji sadržana je u burstu koji se nalazi u sastavu sinhro impulsa u oba slucaja. Kromatski prijemnik ce ovaj signal registrirati i upotrijebiti, a akromatski ga neće niti registrirati.

Informacija o razini svjetlosti sadržana je u Y signalu. Ovaj signal je potreban akromatskom prijemniku, jer predstavlja ustvari sadržaj informacije.

Za kromatski prijemnik Y signal predstavlja informaciju o zasicenju boje te služi za rekonstrukciju kompletne informacije o boji slike.

Podaci o boji i zasicenosti boja nalaze se u frekvencijskom podrucju koje registriraju oba sustava prijemnika.

Za korekciju greške u boji kod nas se koristi sistem PAL, a poznati su još SECAM i NTSC (americki). Oni nažalost nisu kompatibilni.

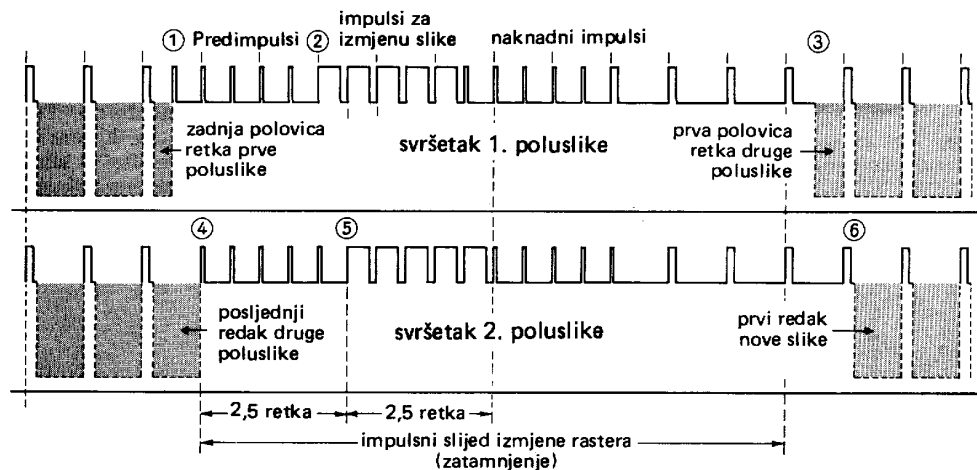
#### 5.6.4. Sinkronizacijski impulsi

Nakon završetka prve poluslike elektronski mlaz vraća se ponovno na gornji dio ekrana da bi započeo sa ispisom druge poluslike.

Da bi se to dogodilo moraju postojati neki signali koji će odrediti trenutak vraćanja.

Te signale zovemo *rasterski impulsi*

To je niz impulsa koji su u taktu horizontalne (linijske) frekvencije, a koji ujedno gase elektronski mlaz, jer bi se u protivnom, kao i kod horizontalnog impulsa, povratak zrake očitovao kao svijetli trag odozdo prema gore (sl.123). Raspored i vremenski slijed rasterskih impulsa mora osigurati pravilan rad i izmjenu poluslika.



Slika 123: Rasterski impulsi za vertikalnu sinkronizaciju

Iza prve poluslike, koja završava polovicom retka slijedi pet uskih predimpulsa (oznaka 1 na slici br.123).

Iza njih slijedi pet impulsa za izmjenu slike, to su vertikalni sinkronizacijski impulsi (oznaka 2).

Iza njih dolazi još pet uskih impulsa za izjednačavanje.

Iza njih slijedi nekoliko taktova razine crnog radi brisanja traga zrake kod povratka na gornji dio ekrana, a potom prva polovica retka druge poluslike, koja zapocinje na sredini impulsa zatamnjenja. Druga poluslika zapocinje sa cijelim retkom (oznaka 4).

Slijedi pet impulsa za izjednačenje itd.

Prvi redak nove slike pojaviti će se nakon citavog impulsa zatamnjenja.

Širina impulsa zatamnjenja jednaka je širini video impulsa.

Citav slijed impulsa ima neke pravilnosti:

- Ritam horizontalnih impulsa prisutan je neprekidno.
- Impulsi za izjednačenje služe za utitravanje i istitravanje strujnih krugova.
- Raspored i duljina pojedinih impulsa strogo su određeni.

## 5.7. Pitanja i zadaci:

1. U čemu se sastoji osnovni princip prijenosa slike?
2. Na koji se način i zašto na ekranu katodne cijevi ispisuju poluslike, a ne slike?
3. Koje su osnovne CCIR norme za TV signal?
4. Koje elemente sadrži VPS, a koje BVPS?
5. Što je burst?
6. Što prikazuje krominantni dijagram?
7. Koji osnovni uvjet mora zadovoljiti kromatska TV?
8. Kako nastaje crno-bijela slika u kromatskom TV prijemniku?
9. Što je Y signal?
10. Kako glasi formula za dobivanje Y signala i kako se dobiva?
11. Na koji način se vrši utiskivanje informacije o boji u burst?
12. Za što služe rasterski impulsi?
13. Koji impulsi su sadržani u rasterskim impulsima?
14. Nacrtati izgled n-tog retka video signala koji prolazi točno kroz sredinu slova «H».
15. Izračunaj linijsku frekvenciju kod američkog TV sustava koji radi sa vertikalnom frekvencijom 60 Hz i 525 redaka potpune slike.

## 6. POKRETNE MREŽE

Sustav mobilnih komunikacija omogućuje slobodno kretanje mobilnim pretplatnicima, te primanje i odašiljanje poziva u svakom trenutku, neovisno u kojoj se zemlji trenutno nalaze (international roaming)

Tri su osnovna sustava koji su zastupljeni na području mobilnih komunikacija:

- Analogne pokretne mreže, čiji je predstavnik kod nas NMT – tzv. mobitel – mreža čiji je pozivni broj 099. Rade na principu frekvencijskog multipleksa.
- Digitalne pokretne mreže - GSM, čiji je predstavnik kod nas CRONET (098) i VIPNET (091). Rade na principu frekvencijskog i vremenskog multipleksa.
- Digitalna pokretna mreža GPRS, koja se posve naslanja na GSM. Ima drugaciju strukturu podataka, a s tim u vezi i usluga koje omogućava.
- Digitalna pokretna mreža UMTS, koja funkcionira po principu koji je bitno različit od GSM-a, pa u tome smislu i omogućava usluge drugacije vrste i obima (!).

- Satelitske komunikacije, koje su također digitalne, a koriste metode i postupke prethodne (UMTS).
- Pokretne mreže posebnih namjena, uglavnom digitalne.

Da vidimo što nam pojedine od ovih vrsta mreža nude i u kojem obimu.

- **Komunikaciju govorom**, kao osnovnu opciju omogućavaju sve navedene mreže.
- Sljedeća je razina **komunikacija porukama i podacima**. Usluge ovakvog tipa mogu ponuditi sve digitalne mreže.
- Komunikaciju medijima nudi nam GPRS, UMTS, (CDMA, WCDMA) i satelitske komunikacije.

Pojam «komunikacija govorom» razumljiv je i jasan, prezentiran u ranijim predavanjima i nije ga potrebno dodatno objašnjavati.

Pojam «komunikacija porukama» znači da je sustav u mogućnosti generirati i prenijeti poruku koja se sastoji od određenog broja (do 160) 8-bitnih znakova, koji su nam poznati kao ASCII kod i koji predstavljaju slova, brojeke i različite znakove (interpunkcije i dr.). Najpoznatiji i opceprihvaćeni način komuniciranja porukama je SMS.

Pojam «komunikacija podacima» znači da sustav može prenesti višebitne kombinacije čija struktura može biti vrlo različita, pri čemu je neophodno da u sustavu postoji način sporazumjevanja u pogledu prijenosa, a kojeg nazivamo protokol.

Najpoznatiji način komunikacije podacima, koji je zaživio i kod nas je WAP.

Pojam «komunikacija medijima» za sada je najviša faza komunikacije, koja omogućava prijenos i razmjenu medijskih sadržaja, a koja zahtjeva određenu brzinu i drugačije protokole.

To praktično znači da je realna brzina slanja i primanja podataka dovoljno velika da se u realnom vremenu vrši prijenos slike, te uz već davno moguć prijenos zvuka u realnom vremenu, imamo videotelefoniju.

## 6.2. Struktura GSM mreže

Struktura GSM mreže (Global System for Mobile telecommunications) je jedna od najsloženijih mrežnih struktura i baš zahvaljujući tome ona izvrsno funkcionira.

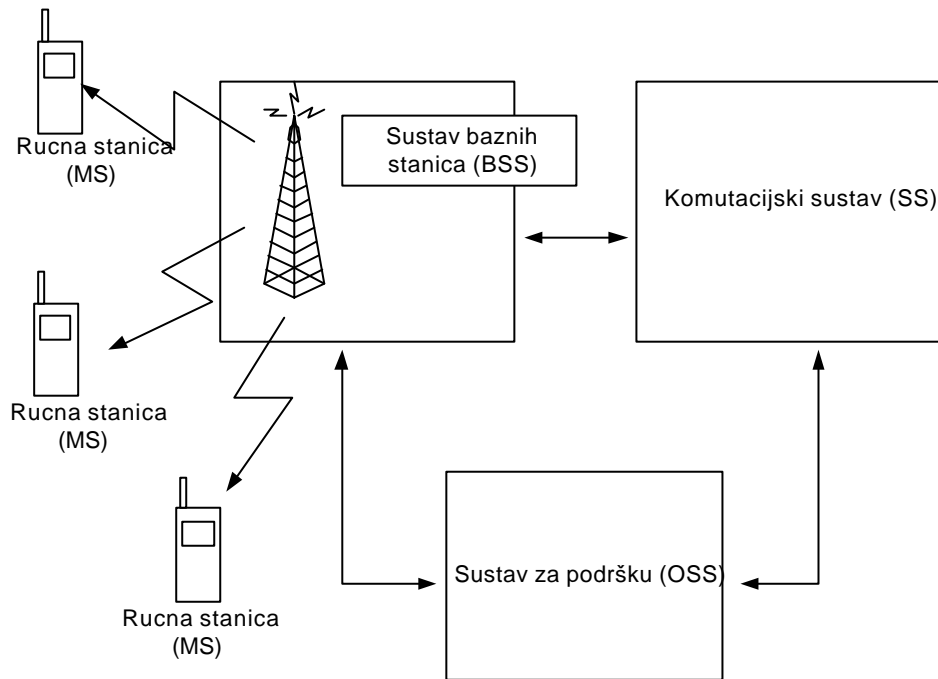
Principi njenog djelovanja utvrđeni su evropskim normama 1982. godine te predviđaju:

- ☞ dobru kvalitetu signala
- ☞ nisku cijenu opreme i servisiranja

- ☞ upotrebu na međunarodnoj razini
- ☞ mogućnost upotrebe rucnih aparata
- ☞ podršku za neke dodatne usluge (telefaks, priključak računala)
- ☞ spektralnu djelotvornost i
- ☞ ISDN kompatibilnost

GSM mreža sadrži 4 povezane cjeline:

- Sustav baznih stanica BSS (Base Station System)
- Komutacijski sustav SS (Switching System)
- Rucne stanice MS (Mobile Station)
- Sustav za podršku OSS (Operation and Support System)



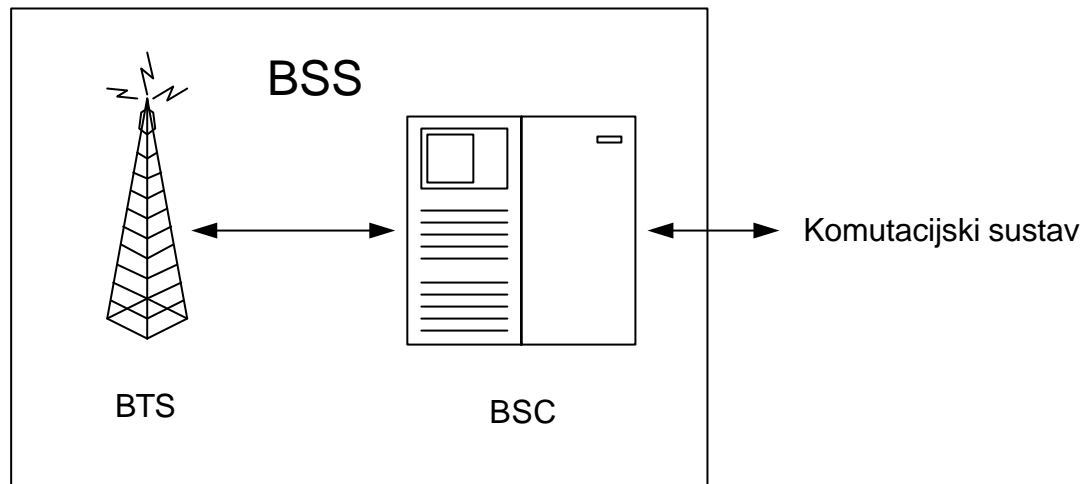
Slika 124: Jednostavna blok shema GSM mreže

Svaki od prikazanih blokova u sebi sadrži složenu strukturu:

1. **Sustav baznih stanica BSS** se sastoji od dva dijela:
  - a) Prijemno-odašiljacke stanice (BTS-Base Transceiver station) koja se sastoji od prijemnika i odašiljaca te čini osnovnu radio-celiju, koju možemo primjetiti na više mjesta u gradu i izvan grada po karakteristiknim oblicima antena. Komunikacija

između mobilnih stanica (MS) i prijemno-odašiljacke stanice (BTS) vrši se putem radio valova.

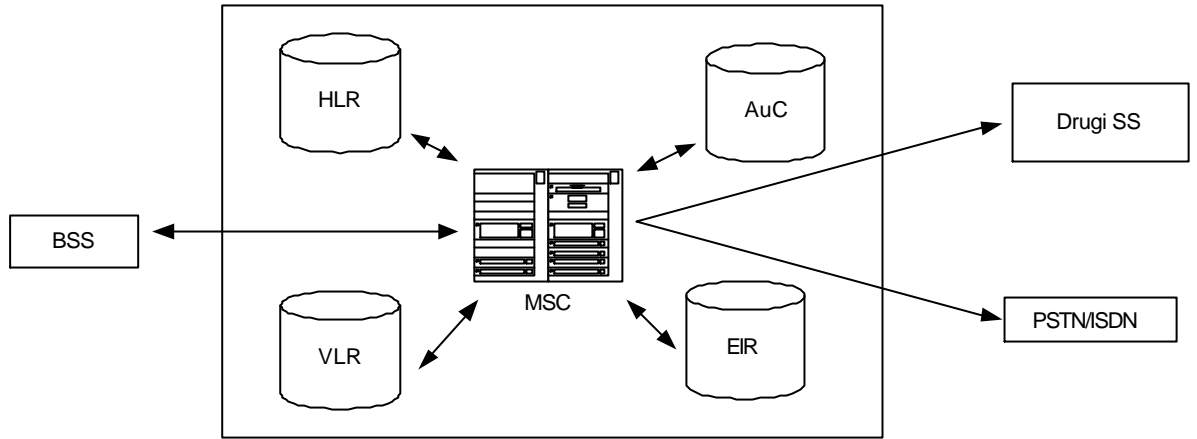
- b) Kontrolera baznih stanica (BSC – Base Station Controller)- koji vrši upravljanje jednom ili više BTS-a. On također prosljeđuje signal centrali sa BTS-a, prima signal od centrale i prosljeđuje ga BTS-u.



Slika 125: Blok shema BSS-a

2. **Komutacijski sustav SS** sastoji se od nekoliko dijelova:
- **Centrala**, odnosno **komutacijski centar (OMC)** glavni je dio toga sustava. Glavni joj je zadatak prespajanje odnosno komutacija nalik na klasičnu automatsku telefonsku centralu, uz napomenu da se ovdje ne radi o fizičkom prespajanju već se ono vrši na razini podataka. Na njega je spojena i drugi komunikacijski centri mobilne mreže te PSTN/ISDN mreža. (PSTN – fiksna telefonska mreža)
  - Da bi komutacijski centar radio brzo i uspješno mora imati dostupnu bazu podataka koju čine:
    - **HLR** (Home Location Register) – Registar domaćih pretplatnika, a to su svi korisnici koji su prema broju i teritorijalnoj pripadnosti svrstani u grupu koja pripada upravo toj centrali. Registar sadrži i podatke gdje se oni trenutno nalaze, kao bi se veza što brže uspostavila.
    - **VLR** (Visitor Location Register) – Registar gostujućih pretplatnika, a to su svi korisnici koji se nalaze u području centrale, a nisu registrirani u HLR-u, uključujući i roaming korisnike.
    - **AuC** (Authentication Center) – Centar za utvrđivanje identiteta pretplatnika, je baza podataka o pretplatnicima mreže na osnovu podataka sa SIM kartice, potrebnih za realiziranje veze.

- **EIR** (Equipment Identity Register) – Registar mobilne opreme koji ima zadatak prikupljanja i cuvanja podataka o neispravnoj i ukradenoj mobilnoj opremi, pošto svaka proizvedena mobilna stanica ima svoj broj i može se identificirati u prometu.



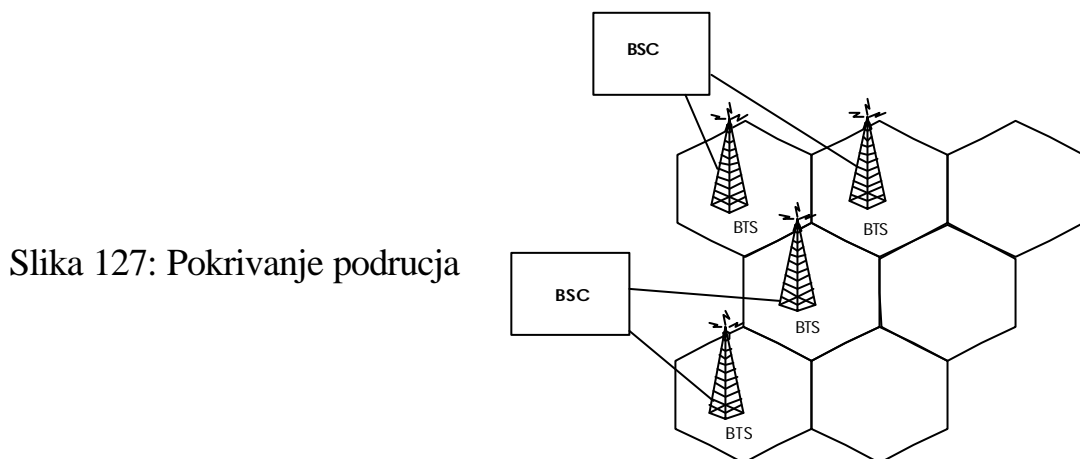
Slika 126: Blok shema komutacijskog sustava

### 6.3. Pokrivanje radiosignalom

Osnovna primopredajna stanica BTS sadrži prijemnik i odašiljac sa antenom čije zračenje prekriva određeni prostor koji se naziva **radio-celija**, a koja je u obliku šesterokuta. Veza sa upravljačkim dijelom (BSC) ostvarena je također radio putem.

Osnovna ideja radio-celije se sastoji u tome da na području koje prekriva osigurava radio signal svim korisnicima koji se tu nalaze. Kada se mobilna stanica premjesti na područje neke druge radio celije, osiguran joj je radio signal upravo te radio-celije.

Pravi kriterij za odabir celije sastoji se u tome da mobilna stanica mjeri razinu signala i uvijek odabire signal sa najjačom razinom. To znaci da granice između celija nisu nipošto stroge.



Slika 127: Pokrivanje područja

Promjer radio-celije iznosi od 2 do 18 km, a maksimalno može biti 35 km. Prijelaz iz celije u celiju ne smije se vršiti brzinom većom od 250 km/h, jer u protivnom sustav neće pravovremeno reagirati.

### **Frekvencijsko područje**

Vec smo ranije rekli da se u GSM mreži koristi frekvencija 900 MHz. Rijec je zapravo o području 900 MHz, a koje obuhvata pojas frekvencija od :

890 – 915 MHz za vezu od MS prema BTS (UP LINK) i  
935 – 960 MHz za vezu od BTS prema MS (DOWN LINK)

Svako od ovih područja se po principu FDMA dijeli na 124 prijenosne frekvencije između kojih je razmak od 200 KHz.

Broj raspoloživih frekvencija je velik, ali je područje koje neki GSM operater prekriva isto tako veliko, pa se mora strogo voditi računa da ne dođe do miješanja frekvencija što bi dovelo do interferencije signala.

Da bi se to izbjeglo, susjednim celijama dodjeljuju se frekvencije koje se međusobno dovoljno razlikuju.

To su **prijenosne frekvencije ili nositelji**. Prelaskom u drugu celiju, mobilna stanica automatski mijenja frekvenciju na kojoj radi.

### **Skakanje frekvencije**

Radio valovi na kojima se vrši komunikacija u GSM su takvih frekvencija (900 MHz) kod kojih je reflektirani val izrazito prisutan. Zbog toga ima mnogo interferencije i fadinga.

Da bi se to izbjeglo mobilna i bazna stanica neprestano mijenjaju frekvencije na kojima vrše odašiljanje odnosno predaju. Algoritam za skakanje frekvencije emitira se na posebnom kanalu na koji korisnik nema utjecaja.

### **Snaga radio signala**

Gustota naseljenosti odnosno promet na nekom području imaju presudan utjecaj na organizaciju radio mreže. U gusto naseljenim područjima, specijalno u gradovima, ide se na veći broj BTS-ova koji imaju manju snagu. Raspon snage odašiljaca BTS-ova je od 2,5W do 320W. Snagu BTS kontrolira BSC i drži je na optimalnoj razini.

Isto tako se i mobilne stanice klasificiraju prema maksimalnoj snazi koju emitira njihov odašiljac na 5 klasa i to od 0,8W do 20W.

Važno je i to da mobilna stanica prati snagu signala kojeg prima, te na osnovu toga određuje kolika je snaga dovoljna za rad njenog odašiljaca. Na taj način se ostvaruju značajne uštede energije iz baterija.

## 6.4. Struktura GSM kanala

Vec smo rekli da se veza od MS prema BTS odvija na 124 radiofrekvencija, a isto toliko imamo i za obratnu vezu s tim da je ona u drugom opsegu. Ovaj dio odnosi se na FDMA i slican je klasicnoj radio vezi s jednim izuzetkom!

Kojim?

Frekvencije su brižljivo raspodjeljene izmedu BTS-ova, kako si ne bi medusobno smetale, a takoder se zbog velike mogucnosti interferencije i fedinga izvodi tzv. frekvencijsko skakanje.

Unatoc tome je izmedu uplinka i downlinka razlika uvijek 45 MHz.

GSM signal prenosi se u dvije vrste kanala, to su :

- prometni kanali kojima se šalju govorni podaci i
- kontrolni kanali koji služe za signalizaciju i sinkronizaciju (od kojih smo jedan vec spominjali kod frekvencijskog skakanja).

### Formiranje GSM kanala

GSM kanala formira se na istovjetan nacin u BSS-u i u MS-u.

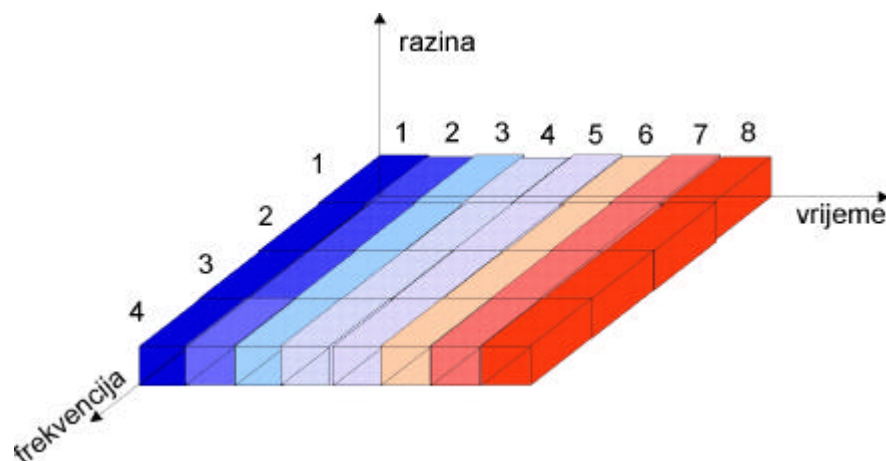
Svaka frekvencija koja nam je na raspolaganju (od 124 mogucih) dodatno se dijeli na 8 vremenskih isjecaka. Jedan takav vremenski isjecak naziva se *burst*. Ovi vremenski isjecci raspoređeni su na osam kanala u pravilnom redosljedu jedan iza drugog. To su logicki kanali. Na taj smo nacin broj mogucih veza povecali 8 puta.

To znaci da imamo:  $124 \times 8 = 992$  kanala. Jedna radio celija ne može koristiti maksimalan broj kanala vec najviše 1/7 od toga.

Zašto?

*Zbog raspodjele frekvencija po BTS-ovima, prema kojoj BTS-u pripada najviše 1/7 frekvencija, jer bi u protivnom došlo do ometanja susjednih BTS-ova.*

Na slici 128 prikazana je blok shema raspodjele 30 kanala nekog BTS-a:

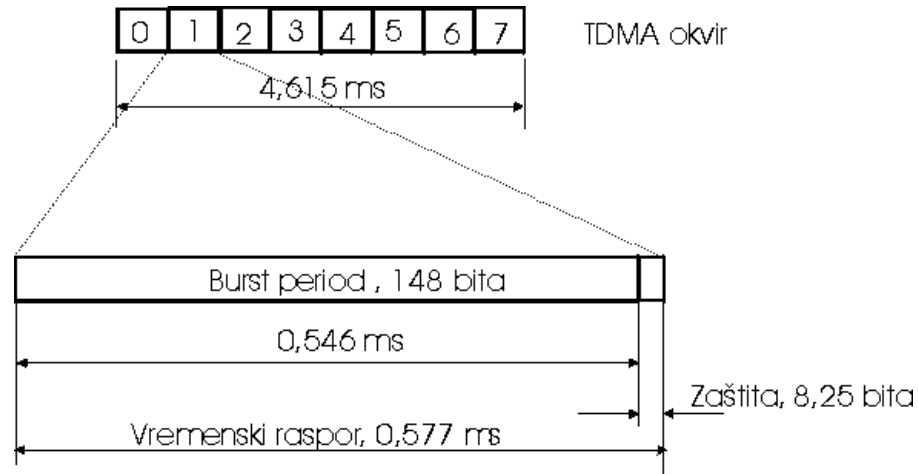


Slika 128: Blok shema raspodjele kanala

Vremenski isjecak ili burst traje 0,577 ms.

Osam burst perioda grupirani su zajedno i cine jedan TDMA okvir. Njegovo trajanje je  $8 \times 0,577 = 4,615$  ms.

Sam signal šalje se u nešto kracem vremenskom periodu cije je trajanje 0,546 ms. Razlika treba postojati radi odvajanja okvira medusobno.



Slika 129: TDMA okvir

Za prijenos govora koristi se 1 burst period po svakom kanalu, a kod prijenosa podataka (npr. GPRS) koristi se više burst perioda, pa čak i svih osam, stoga je razumljivo da ostaje manje prostora za govorne kanale. Iz toga razloga operater takvu uslugu naplacuje srazmjerno više.

Vec na osnovu ovih elemenata lako izracunamo maksimalnu mogucu brzinu protoka podataka:

Dakle:

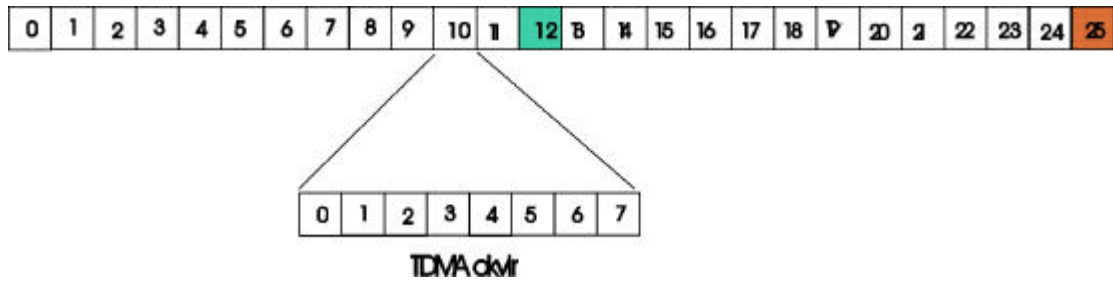
*Za vrijeme 1 burst perioda prenese se  $148+8,25$  bita = 156,25 bita.*

*TDMA okvir sadrži 8 burst perioda pa je za vrijeme od 4,615 ms (koliko on traje) preneseno  $8 \times 156,25$  bita = 1250 bita.*

*S druge strane u jednoj sekundi imamo  $1 / 4,615$  ms = 216,68 TDMA okvira.*

*Stoga je binarni protok (bit rate) =  $216.68$  TDMA okvira/s  $\times$  1250 bita/okviru = 271 kbit/s*

Od 26 TDMA okvira napravljen je jedan višestruki okvir (multiframe) kako je prikazano na slici 130:



Slika 130: Struktura višestrukog okvira

Od 26 TDMA okvira čije je trajanje 120 ms, 23 su okvira prometna ( za prijenos podataka) jedan je okvir kontrolni (br.12) do se zadnji okvir (br.25) ne koristi .

Sa ovako oblikovanim digitalnim signalom vrši se modulacija sinusnog signala koristeći specijalni modulacijski postupak koji se naziva **GMSK**.

*Napomena:*

*Kanal «za gore» i kanal «prema dolje» oznaceni su istim rednim brojem, premda su na frekvencijama koje se razlikuju za 45 MHz. Pored toga je veza «prema gore» odvojena je od veze «prema dolje» i vremenski, za 3 burst perioda.*

## Literatura:

- F.Jelušić: Informacije i komunikacije, Fakultet prometnih znanosti Zagreb, 1999.
- Grupa autora: Nove komunikacijske tehnologije, FESB – Split, 1999.
- B. i I. Modlić: Modulacije i modulatori, Školska knjiga Zagreb, 1995.
- Grupa autora: Visokofrekventne veze, Beograd, 1975.
- J.Župan: Uvod u komutacijske sustave, Školska knjiga Zagreb, 1978.
- I.S.Stojanović: Osnovi telekomunikacija, Građevinska knjiga Beograd, 1978.
- Otto Liman: Televizija na lak način, Tehnička knjiga Zagreb, 1989.
- I.Španić: Procesorski upravljani digitalni telefoni u poslovnom komutacijskom sustavu MD 110, NT revija, Zagreb, 1993.
- B.Metzger: Radio-priručnik za amatere i tehničare,
- V.Klepac: Uvod u televizijske kamere s poluvodičkim slikovnim senzorima, TV Zagreb, 1989.
- I.Knežević: Audio tehnika i televizijska tehnika, Zagreb, 1999.
- Prof.dr.M.Mikula: Vodovi i mreže u PT prometu, Zagreb, 1988.
- K.Lukić: Tonska tehnika, Zagreb 1986.
- Casopis BUG, travanj 1996.
- D.Pavlinušić: Održavanje internet servera, diplomski rad, Varaždin 1997.
- P.Lučić i P.Džeko: GSM, [www.tel.fer.hr](http://www.tel.fer.hr)
- [WWW.storm.hr](http://WWW.storm.hr)
-