

# ELEKTROAKUSTIKA

## PRIRUCNIK

**Josip Rasinec, dipl.ing.**

## 1. Osnovni pojmovi o zvuku

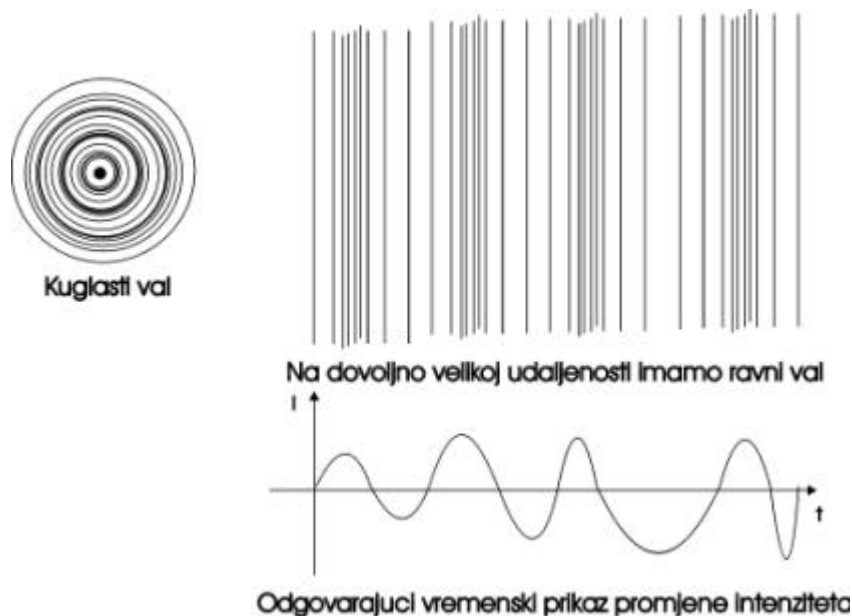
**Elektroakustika** je područje elektrotehnike koje se bavi pretvorbom zvuka u električni signal i obrnuto.

Ona istražuje fizikalne osobine zvuka, ali i subjektivno doživljavanje zvuka što se naziva psihoakustika.

**Zvuk** je mehanicko, longitudinalno titranje čestica tvari oko ravnotežnog položaja. Tu se najviše misli na titranje čestica zraka koje se očituje kao promjena tlaka zraka na nekom mjestu u prostoru oko neke konstantne vrijednosti atmosferskog tlaka.

Zvuk proizvode razni izvori.

Radijalno se širi u obliku kuglastog vala od izvora u okolni prostor izazivajući recene promjene tlaka zraka (sl.1)



Slika 1.

Na dovoljnoj udaljenosti od izvora kuglasti val postaje ravni val.

### 1.1. Karakteristicne velicine zvuka

*Period* ( $T=1/f$ ) – je najmanja udaljenost između istofaznih točaka i on predstavlja u prostornom smislu *valnu duljinu* (?).

Brzina kojom zvučni val tj. poremećaj tlaka zraka putuje prostorom je *brzina širenja zvuka*  $/c/$ .

Vrijedi:

$$c ? f ??$$

Brzina se određuje iz svojstava sredstva kroz koji se zvuk širi.

Za plinove vrijedi formula:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p_0}{\rho_0}}, \text{ gdje je}$$

$\gamma$  = adijabatski koeficijent (za zrak je 1,4) ili stlacivost

$p_0$  = tlak zraka ( 101352 Pa)

$\rho_0$  = gustoca ( za zrak: 1,189 kg/m<sup>3</sup>)

Na osnovu ovih velicina izlazi:  $c = 343$  m/s

*Jakost (intenzitet) zvuka*  $I$  je kolicina akusticke energije koja u jedinici vremena prode jedinicom površine koja je okomita na smjer širenja vala.

*Akusticka snaga* je umnožak jakosti zvuka i površine  $A$  kojom zvuk prolazi

$$P = I \cdot A \text{ [W]}$$

Akusticke snage nekih izvora zvuka:

- normalan govor .....  $7 \cdot 10^{-6}$  do  $10^{-5}$  W
- auto sirena ..... 5 W
- veliki orkestar ..... 70 W
- mlazni avion .....  $10^5$  W

Kako dolazimo do zvučne snage izražene u dB?

Akusticka snaga u dB je logaritamski odnos snage doticnog izvora zvuka i akusticke snage  $P_0$  koja kod normalnog sluha predstavlja prag cujnosti ( $1 \cdot 10^{-12}$  W)

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

Primjer:

Kolika je zvučna snaga  $P/\text{dB}$  autosirene izraženo u dB?

Razina zvučnog tlaka određuje se po formuli:

$L_p(\text{dB}) = 20 \log p/p_0$ , gdje je  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>, tzv. referentni tlak zrak koji odgovara pragu cujnosti.

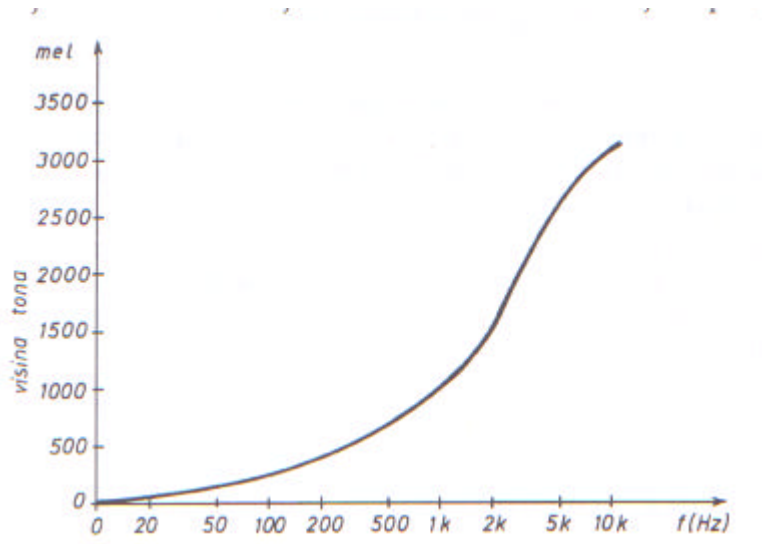
## 1.2. Spektar zvuka

Ljudsko uho zapaža tonove od 20 Hz do 20 KHz.

Frekvencije iznad 20 KHz zovu se ultrazvuk, a ispod infrazvuk.

Prosjecno uho zapaža frekvencije najviše do između 15 i 18 KHz.

Frekvencija određuje visinu tona, ali se subjektivni doživljaj visine tona ne poklapa potpuno sa promjenom frekvencije tj. taj odnos nije linearan (sl.2).



Slika 2.

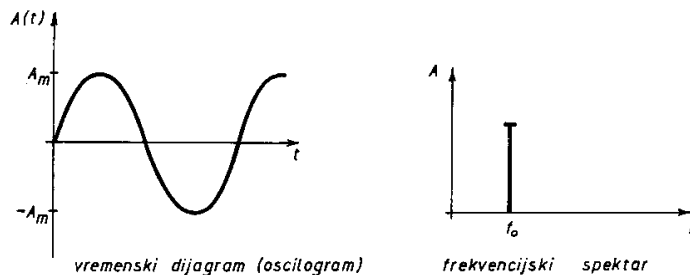
Uho je najosjetljivije na frekvencije 800Hz do 5 KHz.

Ovisno o starosnoj dobi, opada sposobnost primanja (slušanja) viših frekvencija.

Za dobro razumijevanje ljudskog govora dovoljan je opseg frekvencija od 300 Hz do 3400 Hz.

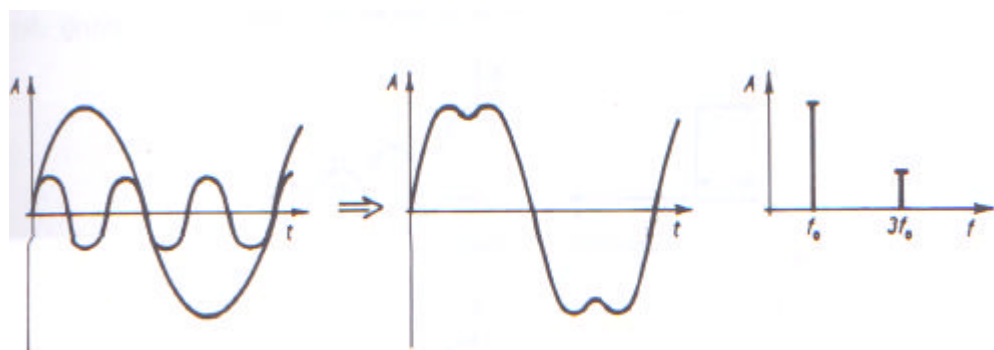
Svaki zvuk se može prikazati u vremenskoj ili frekvencijskoj ovisnosti.

Cisti ton:



Slika 3.

Složeni ton:



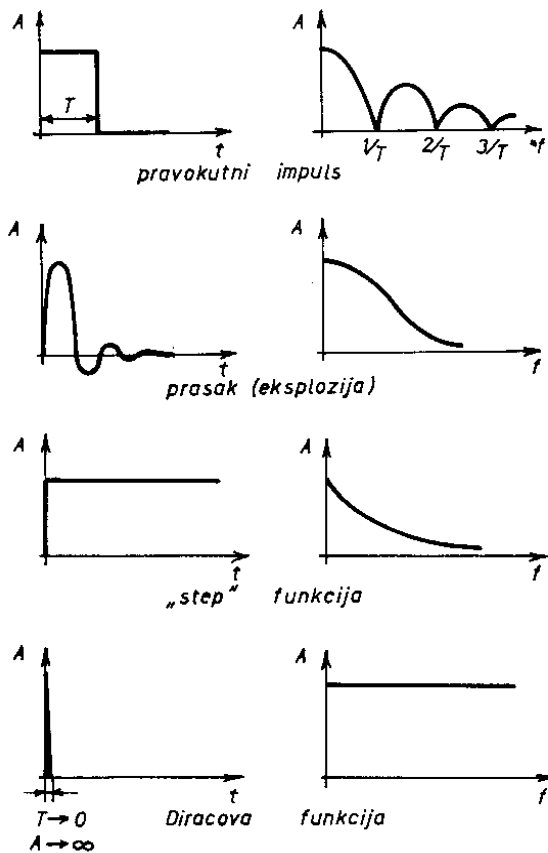
Slika 4.

Tranzijentne zvučne pojave:

To su nagle, kratkotrajne i jednokratne zvučne pojave, a imaju

kontinuirani spektar.

Takvi su i govor, glazba i slično (sl.5)



Slika 5.

Šum

To je nepravilno u neperiodičko titranje bez stalnih frekvencija i

amplituda (sl.6). Njihovi su iznosi slučajni i nepredvidivi tj. stohastički.

Spektar im je kontinuiran.

Razlikujemo tzv. «bijeli šum»

čija je energija jednoliko

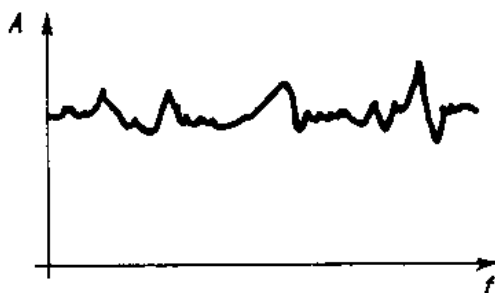
raspoređena na svim

frekvencijama i «ružičasti

šum» kod kojeg energija

opada s promjenom

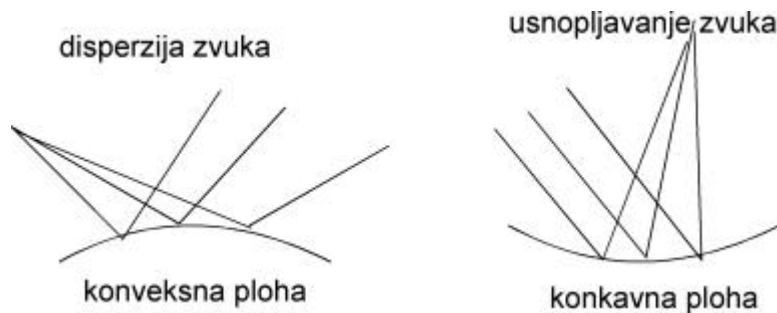
frekvencije komponenti.



Slika 6.

### 1.3. Pojave prilikom širenja zvuka

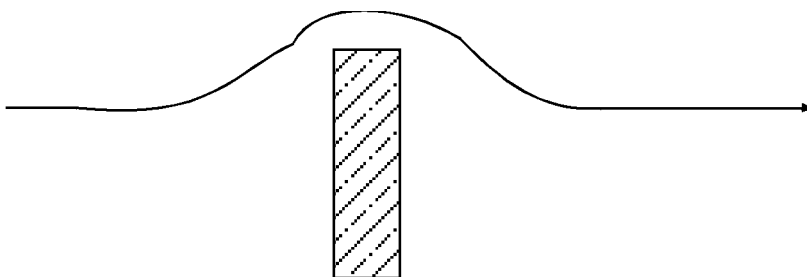
1. **Refleksija** je pojava odbijanja zvuka od zapreke. Zvuk se odbija od ravne cvrste plohe. Ako je ploha konveksna, zvuk se disperzira (raspršuje). Refleksija zvuka je bolja, ako je površina plohe glatkija i veće gustoće. Ako je površina konkavna, dolazi do usnopljavanja zvuka (sl. 7).



Slika 7

Zbog refleksije može doći do pojačanja zvuka, ako je vrijeme refleksije malo, pa se dolazni i reflektirani val zbrajaju. Refleksija dovodi i do produljenja trajanja zvuka, što se naziva odjek. Jeka je veće produljenje trajanja zvuka, a javlja se ako je prepreka udaljena više od 17 m.

2. **Difrakcija** je pojava savijanja ili ogiba zvuka. Zvuk se jednim dijelom odbija od zapreke, ali je može zaobici (sl.8). Difrakcija je obrnuto srazmjerna sa visinom tona (frekvencijom zvučnog vala).



Slika 8.

3. **Refrakcija** je pojava promjene smjera zvuka koja se dešava uslijed promjene medija kojim se zvuk kreće. Tipični primjer je skretanje zvuka pod utjecajem vjetra.

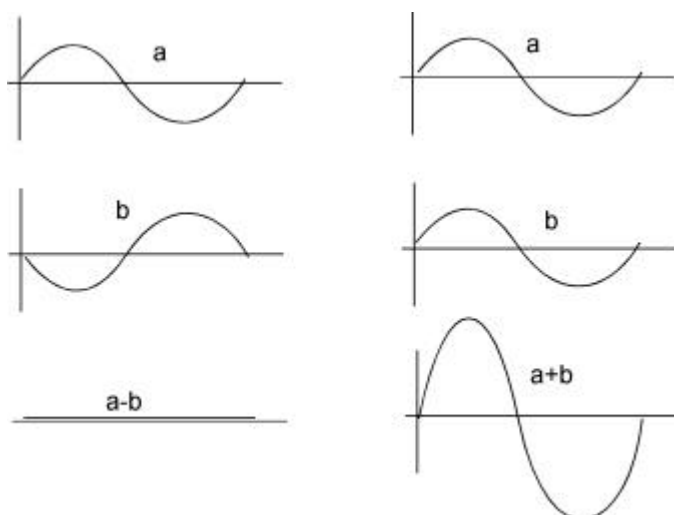
4. **Apsorpcija** je pojava upijanja zvuka koja se javlja prilikom refleksije, kada jedan dio zvučne energije bude predan materiji od koje se zvuk reflektira.

5. **Doplerov efekt** 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 su rijedi, a zvuk dobiva sve dublji ton tj. nižu frekvenciju.

6. **Interferencija** je uzajamno djelovanje dva vala koji se susreću.

Ako im se faze poklope dolazi do zbrajanja po amplitudi, a ako su protufazni, njihove se amplitude oduzimaju (sl. 9).



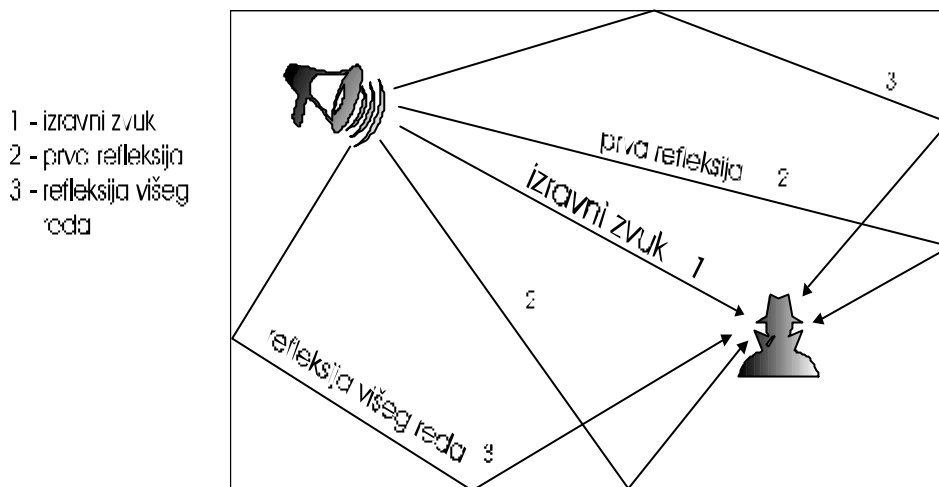
Slika 9.

7. **Stojni val** je pojava koja nastaje kada se dva vala iste amplitude i frekvencije susretnu pri čemu nastaje mjestimicno poništavanje (nule) i pojačavanje (maksimumi) zvuka. Ovo se dešava pri refleksiji. Očituje se kao potpuna odsutnost zvuka u nekim dijelovima prostora. Izbjegava se tako da se zidovi prostorije ne postavljaju paralelno.

## 8. Odjek

Kada se zvuk reflektira od neke tvrde i ravne površine imamo pojavu odjeka.

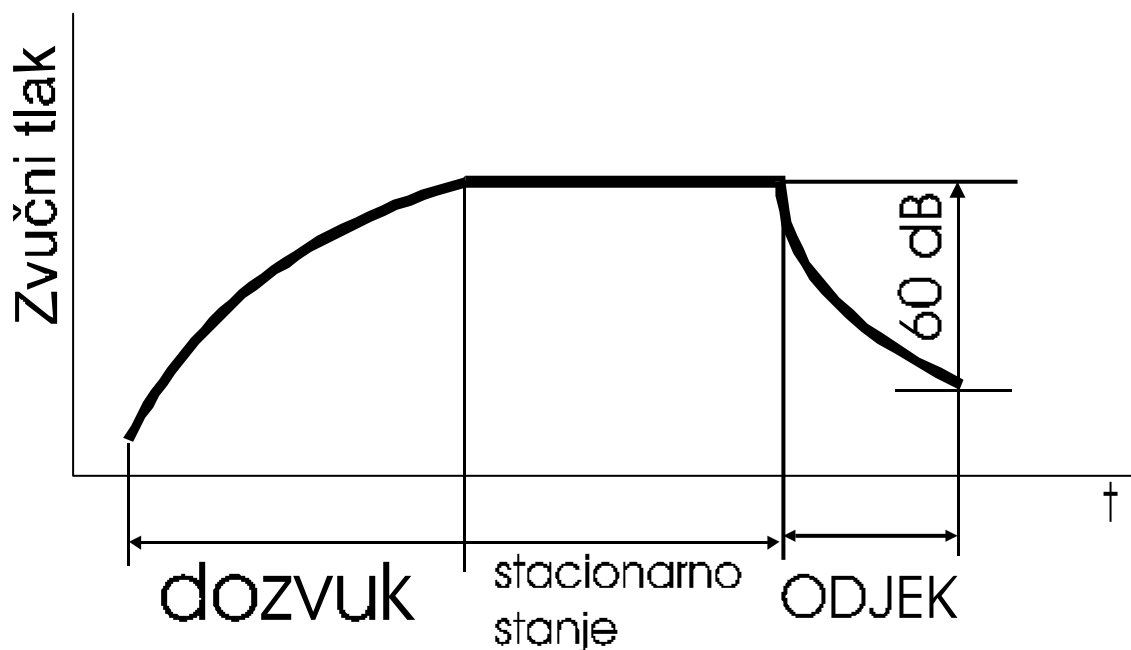
Prostorija u kojoj imamo zvučni izvor može svojim zidovima i drugim ravnim plohamo bitno uticati na izgled i trajanje zvuka.



Slika 10.

Zvucnu sliku stvara direktni zvuk, prvi reflektirani zvuk te sve ostale višestruke refleksije zvuka (sl.10).

Zvucna slika stvara se u prostoru postepeno jer je potrebno neko vrijeme stabiliziranja zvuka, kada on postigne svoj stalni intenzitet (sl.11).



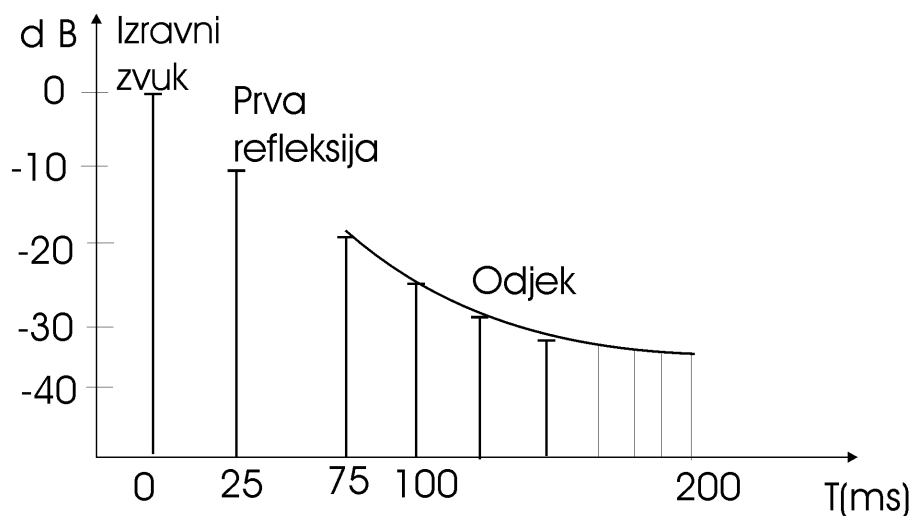
Slika 11.

To vrijeme stabiliziranja zove se dozvuk.

Nakon prestanka djelovanja zvucnog izvora, zvucna energija u prostoriji postepeno nestaje. Vrijeme koje je potrebno da energija zvucnog polja padne za 60 dB, zove se odjek.

U odjeku razlikujemo zvuk prve refleksije i zvuk višestrukih refleksija (sl.12).

Prva refleksija bitno utice na sam odjek.



Slika 12.

Amplitude prvih refleksija mogu uticati na povecanje glasnoce direktnog zvuka, odnosno na razumljivost.

Ako je kašnjenje prve refleksije vece, zvuk daje utisak vece prostornosti. To vrijeme se krece od 20 do 50 ms.

Ako je vrijeme kašnjenja prve refleksije vece od 50 ms, odjek se pretvara u jeku (eho).

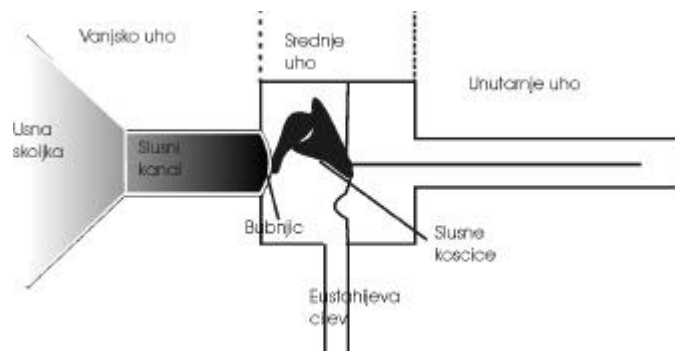
Frekvencijska karakteristika odjeka je nelinearna.

To znaci da sve frekvencije izvornog zvuka nisu jednako zastupljene u odjeku.

Dublji tonovi imaju dulje vrijeme odjeka, a istovremeno zrak apsorbira više frekvencije, tako da sam odjek daje dojam dubine te se ukupni zvuk «oboji tamnije», pošto se više frekvencije potiskuju, a niže se isticu.

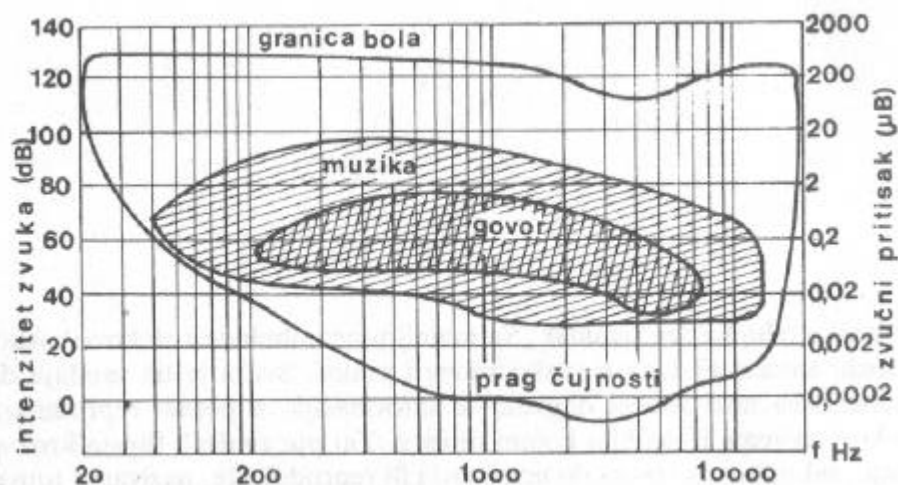
## 1.4. Grada uha i slušni proces

Ljudsko uho prima zvucne podražaje i «obrađuje» ih u tri svoja glavna dijela (sl.13).



Slika 13.

- a) **Vanjsko uho** - cini **ušna školjka** i **zvukovod**. Uloga im je dvostruka: služe za prilagodbu impedancije bubnjica sa impedancijom zraka i lokalizaciju smjera dolaska zvuka.
- b) **Srednje uho** – cine **bubnjic** i **slušne košćice (cekic, nakovanj, stremen)**.  
Bubnjic pod utjecajem zvuka vibrira, a slušne košćice predstavljaju polugu nejednakih krakova, cime se zvucni pritisak povecava 10 – 20 puta.
- c) **Unutrašnje uho** – cine polukružni kanali, pužnica, slušni živac i Eustahijeva truba. 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 izjednacavanje tlaka zraka sa obje strane bubnjica kako ne bi došlo do njegovog oštećenja.
- Ljudsko uho ne prima jednako dobro zvuke svih frekvencija. Kod nižih frekvencija i kod jako visokih frekvencija potrebno je da zvuk ima jaci intenzitet da bi u ljudskom uhu proizveo jednak nadražaj (sl.14). Dijagram koji opisuje ovo svojstvo uha zove se **dinamicka** karakteristika uha.



Slika 14

(Napomena:  $10\mu\text{B} = 1 \text{ Pa}$ )

Osnovne karakteristike zvuka s obzirom na doživljaj koji zvuk proizvodi su:

- a) Glasnoca – određena je velicinom pritiska zraka kojeg zvučni valovi vrše na bubnjic.
- b) Visina tona – određena je osnovnom frekvencijom zvučnog vala.
- c) 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 životu 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  $I_0$  ( $10^{-12} \text{ W/m}^2$ )

Dakle:

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

a ako je riječ o zvučnom tlaku:

$$L(\text{dB}) = 20 \log p/p_0, \text{ gdje je } p \text{ zvučni tlak kojeg primamo, a } p_0 \text{ zvučni tlak koji odgovara pragu čujnosti } (2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa})$$

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(pritisak)	dB(intenzitet)
2	3	6
3	5	10
10	10	20
100	20	40

Primjeri:

1. Koliko puta je intenzitet zvuka jači od praga čujnosti 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 cujnost, 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 razina intenziteta zvuka nekog izvora izraženo u decibelima ako je on jaci od praga cujnosti 200 puta?

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

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

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

## 1.5. Akustika prostorije

Sama prostorija, u kojoj se nalazi neki zvucni izvor, kao i predmeti u toj prostoriji, imaju presudan utjecaj na karakteristiku širenja zvuka u toj prostoriji.

300 Hz je granica do koje se smatra da zvuk ima valna svojstva prostiranja.

Iznad 300 Hz zvuk se sve više ponaša kao zvucna zraka.

Kod nižih frekvencija teže odredimo ishodište zvuka nego kod viših.

U prosjecnoj prostoriji do slušatelja dopire svega 10% direktnoga zvuka, dok je preostalih 90% rezultat apsorpcije, refleksije, difuzije i rezonancije.

**Apsorpcija** - izražena posebno kada je kut upada zrake oko 90°.

Tijela koja apsorbiraju zvuk: zavjese, tepisi, tapecirani namještaj ...).

Mjera apsorpcije je *koeficijent apsorpcije zvuka* ( Staklo - 0,03 , tepih – 0,15 , fotelja - 2,5 do 3,5).

**Refleksija** – Izrazitija kod upada zrake pod šiljastim kutom .

Tijela koja vrše refleksiju: ogledala, vrlo glatki zidovi, stakla na vratima i prozorima, polirani namještaj ...).

**Difuzija** – Javlja se u dodiru zvuka sa reljefnim površinama zidova, police s knjigama i sl.

**Rezonancija** - javlja se na predmetima koji su lagani i lako pokretljivi, a također i u samoj masi zraka u prostoriji, što se manifestira kao stojni valovi.

Teški i kruti predmeti ponašaju se kao reflektori i difuzori, a laki i elastični kao apsorberi i rezonatori.

Difuzija i apsorpcija zvuka koriste se za prigušenje prvih refleksija jer one, ako su jake, zvuk u prostoriji postaje oštar jer se pojačavaju srednje i više frekvencije. («kupaonski efekt»)

Postupci difuzije i apsorpcije moraju osigurati prigušenje prvih refleksija, ali umjereno i ne potpuno jer bismo dobili tzv.»gluhu sobu«.

### 1.5.1. Utjecaj stojnih valova

Dimenzije prostorije imaju presudan utjecaj na pojavu stojnih valova. Do pojave stojnih valova dolazi uvijek kada valna duljina zvuka iznosi polovinu, trećinu, četvrtinu pojedine dimenzije sobe. Na mjestima gdje se pojave nule neće uopće biti zvučnog pritiska, a gdje se pojave maksimumi, on će biti prenaplašen.

Ovo je primjetno za pojedine frekvencije jer o njima ovisi valna duljina i sama pojava stojnog vala.

Kod visokih tonova stojni valovi ne predstavljaju problem jer ih ima puno više pa će svojim brojem «prekriti» maksimume i minimume.

U donjem dijelu zvučnog područja (20 Hz do 300 Hz) će stojni valovi prouzročiti pojačanje pojedinih niskih frekvencija 3 do 5 puta, što se manifestira kao potmula grmljavina. U krajnjoj liniji to interferira sa ostalim niskim tonovima te potpuno narušava zvučnu sliku.

Pojava stojnih valova izbjegava se određenim dimenzioniranjem prostorije, gdje je omjer **visina : širina : dužina = 1:1,25:1,6** kao i neparalelnim postavljanjem zidova.

## 2. Elektroakustički pretvaraci

### 2.1. Mikrofon

#### 2.1.1. Karakteristike mikrofona

##### a) Osjetljivost mikrofona

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

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

Pri čemu je :  $N/m^2 = 1 \text{ Pa} = 10 \mu b$

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

Standardni mikrofonski, prema kojem se određuje osjetljivost ostalih mikrofona u dB ima osjetljivost 1V/1Pa.

To je vrlo velika osjetljivost koju mikrofoni ne mogu postići tako da je osjetljivost mikrofona izražena u dB uvijek negativna.

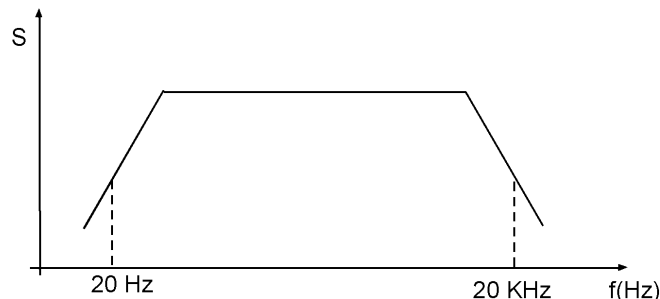
Taj podatak nam dobro dođe i kod određivanja koliko neki signal iz mikrofona moramo pojačati da bismo dobili dovoljnu razinu signala radi daljnje obrade.

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

### b) Frekvencijska karakteristika

Kada mijenjamo frekvenciju zvuka kojeg mikrofonski prihvata i pri tome pratimo osjetljivost istog mikrofona, dobivamo dijagram koji opisuje frekvencijsku karakteristiku mikrofona (sl.15).

Dijagram na slici pokazuje frekvencijsku karakteristiku kondenzatorskog mikrofona koji je vrlo kvalitetan.



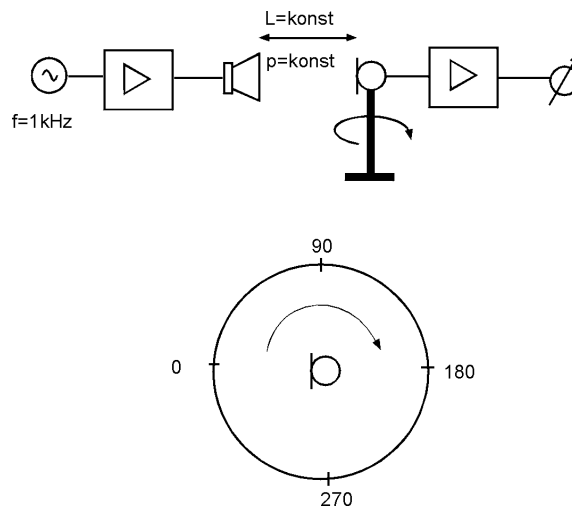
Slika 15.

Mikrofoni slabije kvalitete imaju užu frekvencijsku karakteristiku. Npr. mikrofonski za snimanje govora može imati karakteristiku između 300 i 3000 Hz, za snimanje glazbe između 100 i 5000 Hz, a neki studijski mikrofonski između 30 Hz i 16000 Hz.

### c) Karakteristika usmjerenosti

Ova karakteristika opisuje ovisnost osjetljivosti (ili izlaznog napona) mikrofona o smjeru dolaska zvuka na mikrofonski, izraženo u polarnim koordinatama (sl.16).

Dijagram usmjerenosti dobijemo mjerenjem koristeći sustav prikazan na sljedećoj slici:

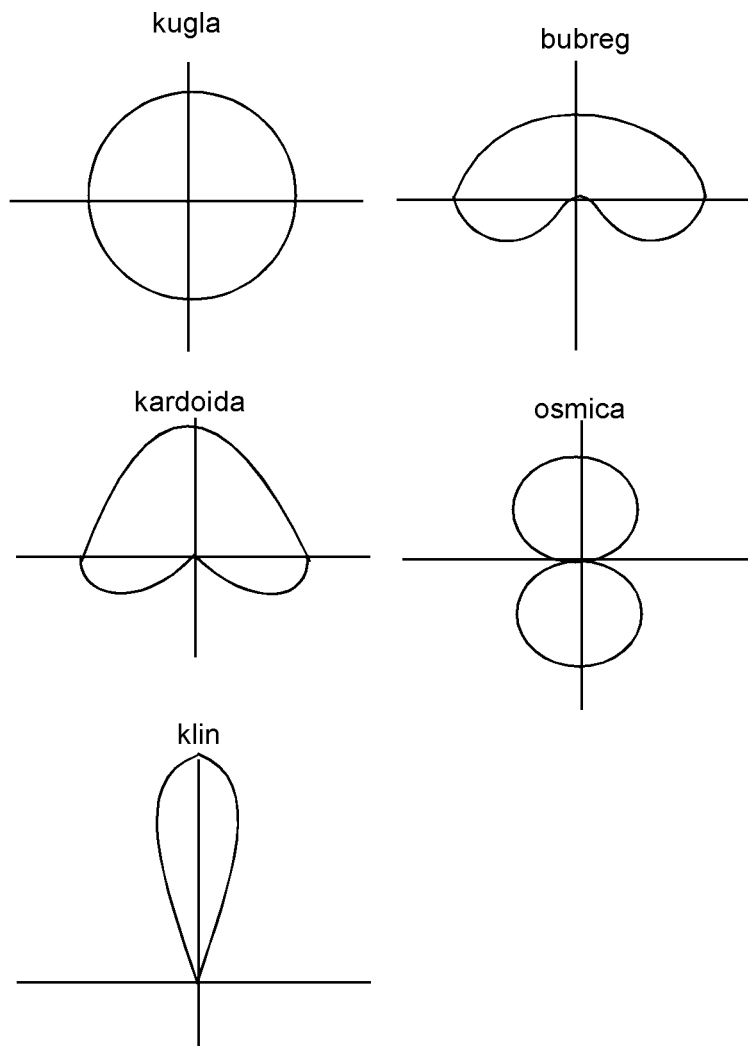


Slika 16.

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.

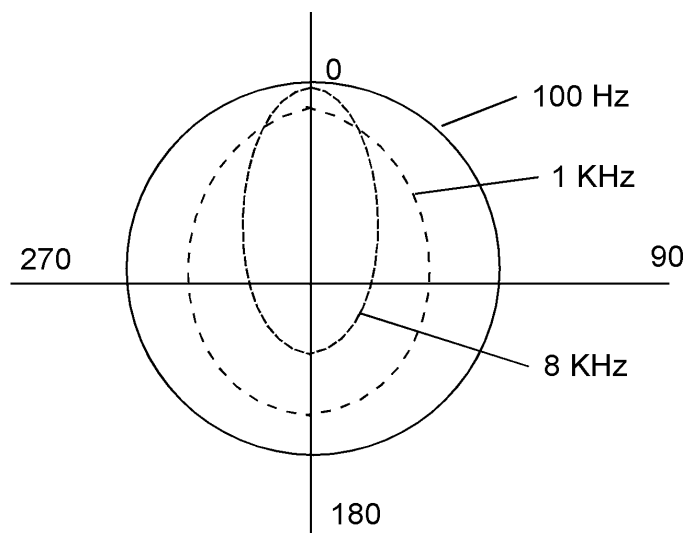
Mikrofon rotiramo u krugu od  $360^\circ$  i za unaprijed određene vrijednosti kuteva registramo vrijednost napona na izlazu pojačala koje je priključeno na mikrofon. Snimanje se vrši u gluhoj komori.

Tako se dobiju karakteristične krivulje usmjerenosti (Sl.17)



Slika 17.

Opcenito se može primjetiti da usmjerenost mikrofona raste s povećanjem frekvencije (sl.18).

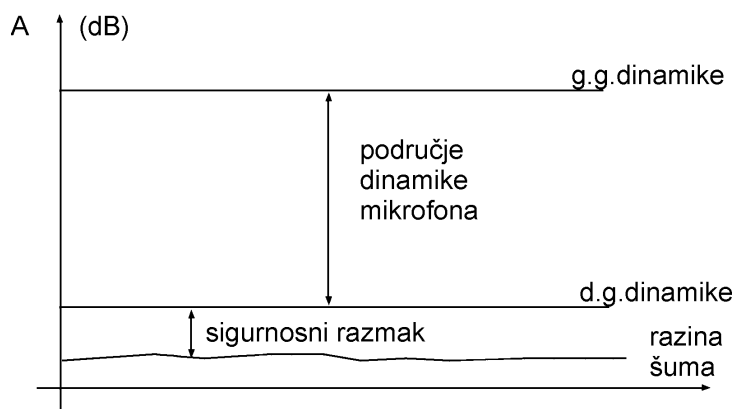


Slika 18.

Usmjereni mikrofoni koriste se kod snimanja u kojima želimo izbjeći šumove okoline, dok se mikrofoni sa širokim karakteristikama koriste kod snimanja više govornika ili glazbenih izvodaca.

#### d) 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.19).



Slika 19.

Pojam smetnje odnosi se na šumove koji mogu biti različitog porijekla. Npr. protok struje, termički šumovi, električna i magnetska polja u okolini mikrofona i kabela i sl.

Prosječni mikrofoni registriraju zvuk koji je za oko 20 dB viši od praga čujnosti.

Sigurnosni razmak iznosi 10 do 15 dB.

Dopuštena razina izoblicenja kod studijskih mikrofona iznosi 0,5 %.

Ta izoblicenja se kod kvalitetnih mikrofona javljaju između 120 i 130 dB.

#### e) Unutarnji otpor

Unutarnji otpor mikrofona je njegova impedancija pri frekvenciji 1 KHz.

Razlikujemo mikrofone sa :

- niskim unutarnjim otporom (200 Ω)
- visokim unutarnjim otporom (50 kΩ)

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

Unutarnji otpor je važan zbog prilagodbe na ulazni otpor pojačala.

## 2.1.2. Vrste mikrofona

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

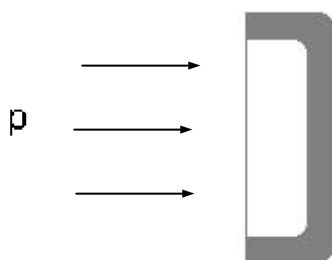
### 2.1.2.1. Prema načinu akusticko - električne pretvorbe

Tu razlikujemo dvije vrste mikrofona:

1. Brzinski, kod kojih je proizvedeni signal srazmjeran titrajnoj brzini membrane (elektrodinamicki, elektromagnetski)
2. Amplitudni, kod kojih je proizvedeni signal proporcionalan amplitudi otklona membrane – elongaciji (ugljeni, kristalni, kondenzatorski).

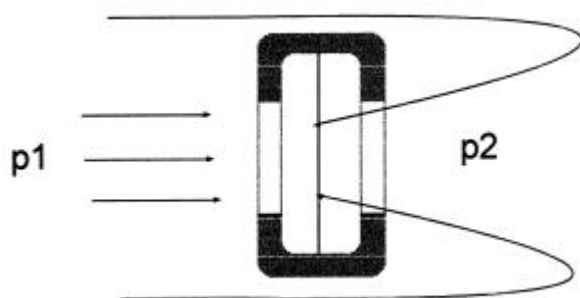
### 2.1.2.2. Akusticka podjela

1. Mikrofon na pritisak, kod kojih zvucni pritisak djeluje samo na jednu stranu membrane (sl.20). Ovakvi mikrofon imaju kružnu karakteristiku.



Slika 20.

2. Mikrofon na gradijent pritiska, kod kojih zvucni pritisak djeluje na obje strane membrane (sl.21), tako da kao rezultat imamo razliku zvucnog pritiska, po amplitudi i po fazi. Ovi mikrofon imaju izrazito osmicastu karakteristiku.



Slika 21.

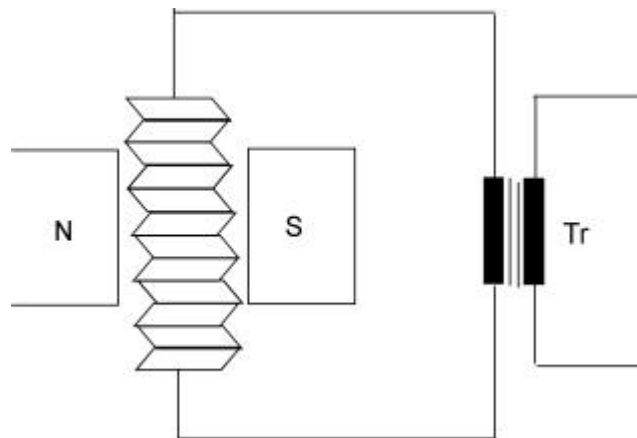
### 2.1.2.3. Električna podjela

a) **Elektrodinamički**, koji rade na principu indukcije EMS u vodiču koji se giba u magnetskom polju. Postoje dvije vrste ovih mikrofona:

- *sa vrpcom*, koji se izvedu kao gradijentni. Osjetljivi su na vibracije i na strujanje zraka. Osjetljivost im je 1-3 mV/Pa, šum 20 dB, a gornja granica dinamike (g.g.d.) je 120 dB. Otpor mu je mali i iznosi nekoliko oma, tako da se na pojačalo priključuje preko prilagodnog transformatora (sl.22).

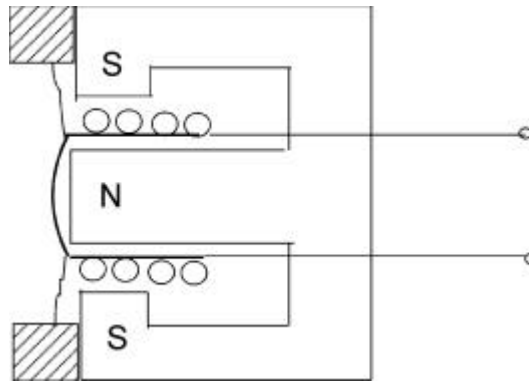
Karakteristika usmjerenosti im je osmicasta, ali se može mijenjati i podešavati konstrukcijom kućišta mikrofona.

Frekvencijska karakteristika je prilično neravna tj. nazubljena.



Slika 22.

- *sa zavojnicom*, koji se izrađuju kao tlačni i kao gradijentni. Po konstruktivnim osobinama sličan je dinamičkom zvučniku (sl.23). Nisu osjetljivi na vibracije i vjetar, ali su osjetljivi na vanjska magnetska polja. Mehanicki su cvrsti i otporni. Osjetljivost im je 1-2 mV/Pa, granica šuma 20 dB, a g.g.d. 140 dB. Otpor im je oko 10 oma, pa se za priključenje na pojačalo koristi prilagodni transformator.



Slika 23.

Obično imaju kružnu karakteristiku, ali se konstrukcija može izvesti i za neki drugi oblik karakteristike usmjerenosti.

**b) Kondenzatorski**, kod kojih se koristi promjena kapaciteta između dviju vodljivih površina, kada se među njima mijenja udaljenost (sl.24).

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

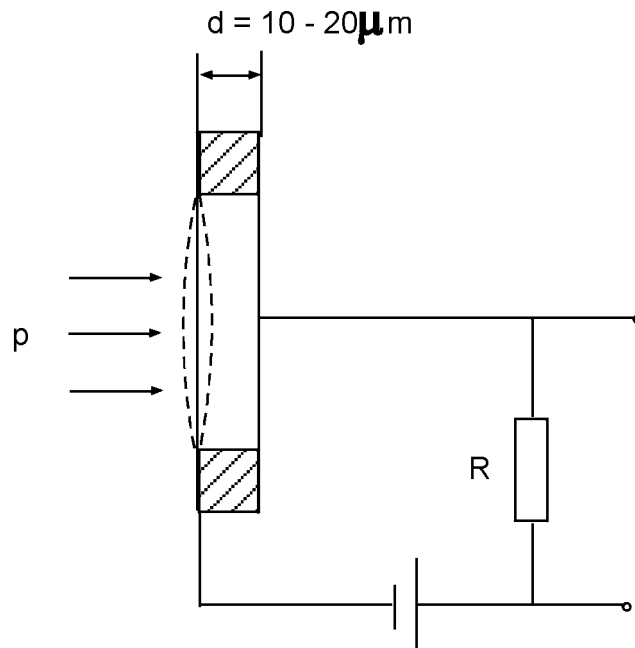
Gdje je: C –kapaciteta pločastog kondenzatora,  
 $\epsilon$  - dielektrična konstanta izolatora između ploča  
 S - površina ploča  
 d – razmak između ploča

Ovo su najkvalitetniji mikrofoni. Za njihov normalan rad potrebno je napajanje (60 – 120 V).

Frekvencijska karakteristika im je ravna sve od 30 Hz do 20.000 Hz. Amplitude titranja membrane su vrlo male, tako da je i kod najjačeg intenziteta zvuka, izoblicenje vrlo malo.

Istovremeno ima vrlo nisku razinu šuma tako da mu je dinamika oko 135 dB.

Omski otpor mu je vrlo velik, pa na impedanciju utiče najviše kapacitivna reaktancija.

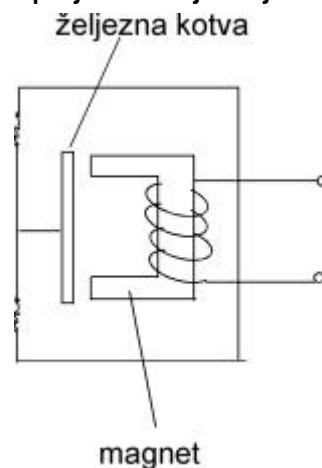


Slika 24.

**c) 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 mikrofona doseže 60 mV/Pa. Lagani su, ali nekvalitetnih elektricnih karakteristika i nepouzdana.

**d) Elektromagnetski**, rade na principu promjene jacine magnetskog toka, uslijed cega dolazi do pojave indukcije EMS (sl.25). Ovi mikrofoni se koriste tamo gdje se ne traži velika kvaliteta, ali se mogu izvesti kao minijaturni. Osjetljivost im je 10 – 30 mV/Pa. Izvana su oklopljeni, kako bi se spriječio utjecaj vanjskog magnetskog polja.

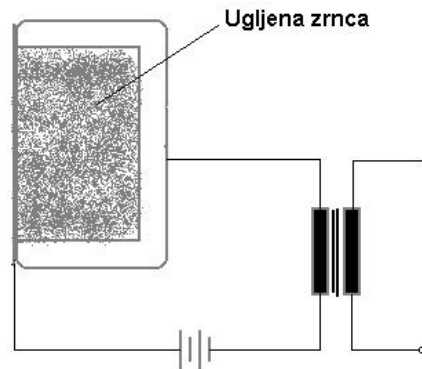


Slika 25.

Membrana mikrofona mehanicki je povezana sa kotvom od mekog željeza, koja na taj način više ili manje ulazi u magnetsko polje

permanentnog magneta i tako mijenja magnetski tok. Promjena magnetskog toka uzrokuje u zavojnici indukciju odgovarajuće EMS

**e) Ugljeni**, čiji se rad bazira na promjeni prijelaznog otpora između ugljenih zrnaca (sl.26). Promjena otpora u strujnom krugu izazvati će odgovarajuće promjene struje. 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 26

## 2.2. Zvucnik

### 2.2.1. Karakteristicne osobine zvucnika

Zvucnik je elektro-akustički pretvarac, koji električne titraje pretvara u zvučni val. On je uglavnom zadnji element u akustičkom lancu.

Karakteristicne osobine zvucnika su:

- Nazivna snaga zvucnika** – to je ona električna snaga kojom možemo trajno opteretiti zvucnik, a da ne dođe do njegova oštećenja ili uništenja. Pri tome treba uzeti u obzir da signal kojim se snaga zvucnika testira treba biti takav da odgovara po frekventijskom rasponu i dinamici klasičnoj glazbi. Nazivna snaga zvucnika uvijek treba biti veća od izlazne snage pojačala, kako bi se izbjegla oštećenja zvucnika.
- Muzička snaga** je podatak koji označava sa kojom maksimalnom snagom možemo kratkotrajno opteretiti zvucnik, a da ne dođe do njegova oštećenja, zbog velikih naprezanja na nižim frekvencijama. Po iznosu je veća od nazivne snage.
- Maksimalna akustička snaga** je podatak koji pokazuje koliki zvučni pritisak može zvucnik ostvariti.

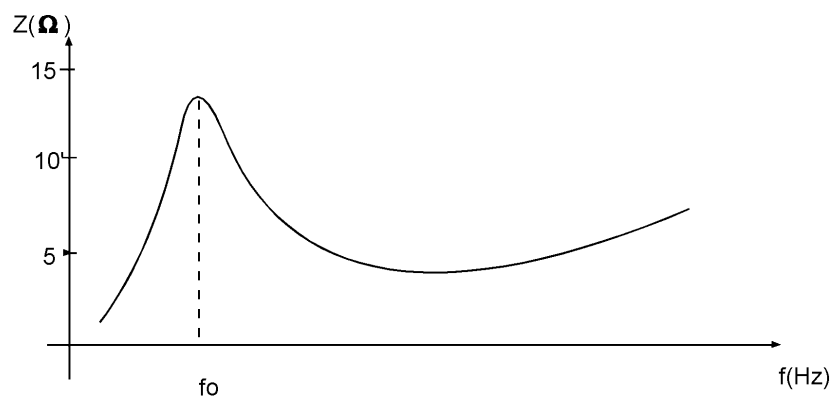
d) **Pogonska snaga** je električna snaga sinusnog signala frekvencije 1 KHz koja je potrebna da se ostvari određeni zvučni tlak.

e) **Osjetljivost zvučnika** je omjer zvučnog tlaka kojeg zvučnik daje, na udaljenosti 1 m i drugog korijen snage signala kojeg mu dovodimo.

$$e \approx \frac{p}{\sqrt{P}}$$

f) **Impedancija zvučnika** – to je promjenjivi otpor zvučnika ovisan o frekvenciji. U pravilu su zvučnici niskoomski sa uobičajenim vrijednostima impedancije od 4, 8 ili 16  $\Omega$ . Impedancija zvučnika u radu je oko 25% veća od nazivne impedancije i sa porastom frekvencije poprima induktivni karakter.

Impedancija je važna zbog prilagodjenja zvučnika na izlazni stupanj pojačala, čime se dobiva optimalno iskorištenje snage pojačala. Na slici 27 je vidljiva ovisnost impedancije zvučnika o frekvenciji električnog signala koji dolazi na zvučnik.



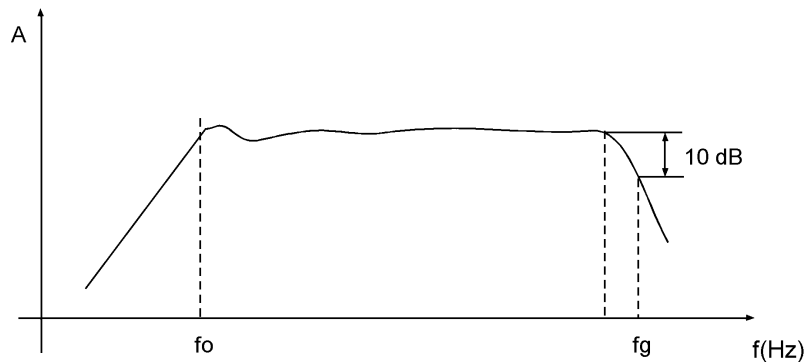
Slika 27

g) **Rezonancijska frekvencija** je pojam koji je u vezi sa mehanickom rezonancijom zvučnika. Na tim frekvencijama dolazi do maksimalnog kretanja membrane i najjačeg emitiranja zvučne snage.

Povezana je sa konstrukcijskim karakteristikama zvučnika:

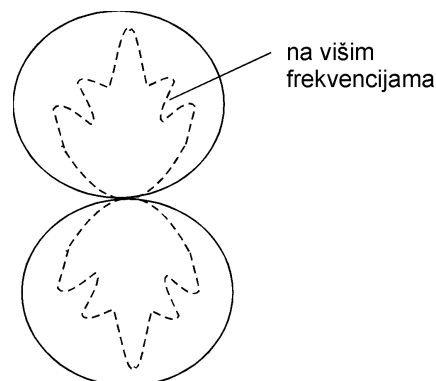
- za velike zvučnike iznosi 30 do 60 Hz – niskotonski zvučnici
- za srednje zvučnike iznosi 60 do 90 Hz – srednjetonski i
- za male zvučnike iznosi od 100 Hz i više – visokotonski zvučnici.

- h) **Frekvencijska karakteristika** daje podatak koliki zvučni pritisak daje zvučnik kod pojedinih frekvencija, uz stalan napon na krajevima zvučnika (sl.28).



Slika 28.

- i) **Stupanj djelovanja** (stupanj iskorištenja) je odnos zvučne snage koju emitira zvučnik ( $P_a$ ), 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 %.
- j) **Efikasnost** je mjera pretvaranja električne energije u akustičku, a izražava se kao omjer zvučnog tlaka  $p$  na udaljenosti 1 m od zvučnika u smjeru njegove osi i drugog korijena električne snage dovedene na zvučnik. Također možemo reći da je efikasnost jednaka veličini zvučnog tlaka na udaljenosti 1 m, kada je na zvučnik dovedena snaga 1W.
- k) **Karakteristika usmjerenosti** pokazuje kolika je zvučna energija u smjeru koji je pod nekim kutom u odnosu na referentnu os (sl.29).



Slika 29.

Prikazuje se posebno za jednu ili više frekvencija.

Za niže frekvencije ona je kružnog oblika dok sa porastom frekvencija dolazi do njenog sve većeg usmjeravanja u pravcu glavne osi zvučnika.

To je posljedica interferencije zvučnih valova koji prolaze različite duljine putova, pa dolazi do pojačanja i slabljenja zvučnih valova u pojedinim pravcima za određene frekvencije.

### 2.2.2. Elektrodinamicki zvučnik

Zvučnik spada u tzv. membranske emitere, gdje se ponašanje membrane u mehanickom smislu može promatrati kao gibanje stapa, pri čemu se od membrane očekuje da se ponaša kao idealno kruto tijelo tj. bez imalo elasticnosti.

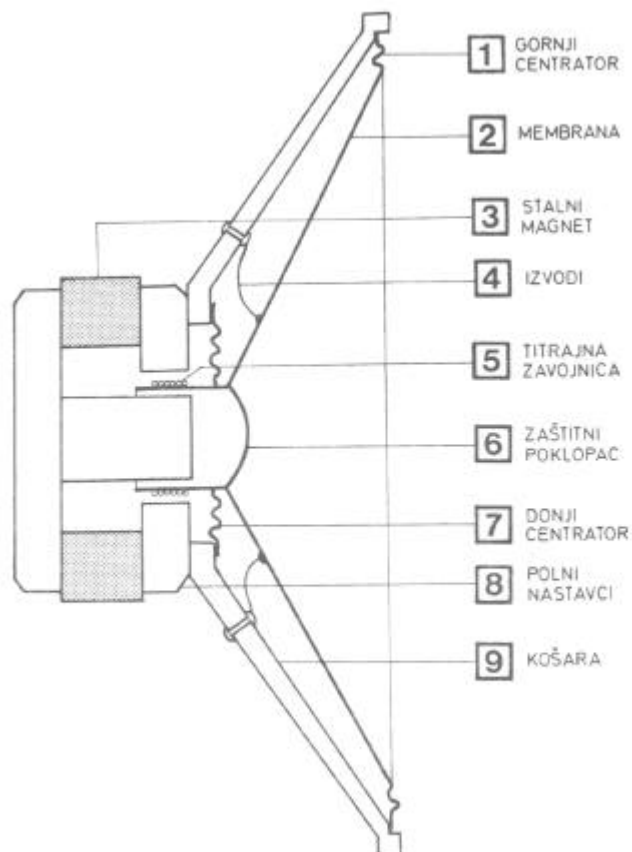
Najpoznatiji i najviše upotrebljavani su elektrodinamicki zvučnici (ili dinamicki) (sl.30).

Opis:

Membrana koja je u obliku konusa elasticno je ovješena o kucište ili košaru pomocu gornjih centratora.

Na skraceni vrh konusa ili vrat membrane ucvršćen je šuplji valjak s više navoja izolirane žice.

Slika 30.



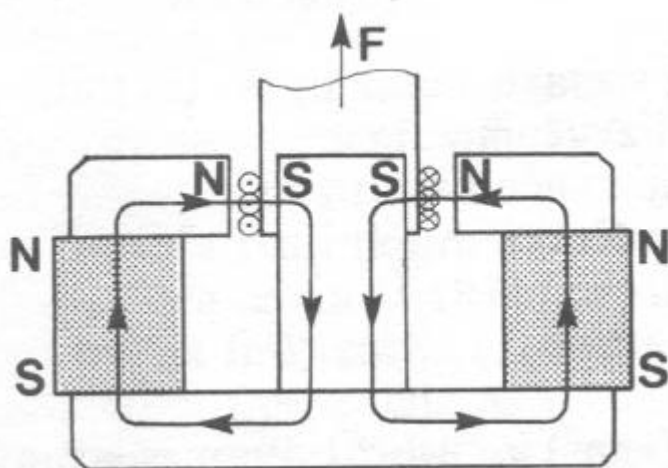
Statički dio zvučnika čini stalni magnet s polnim nastavcima koji su tako izvedeni da se između njih nalazi uski koncentrični zračni raspor. Tijelo titrajne zavojnice ulazi slobodno u taj zračni raspor. Njezino centriranje u zračnom rasporu vrši se pomoću elastičnog centratora.

Permanentni magnet je u prstenastom obliku.

*Ranije je umjesto permanentnog magneta korišten elektromagnet, tako da je zvučnik imao i dodatno napajanje istosmjernom strujom.*

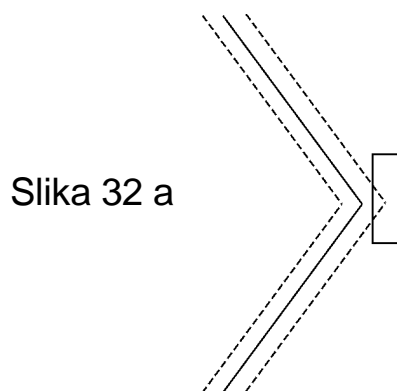
U magnetskom polju permanentnog magneta dolazi do interakcije sa magnetskim poljem titrajne zavojnice uslijed čega se javljaju sile koje zavojnicu i tijelo pomiču aksijalno (sl.31). Električna energija tako se pretvara u mehaničku.

Nastala pomicanja tj. vibracije predstavljaju izvor akustičke energije, odnosno došlo je do pretvorbe mehaničke u akustičku energiju.

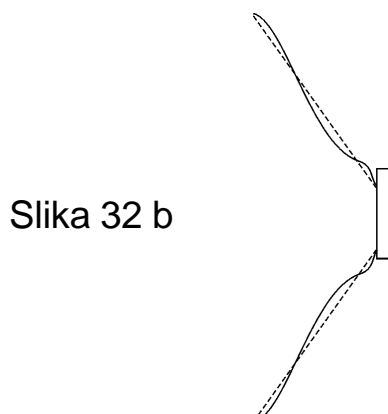


Slika 31

Kretanje membrane uvijek mora biti neelastično i stapno tj. sve točke membrane gibaju se istovremeno (sl.32 a), pa to predstavlja problem kod zvučnika za širi opseg frekvencija, kada dolazi do uvijanja membrane i izobličenja zvuka (sl.32 b).

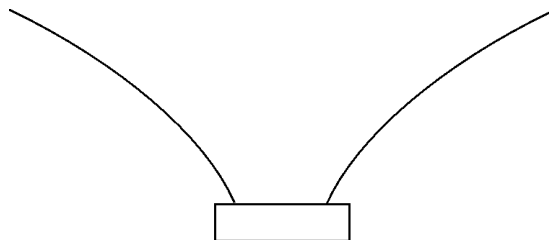


Slika 32 a



Slika 32 b

Da bi se to spriječilo membrana se izrađuje na specifičan način, npr. Nawi-membrana (sl.33).



Slika 33.

Membrane također mogu biti izradene s utorima ili naborima zbog istih razloga, no najjednostavniji i najbolji način je da se primjene zvučni sustavi koji će prenositi samo dijelove frekvencijskog opsega za koje su onda posebno projektirani i građeni.

### 2.2.3. Zvučni zastori

Sam goli zvučnik daje vrlo lošu reprodukciju kod koje su zbog akustičkog kratkog spoja primjetno odsutne niske frekvencije.

Stoga se zvučnici ugrađuju u odgovarajuće medije koji sprečavaju ovu i još neke nepoželjne zvučne pojave.

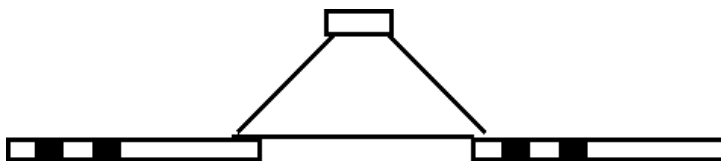
Takav medij se zove **zvučni zastor**.

- Najjednostavniji zvučni zastor je ravna ploča, koja mora biti određenih dimenzija i nepravilnog oblika (sl.34).

Materijal izrade je drvo, šperploča ili panel ploča.

Za manje zvučnike je dovoljna debljina od 10 mm, a za veće do 20 mm.

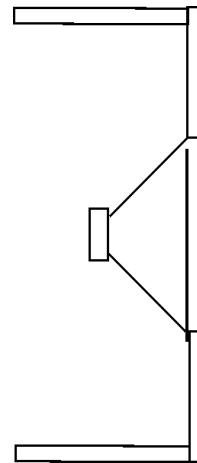
Zvučnik se na nju pričvršćuje pomoću konzole, a između se stavlja prsten od filca.



Slika 34.

Umjesto ravne ploce velikih dimenzija može se upotrijebiti i otvorena kutija (sl.35).

Slika 35.



*Otvorena kutija i ravna ploca* se primjenjuju rjede jer se pojave refleksije od stražnjih stijena ublažavaju ali su osobine ovakvih rješenja manjkave.

**Zatvorena kutija** koje se najčešće izrađuju od drveta, akusticki pregraduju prednju i stražnju stranu zvučnika, a zrak unutar kutije djeluje poput elastičnog jastuka za membranu, što utiče na povećanje rezonancijske frekvencije zvučnika.

Zato je važno pravilno odabrati dimenzije kutije čime se ujedno sprečava pojava stojnih valova unutar nje.

Kao dodatno poboljšanje koristi se umetanje apsorberajućim materijala unutar kutije kao što su spužva, mineralna vuna i sl.

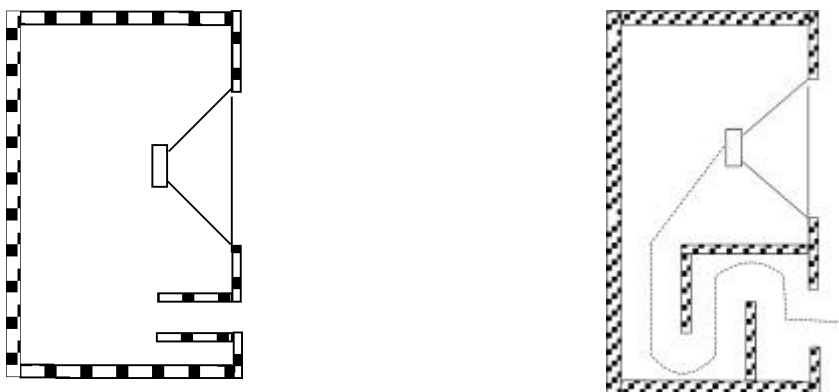
Volumen kutije određuje se na osnovu:

- snage zvučnika
- rezonancijske frekvencije
- promjera membrane
- veličine i izvedbe samog zvučnika i sl.

### Specijalne izvedbe zvucnih kutija:

*Kompresijska zvucna kutija* – manjeg je volumena nego obicna zatvorena kutija, pa je krutost zracnog jastuka unutar kutije povecana. Stoga zvucnik ima mekši ovjes membrane i povecanu masu membrane. Prednost im je u smanjenim dimenzijama i dobrima akustickim karakteristikama, ali im je smanjena korisnost.

**Bas-refleksna kutija**- može biti izvedena sa cjevastim otvorom s prednje strane ili s akustickim labirintom (sl.36).



Slika 36.

Ima poboljšane karakteristike reprodukcije niskih tonova, pri cemu uz prigušenje mehanicke rezonancije.

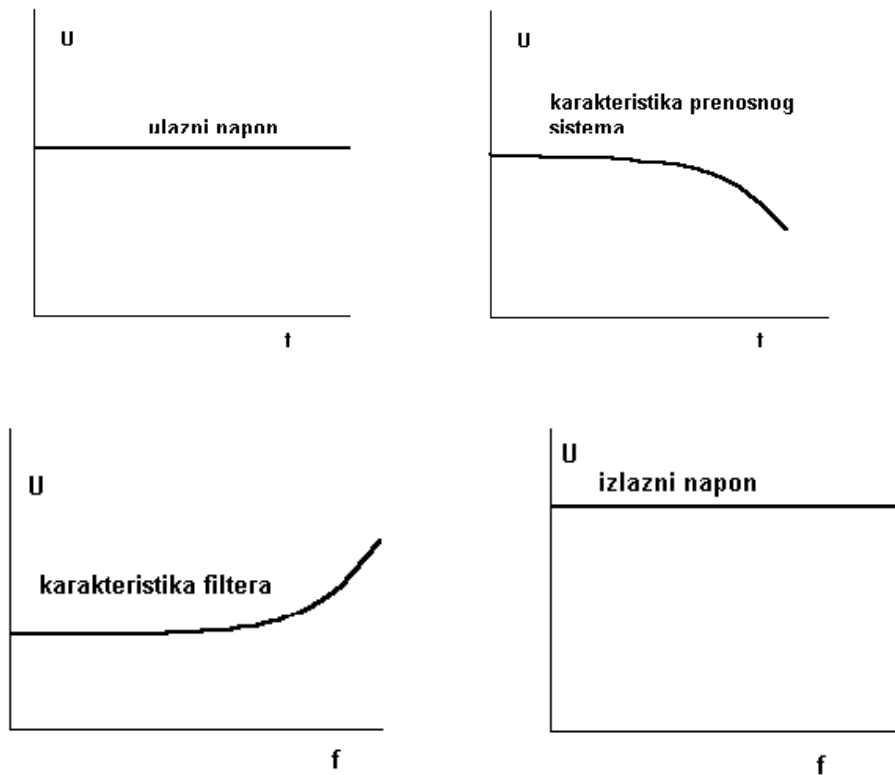
**Zvucni lijevak** – napravljen je kao dugacka cijev s proširenjem na kraju.  
Pojacava zvuk izvora koji se nalazi na pocetku cijevi.

Ima osobinu prilagodbe zvucnih impedancija kao i ušna školjka.

### 3. Filteri

Filteri su elementi cija je frekvencijska karakteristika nelinearna, tj. na izlazu filtera imamo namjerno izoblicen ulazni signal. Napravljeni su od R, L i C elemenata.

U najviše slucajeva pomocu filtera zapravo ispravljamo izoblicenja koja u prijenosu signala unosi prijenosni sistem (sl.37).

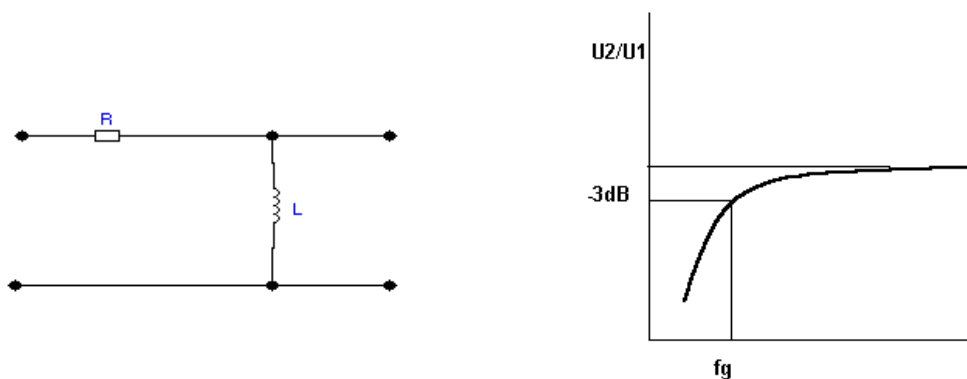


Slika 37.

Podjela filtera:

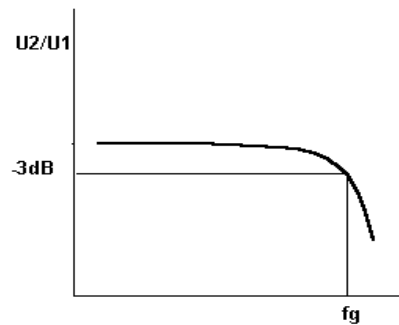
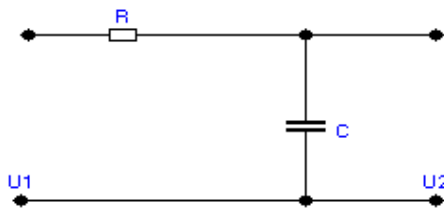
a) Prema propusnom opsegu

- filteri visokog propusta (sl.38), koji propuštaju izmjenicni signal cija je frekvencija veća od  $f_d$ .



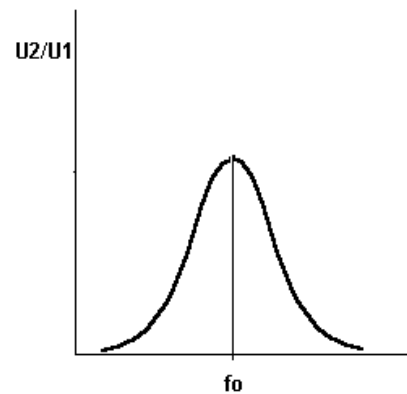
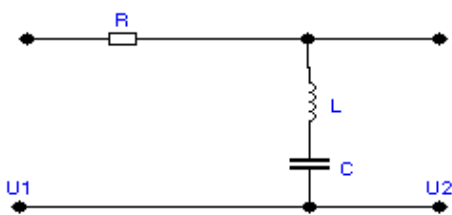
Slika 38.

- filteri niskog propusta (sl.39), koji propuštaju izmjenični signal do frekvencije  $f_g$ .



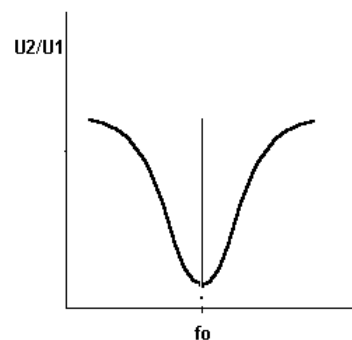
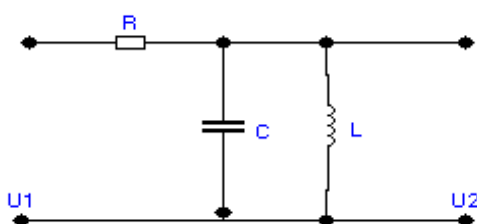
Slika 39.

- pojasni propust, koji propušta izmjenične signal čija se frekvencija nalazi unutar zadanih granica oko  $f_0$  (sl.40).



Slika 40.

- pojasna brana, koji ne propušta izmjenične signale unutar zadanih granica oko frekvencije  $f_0$ . (sl.41).



Slika 41.

b) Prema gušenju filtera

Krivulja gušenja filtera nije oštra pa je potrebno dogovoriti se koja frekvencija ce biti **granicna** (sl.42).

**To je ona frekvencija** kada izlazni signal poprimi vrijednost nižu za 3 dB u odnosu na stanje bez gušenja.

Podjela se zapravo odnosi na intenzitet gušenja, odnosno koliko jako filter guši signal u podrucju gušenja.

Tu filtere razlikujemo prema strmini gušenja.

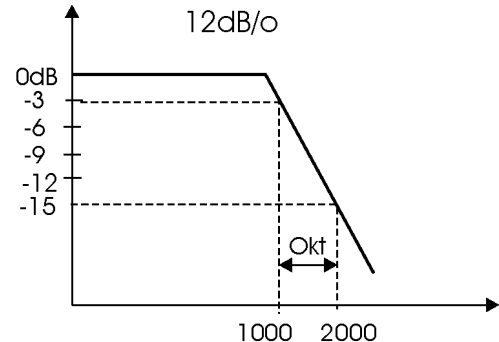
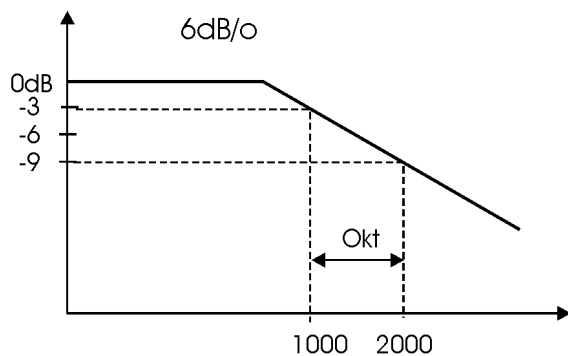
Strmina se definira kao njezin nagib, a izražava se u dB/o (decibeli po oktavi).

Prisjetimo se da je oktava raspon tonova između bilo koje dvije frekvencije  $f_1$  i  $f_2$ , kada je  $f_2 = 2 * f_1$ .

Tu filtere: I, II, III kod kojih je 6dB/o, 12 i 24 dB/o

Red skretnice	Gušenje dB/okt
1.reda	6
2. reda	12
3. reda	18
4. reda	24

razlikujemo i IV reda, gušenja dB/o, 18dB/o respektivno.



Slika 42.

Nadalje filteri još mogu biti s mogućnošću regulacije ili bez nje.

Aktivni i pasivni filteri se razlikuju po tome što aktivni imaju u sebi pojačalo koje vrši pojačanje jednog dijela frekventijskog opsega prema našim potrebama u odnosu na drugi dio koji je tada može smatrati relativno prigušenim.

Primjena filtera:

Filteri visokog propusta služe za odstranjivanje visokih frekvencija, šumova i pucketanja kod gramofona (12 dB/okt).

Filteri niskog propusta se koriste u studijima za uklanjanje svih niskih tonova (npr. zvuk koraka), koji smetaju u tonskoj slici.

Kod zvučnickih kombinacija jedan i drugi filter se zajedno koriste kao skretnice.

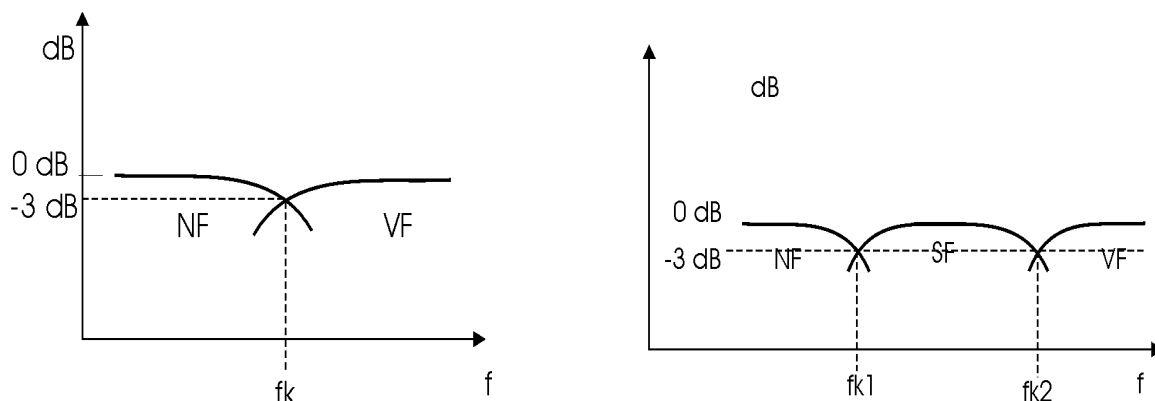
### 3.1. Zvučnicke kombinacije

Jedan zvučnik ne može optimalno prenositi cijelo zvučno područje jer dolazi do intermodulacijskih izobličenja.

Kvalitetna reprodukcija može se osigurati sustavom od više zvučnika u jednoj cjelini, gdje svaki zvučnik prenosi jedan dio frekventijskog područja.

Svaki se zvučnik pobuđuje preko odgovarajućih zvučnickih ili frekventijskih skretnica pomoću kojih se odgovarajuće tonsko područje usmjerava prema svojem zvučniku.

Uobicaena je primjena dvosmjernih i trosmjernih skretnica (sl. 43).



Slika 43

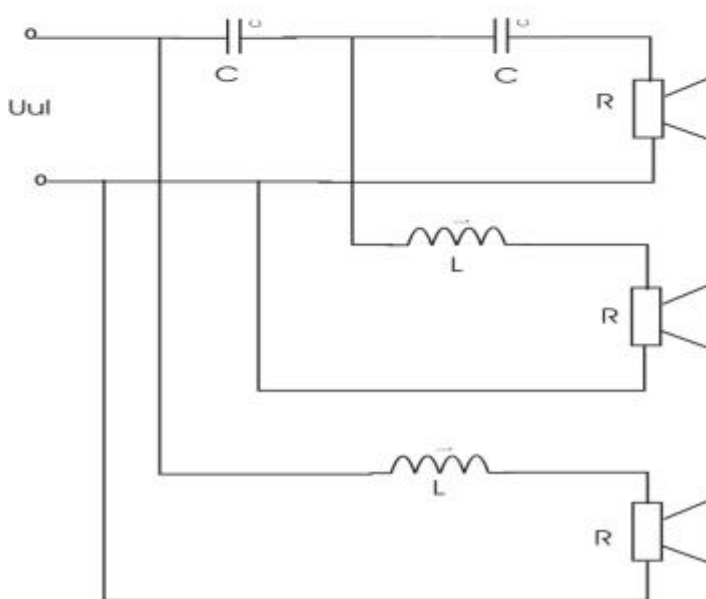
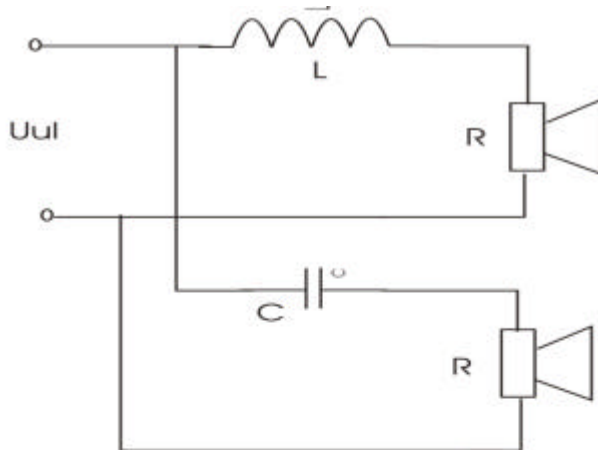
Ovisno o broju zvučnika u zvučnickom sustavu, skretnice dijele tonfrekventijsko područje na jednak broj zasebnih područja.

Na preklopnim frekvencijama  $f_k$  nastaje smanjenje razine za 3 dB, dok izvan područja gušenje mora biti puno veće, kako neželjene frekvencije ne bi došle na zvučnike kojima ne pripadaju.

Skretnice mogu biti napravljene od aktivnih i pasivnih filtera.

Pasivni su filteri napravljeni od R, L i C pasivnih elemenata od kojih se sastavljaju niskopropusni, visokopropusni i pojasni filteri. Poželjno je da skretnice budu napravljene samo od L i C elemenata.

Elektricična shema dvosmjerne i trosmjerne skretnice:



Na preklopnim frekvencijama vrijedi:

$X_L = X_C = R$ , a od tuda:

$$L \approx \frac{R}{2\pi f_k} \quad C \approx \frac{1}{2\pi f_k R}, \text{ dok}$$

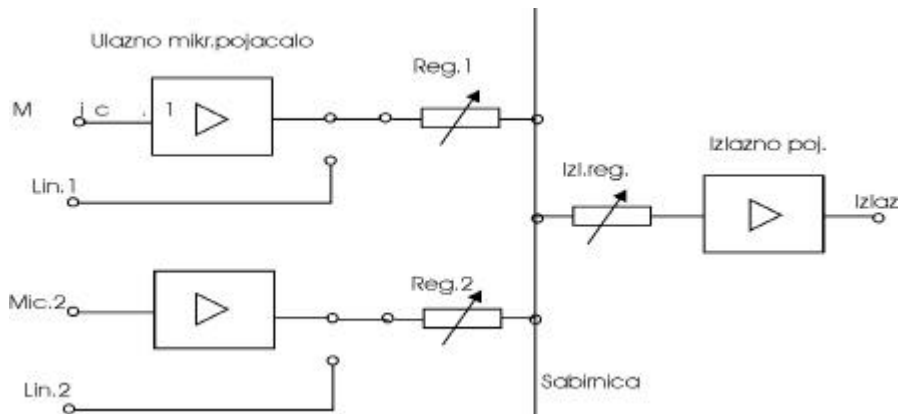
je preklopna frekvencija određena

$$\text{izrazom: } f_k \approx \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Aktivni filteri se izrađuju od operacijskih pojačala koja se kao elementi nalaze u predpojačalima, a mogu biti kombinirane i sa pasivnim elementima.

## 4. Tonski stol

Pomocu tonskog stola primamo dva ili više razlicitih tonskih signala, vršimo njihovo medusobno miješanje u odgovarajućem odnosu uz korekciju po razini, frekvenciji, vremenu ili na neki drugi nacin i tako dobijemo konacni proizvod tj. tonski signala po našoj želji i ukusu (sl.44).



Slika 44

Signali niže razine npr. iz mikrofona priključuju se preko pojačala na mikrofonске ulaze, a jači signali idu na linijske ulaze. Izlazno pojačalo svojim pojaćanjem nadoknauuje gubitke nastale u procesu obrade i spajanja.

Zahtjevi za tonski stol:

a) Ulazi

- Svi ulazi moraju biti simetrični da bi se izbjegle pojave nesimetrije
- ulazne impedancije mikrofonskih ulaza moraju biti 3-5 puta veće od impedancije mikrofona ( $=500 \text{ } \Omega$ ), čime se postiže naponsko prilagoćenje i ne opterećuje se mikrofonski kao izvor tonskog signala.
- Impedancija linijskih ulaza iz istih razloga mora biti  $= 2 \text{ k}\Omega$ .
- Minimalna razina ulaznog signala na mikr.ulazu mora biti  $-66 \text{ dBm}$  ( $0,39 \text{ mV}$ ).
- Minimalna razina signala na lin. ulazu mora biti  $+6 \text{ dBm}$  ( $1,55 \text{ V}$ )

b) Izlaz

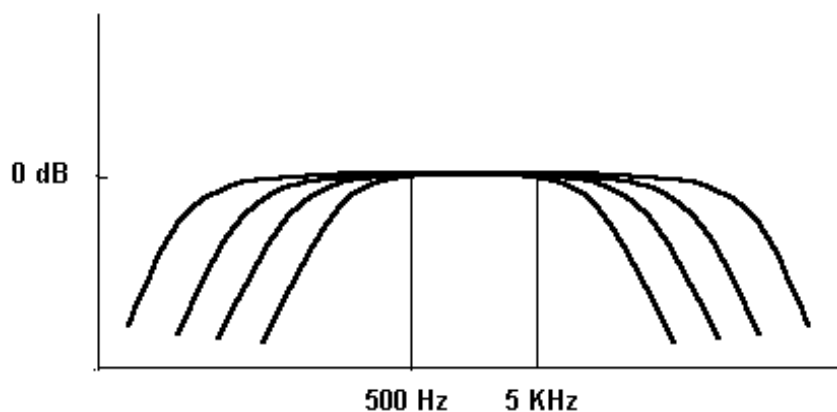
- Također mora biti simetričan
- Izlazni napon mora odgovarati linijskoj razini  $+6 \text{ dBm}$ .
- Impedancija izlaza mora biti manja od  $30 \text{ } \Omega$ .

c) Sabirnica

- Pomicanjem bilo kojeg regulatora ne smiju se mijenjati razine drugih signala.
- Ne smije unositi linearna ili nelinearna izoblicenja niti povećati šum.
- Mora imati mogućnost ukapcanja i rada potrebnog broja regulatora.
- Na sabirnici nastaje određeno gušenje ovisno o broju priključenih regulatora.

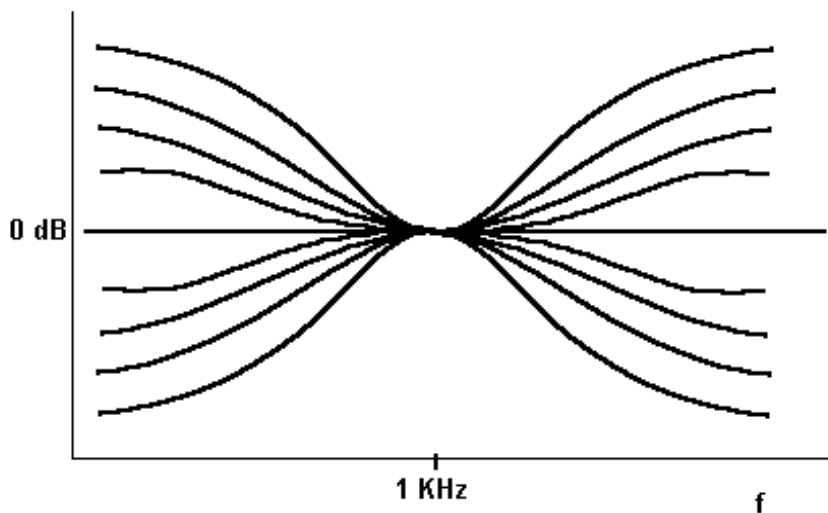
#### 4.1. Filterske kombinacije u sastavu tonskog stola

**Filter za dramske efekte** (sl.45) – kombinacija prethodnih filtera sa većim brojem radnih položaja (promjenjiva fg). Daje različite efekte npr. kreštav glas, promukao glas, zvuk tranzistora isl.



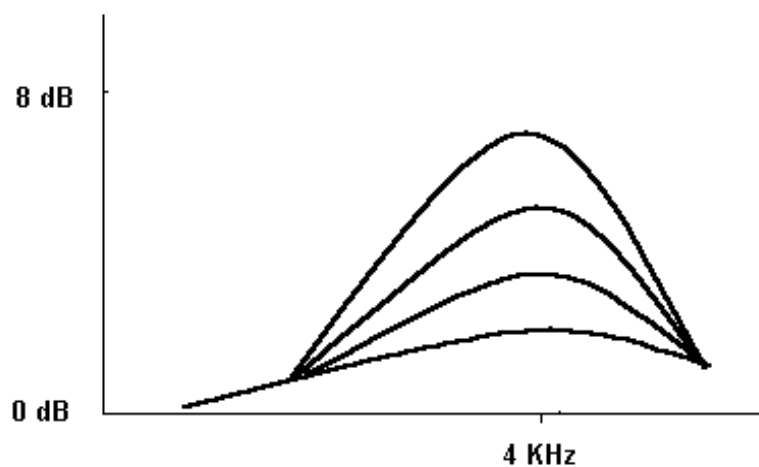
Slika 45

**Promjenjivi korektor** – lepeza ima sposobnost gušenja ali i izdizanja dubokih i visokih tonova (sl.46). To je aktivni filter s regulacijom. Frekvencije u okolini 1 KHz se ovim filterom ne mijenjaju.



Slika 46

**Filter prisutnosti** – služi za isticanje karakterističnih frekvencija raspoznavanja npr. izdvajanje glasa govornika iz ostale buke (sl.47), pojačavanje glasa pjevaca i izdizanje u odnosu na muziku i sl. Imaju dvije regulacije: frekventno područje i razinu izdizanja. To su aktivni filteri.



Slika 47.

**Equaliser** (ekvilajzer) – pojasni korektor-izjednacavatelj

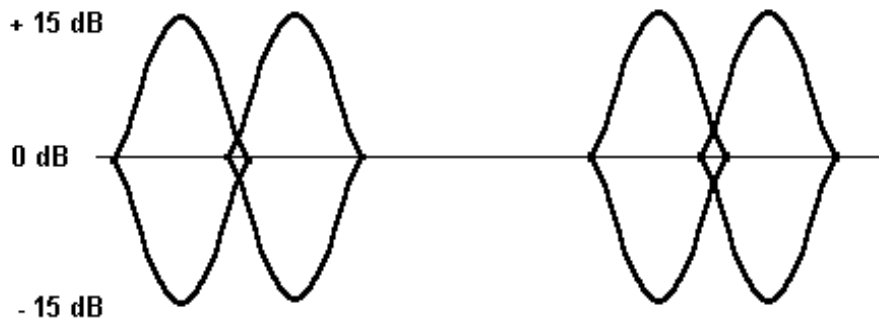
Predstavlja ustvari više pojasnih propusta koji su raspoređeni kroz citavo područje.

Frekvencijska karakteristika zvučnog lanca je različita pa se na ovaj način ujednačava.

Primjenjuje se u sustavima ozvučavanja, eliminira mikrofoniju, nedostatke prostorije i sl.

Razlikujemo:

a) graficki – položaj regulatora daje sliku situacije (sl.48)  
 Citavo frekvenzijsko područje podijeljeno je na 24 ili više područja i  
 svako to područje može se zasebno regulirati.



Slika 48.

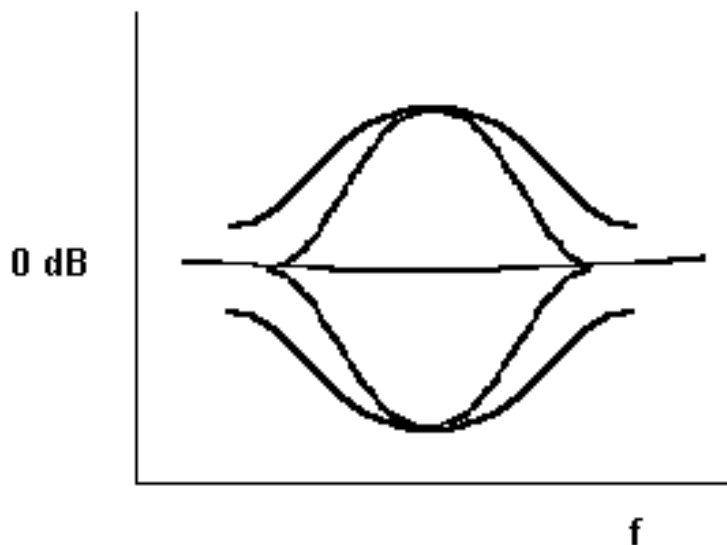
Izvede se kao aktivni i pasivni filteri – pojasni propusti.  
 Najčešće su izvedeni kliznim regulatorima.

b) parametarski (sl.49)– ima obično tri gradacije 10-800 Hz

100Hz- 8KHz

400Hz-25KHz

Može mijenjati nagib i frekvenciju.



Slika 49.

## 4.2. Uredaji za odjek

Sa uredajem za odjek upotpunjavamo tonsku sliku dajući joj dimenziju  
 prostornosti.

Vidjeli smo da u svakoj prostoriji postoji karakteristični oblik krivulje  
 nastajanja i nestajanja zvuka. (v.1.3., točka 8 i sl.11. i 12.)

*Nakon prestanka djelovanja zvučnog izvora, zvučna energija u prostoriji postepeno nestaje. Vrijeme koje je potrebno da energija zvučnog polja padne za 60 dB, zove se odjek.*

*Zvuk koji dolazi na mjesto prijema u nekoj prostoriji, sastoji se od direktnog zvuka, prve refleksije i refleksije višeg reda.*

*Refleksije višeg reda zovemo odjek.*

*Vrijeme zaostajanja prvih refleksija utjece na zvučnu sliku i one mogu povećati glasnoću direktnog zvuka te uticati na razumljivost.*

*Zakašnjenje prve refleksije daje informaciju o dimenzijama prostora.*

*Vrijeme zaostajanja prve refleksije je od 25 do 50 ms. Ukoliko je > 50 ms tada se radi o jeki.*

*Odjek se definira kod 500 ili 1000 Hz, što spada u niske frekvencije.*

*Naime, visoke frekvencije se apsorbiraju u zraku i ne sudjeluju u pojavi odjeka.*

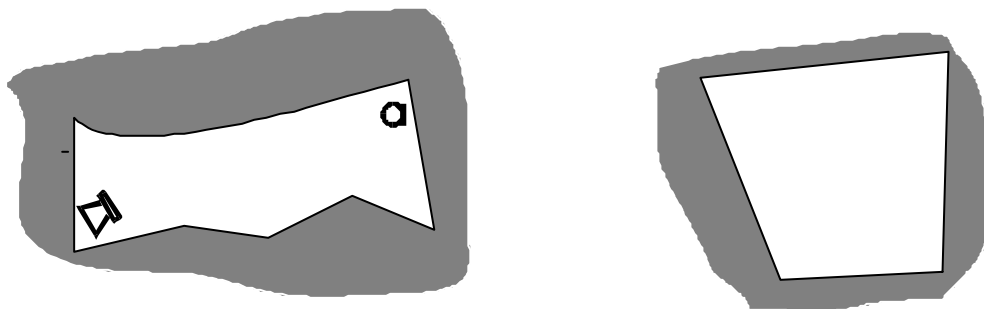
Uredaj za odjek mora imati:

- veliku gustocu rezonantnih frekvencija
- raspodjeljenost po frekvenciji i vremenu bez pravilnosti
- nadvišenje kod niskih frekvencija, a lagano gušenje kod visokih
- prvu refleksiju sa kašnjenjem max. 50 ms
- mogućnost promjene vremena odjeka.

a) Komora za odjek (sl.50)

Posebna prostorija izgrađena prema akustičkim zahtjevima čija je unutrašnjost presvućena cementnom glazurom.

Oblik im je nepravilan zbog izbjegavanja stojnih valova i što veće difuznosti zvuka. Ovakve prostorije daju najprirodniji odjek ali nema mogućnosti regulacije vremena odjeka .

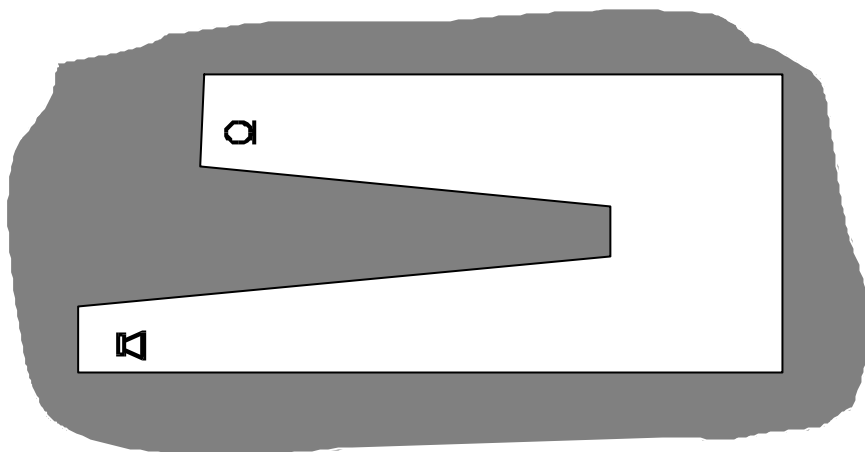


Slika 50.

tlocrt

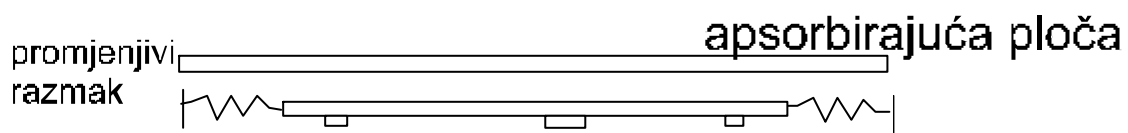
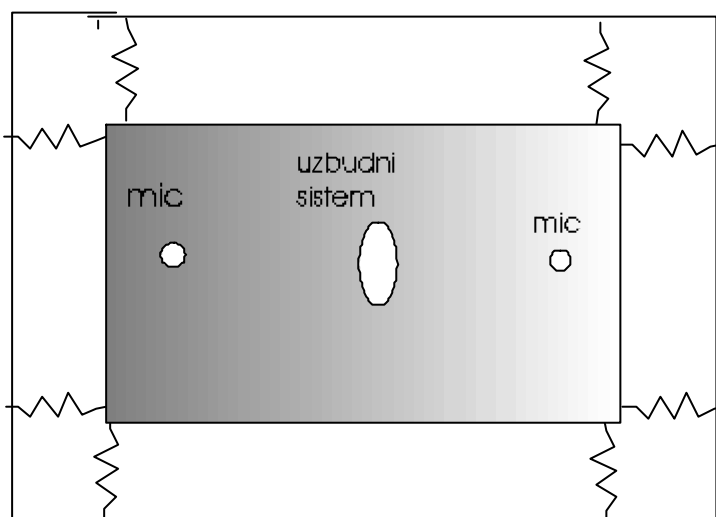
nacrt

Komora za dugo vrijeme odjeka (zvuk velikih dvorana) (sl.51)



Slika 51.

b) Ploča za odjek (sl.52)

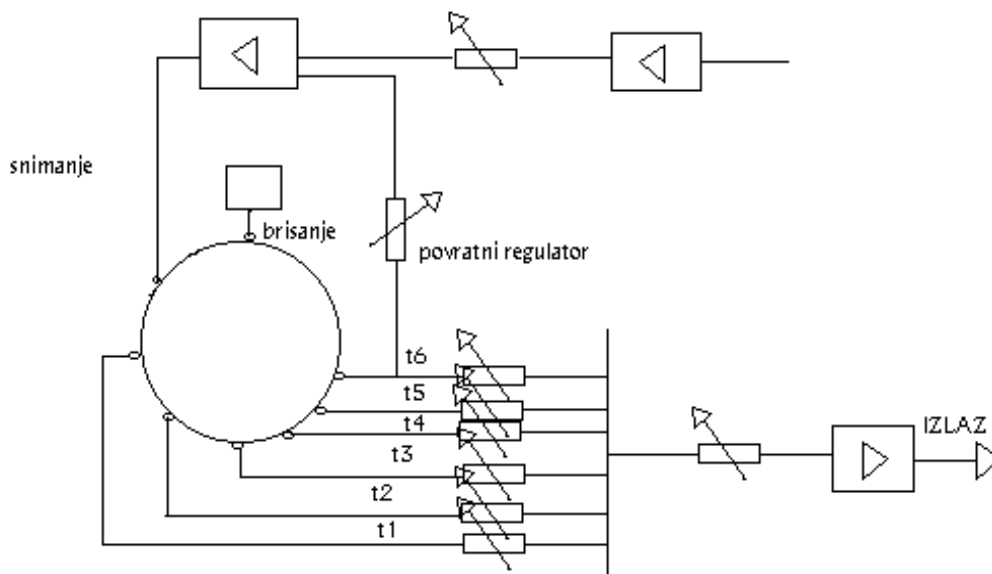


Slika 52.

c) Sustav s više magnetskih glava (sl.53)

Koristi se beskonacna magnetska vrpca i magnetske glave.

Može se dobiti efekt velikog objekta (katedrala, spilja i sl).



Slika 53.

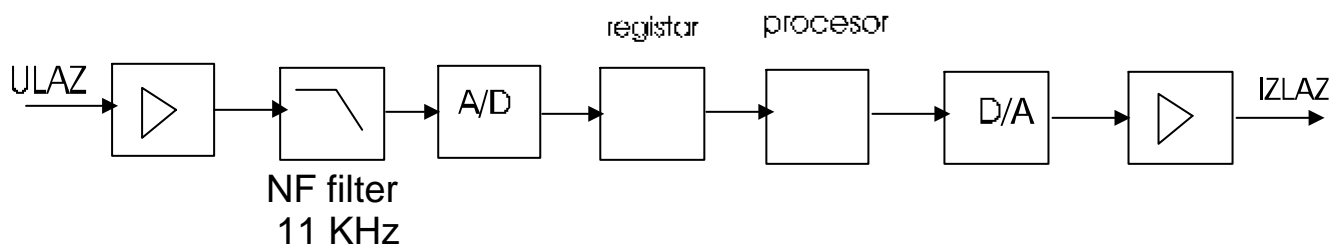
d) Sistem sa spiralnim perima

Izveden je sa više spiralnih opruga sa razlicitim korakom. Malih je dimenzija, ali nema mogucnosti regulacije vremena odjeka.

Radi na elektrodinamickom principu, malih je dimenzija i koristi se u terenskim uvjetima.

e) Digitalni odjek

Informacija se u A/D konvertoru digitalizira i upisuje u registar iz kojeg se uzimaju uzorci s potrebnim kašnjenjem (sl.54).



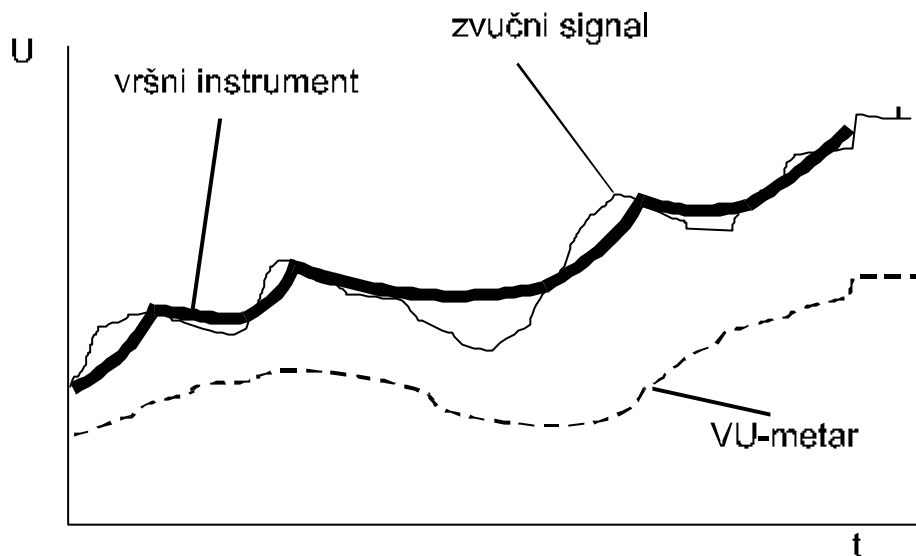
Slika 54.

### 4.3. Optički indikatori

Optički indikatori služe nam za to ta bismo mogli pratiti i kontrolirati tonski signal kvalitetnije i s više pouzdanosti.

Intenzitet zvuka u obradi varira u dosta širokim granicama tako da pomoću instrumenata pratimo približavanje razine signala nekoj kritičnoj vrijednosti (sl.55).

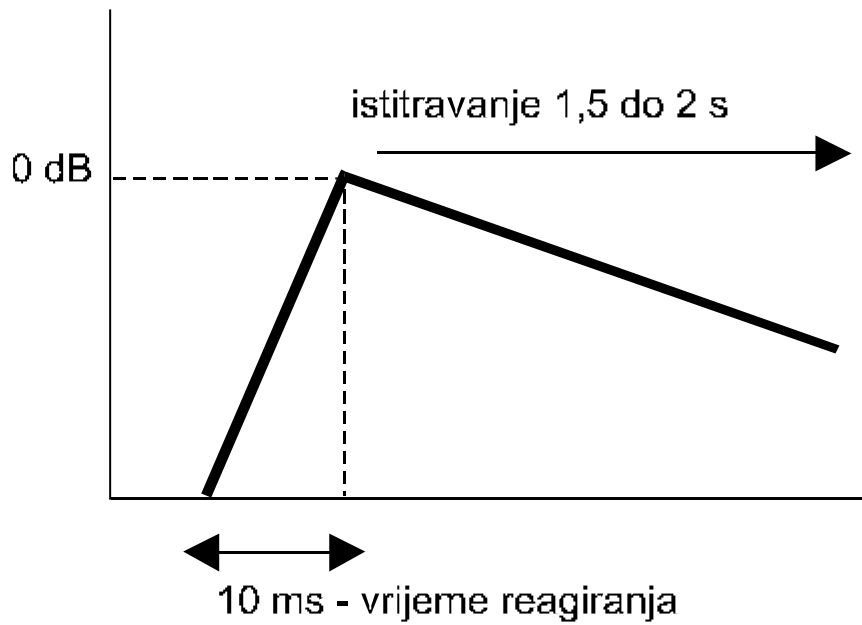
Za te svrhe koristimo vršni instrument i VU – metar.



Slika 55.

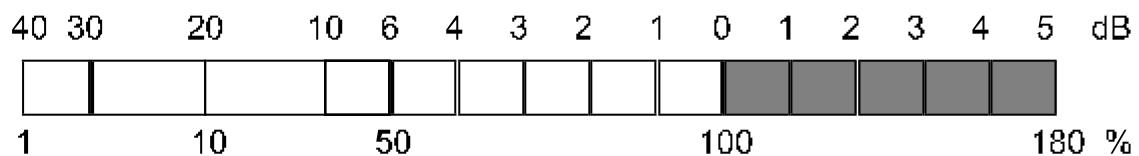
#### Vršni instrument

Takav instrument reagira na vršnu vrijednost signala. Ima veliki ulazni otpor, brzu reakciju i polagano istitravanje (sl.56).



Slika 56.

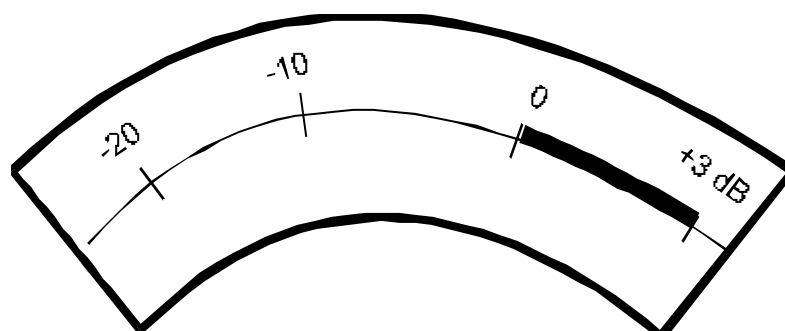
Skala vršnog instrumenta (sl.57)



Slika 57

**Volumetar (VU-metar)** (sl. 58)

Znatno je tromiji od vršnog instrumenta i pokazuje efektivnu vrijednost modulacije. Ima relativno nizak otpor (1 do 2 K? )



Slika 58.

Omogućava relativno mala i neprecizna očitavanja.

### **Mjerac kompatibilnosti**

To je indikator koji pokazuje stanje faze stereo signala, odnosno stupanj korelacije signala oba kanala.

To je potrebno zato što stereo signal mora biti kompatibilan sa mono signalom, radi kvalitetne reprodukcije u mono uređajima.

Rijec je o tome da signali kanala moraju imati faznu razliku, ali ona mora biti u prihvatljivim granicama.

Da bi se prilikom snimanja izbjeglo stalno osluškivanje stereo i mono signala, potrebno je imati takav mjerac.

## **5. Zvucna dinamika**

Zvucna dinamika označava zvucna zbivanja koja možemo registrirati našim slušnim organom od najtiših do najjačih zvukova.

Dinamika nekog zvucnog izvora se definira rasponom intenziteta zvuka, koje taj izvor može producirati.

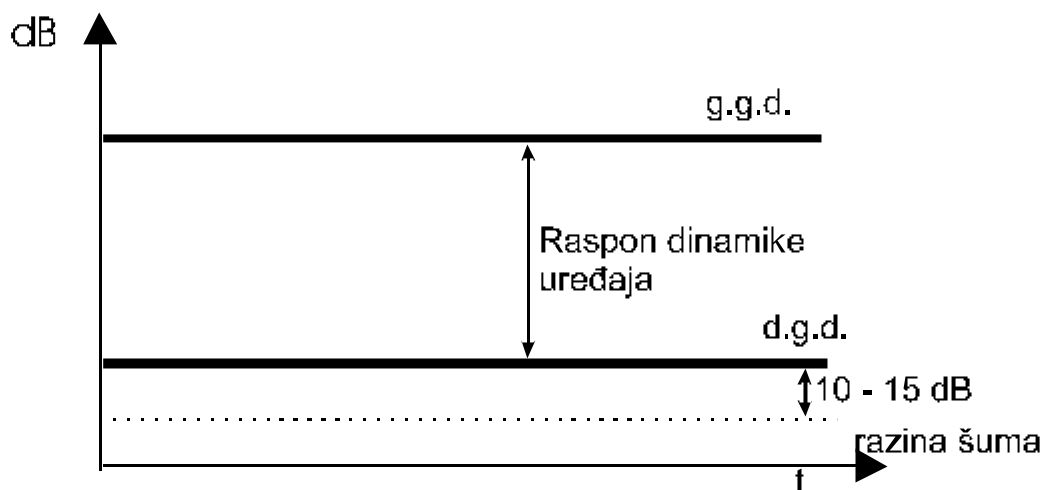
Kod dinamike ljudskog uha bitne su dvije granice: granica bola i granica cujnosti.

Dinamika uha je najveća kod 1000 Hz te iznosi 130 dB. Stvarna dnevna dinamika zvuka oko nas je u rasponu od 20 dB do 100 dB.

Područje dinamike jednom simfonijskog orkestra je 80 dB, a za govor nije više od 40 dB.

### **5.1. Dinamika uređaja**

Mediji za snimanje su ograničavajući faktori, jer donja granica mora biti veća od vlastitog šuma uređaja i to za 10 do 15 dB, dok gornju granicu određuje pozicija kod koje dolazi do nelinearnih izobličenja zvuka (sl.59) Uho je jako osjetljivo na nelinearna izobličenja pa primjećuje izobličenje koje iznosi samo 0,3%.

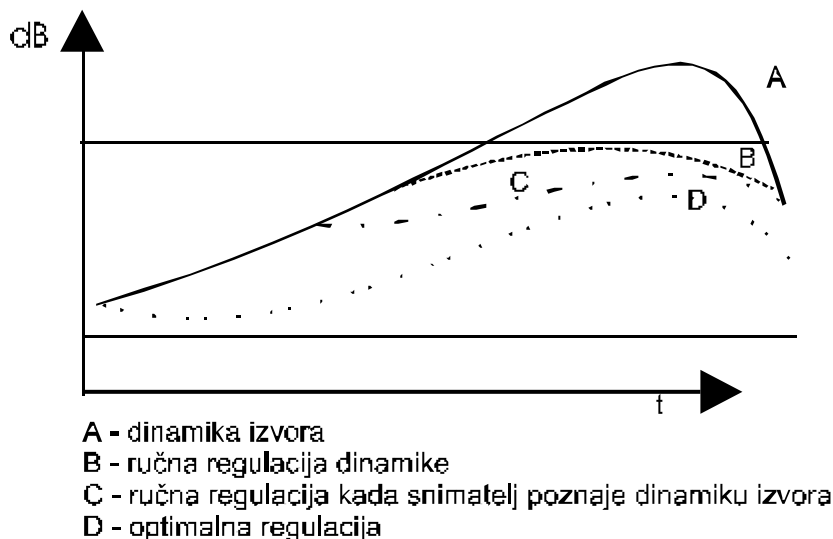


Slika 59.

Dinamika snimanja na magnetsku traku iznosi 55 do 65 dB, radio prijenos kod AM (SV): 35-40 dB  
 FM (UKV): do 60 dB  
 TV: 45 dB  
 CD: 80 dB

### Regulacija dinamike

Dinamiku izvora zvuka trebamo prilagoditi dinamici medija kako bismo dobili što prirodniji odnos, a time i što vjerniju reprodukciju (sl.60).

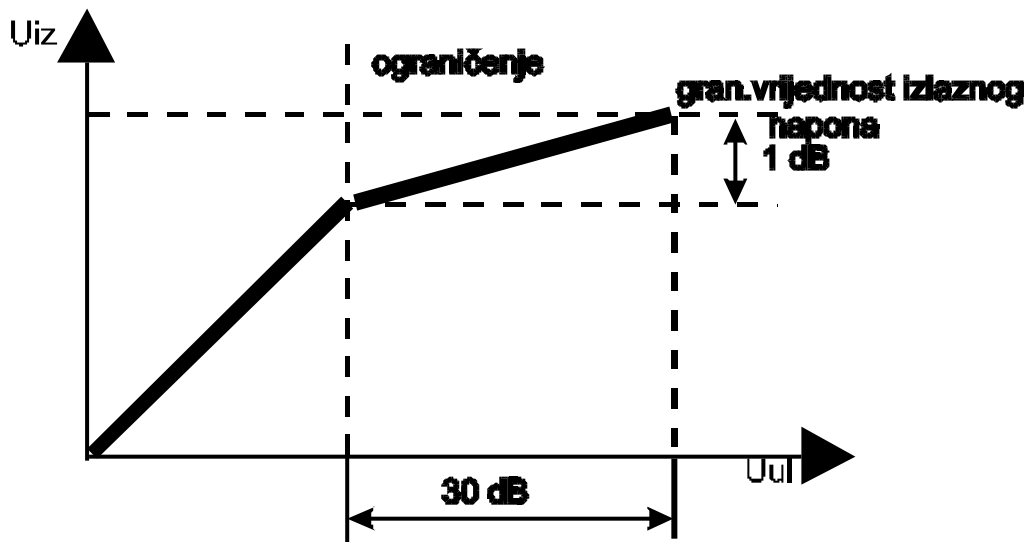


Slika 60.

## Limitir (ogranicivac)

To je regulator pojačanja koji do neke točke razine ulaznog signala jednoliko i normalno pojačava signal, a nakon te točke sve signale koji nailaze s većom razinom ograničava (reže), tako da nikada ne prijedu neku cvrsto određenu vrijednost. (+6dBm).

Karakteristika limitera prikazana je na slici 61.



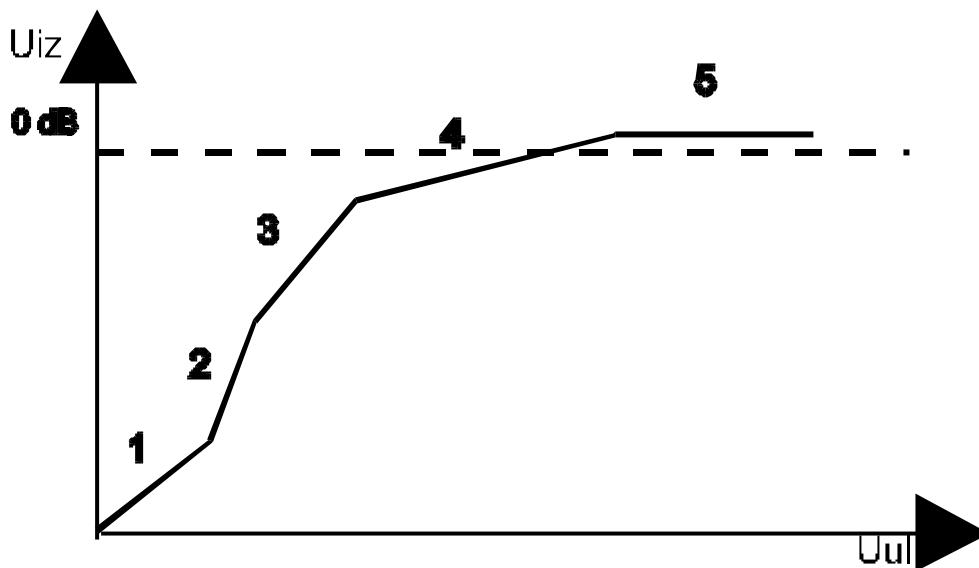
Slika 61.

Uz povećanje ulaznog napona za 30 dB od granicne vrijednosti, povećanje izlaznog napona ne smije biti veće od 1 dB.

## Kompresor dinamike

To je uređaj koji prati stanje dinamike i prilagodava ga unaprijed zadanim karakteristikama.

Na slici 62 je dana karakteristika nekog kompresora – ekspandera koji će pratiti jačinu signala i intervenirati na njemu na odgovarajući način.



Slika 62.

- 1 – pocetak karakteristike kreće se pravcem nagiba 45°, što znaci da nema pojačanja, kako se ne bi pojačavali signali cija je razina na razini šuma.
- 2- područje s jakim nagibom (ekspander) – tu imamo pojačanje signala koji imaju malu razinu.
- 3 – Ponovo nagib 45°, signali srednje razine se ne diraju.
- 4 – područje kompresije – stiskanja (manje od 45°)
- 5 – horizontalni dio, djeluje kao limiter

## DOLBY

Jedan od značajnih rezultat koje postizemo regulacijom dinamike je redukcija šuma.

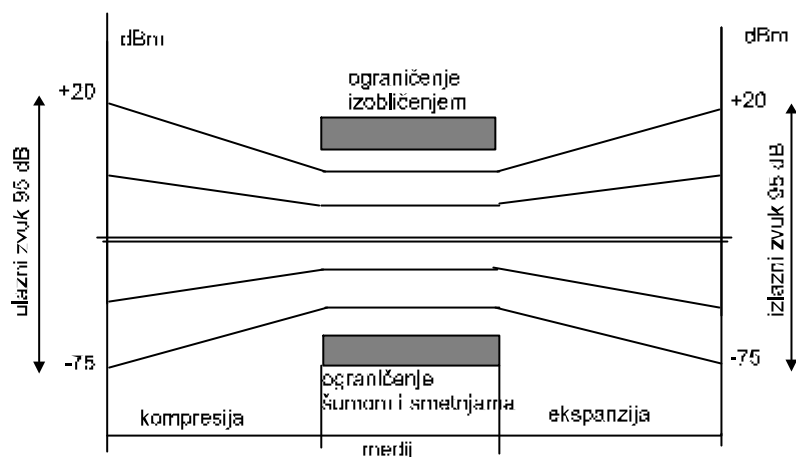
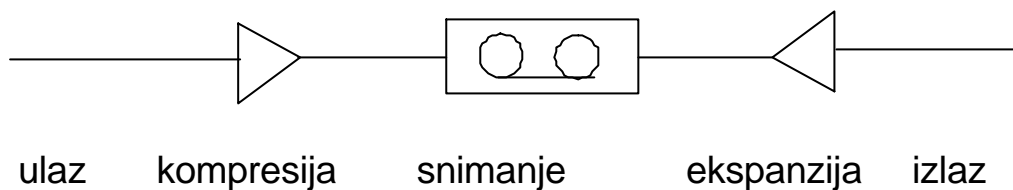
To postizemo tzv.kompanderom, kombinacijom kompresora i ekspandera.

Takav uređaj se popularno zove DOLBY prema nazivu firme koja ga je proizvodila.

Opseg promjene razine na izlazu iz kompresora manji je nego što je na ulazu. Naš je interes da ponovno uspostavimo odnose kakvi su bili na ulazu. Nakon kompresije moramo primijeniti obrnuti postupak tj.ekspanziju dinamike. Blok shema i karakteristika uređaja prikazani su na slici 63.

Karakteristika ekspandera je obratna od karakteristike kompresora i na to treba strogo paziti.

Najvažniji rezultat koji se dobiva ekspanzijom je znatno potiskivanje šuma (za 10 do 15 dB), što je posebno važno kod ucestalog presnimavanja tona.



Slika 63.

Negativne pojave:

- Kratkotrajne pojave izobličenja, radi vremenske konstante reagiranja.
- "Disanje" razine šuma.

Razina šuma kod desete kopije nije veća od 1 dB u odnosu na prvu kopiju, dok bez dolby-ja svaka kopija ima za 3 dB veći šum.

## 6. Stereofonija

Bez obzira na kvalitetu prijenosa pri mono reprodukciji, uvijek se može primijetiti neprirodnost zvuka, koja se očituje u tome da se kod emitiranja glazbe ne može lokalizirati pozicija pojedinih instrumenata, a kod govornih emisija npr. drame ne može se odrediti položaj izvodaca. Kada govori više osoba teško se prati radnja i tekst. Ako slušatelj prisustvuje takvom događaju utisak je neusporedivo bolji. Razlika je u mogućnostima tzv. prostorne percepcije zvuka.

Čak i točkasti izvor zvuka ugodnije se reproducira pri stereofonskom načinu snimanja i reprodukcije.

Na potpuni doživljaj zvuka utiču sljedeće činjenice:

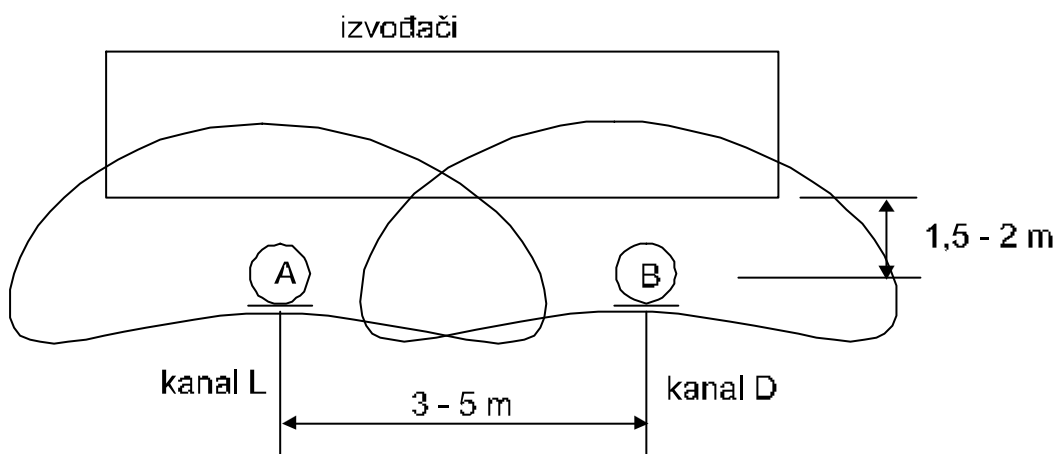
- razlika u glasnoci – zbog zasjenjivanja glave i ušnih školjki dolazi do razlike u intenzitetu zvučnog vala koji dolazi na pojedino uho.

- b) razlika u fazi – zvucni val ne stiže u isto vrijeme na jedno i na drugo uho vec postoji mala razlika koja ovisi o frekvenciji zvuka.
- c) vremenska razlika – zbog razlike u dužini puta isti zvuk ne dolazi istovremeno na oba uha. npr. 1 cm dužine daje razliku vremena od 30 ms.

Svaku od ovih razlika može se koristiti za dobivanje stereofonije, no u upotrebi je tzv.intenzitetna stereofonija (a), zbog kompatibilnosti sa uređajima za mono reprodukciju.

## 6.1. Stereosustavi

### 6.1.1. Dvokanalna ili AB stereofonija



Slika 64.

U principu se radi o korištenju dva neovisna kanala koji dobivaju signale iz dva odvojena mikrofona (sl.64).

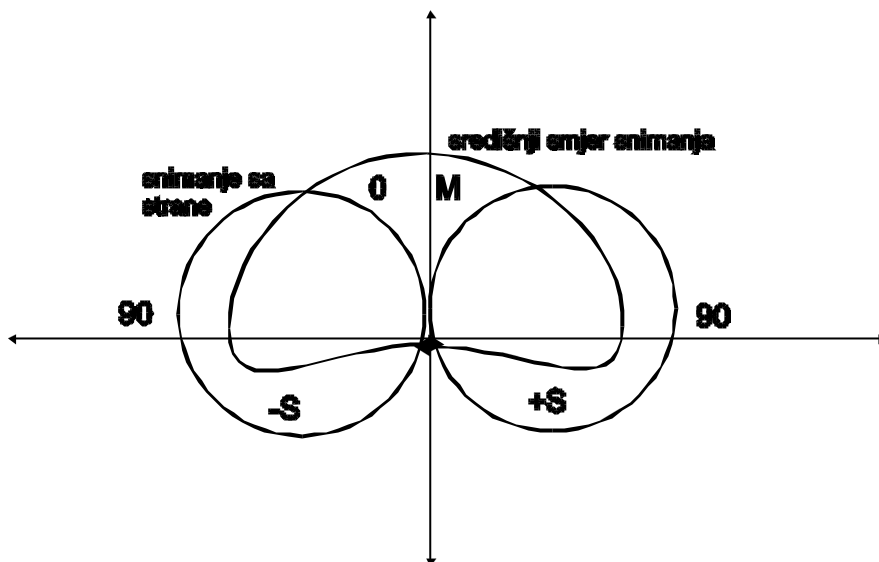
Rijec je o intenzitetno-vremenskoj stereofoniji. Glavni joj je nedostatak nekompatibilnost sa mono reprodukcijom.

Naime, kod zbrajanja A i B kanala može zbog razlike u fazi doći do djelomicnog poništavanja signala.

### 6.1.2. MS postupak

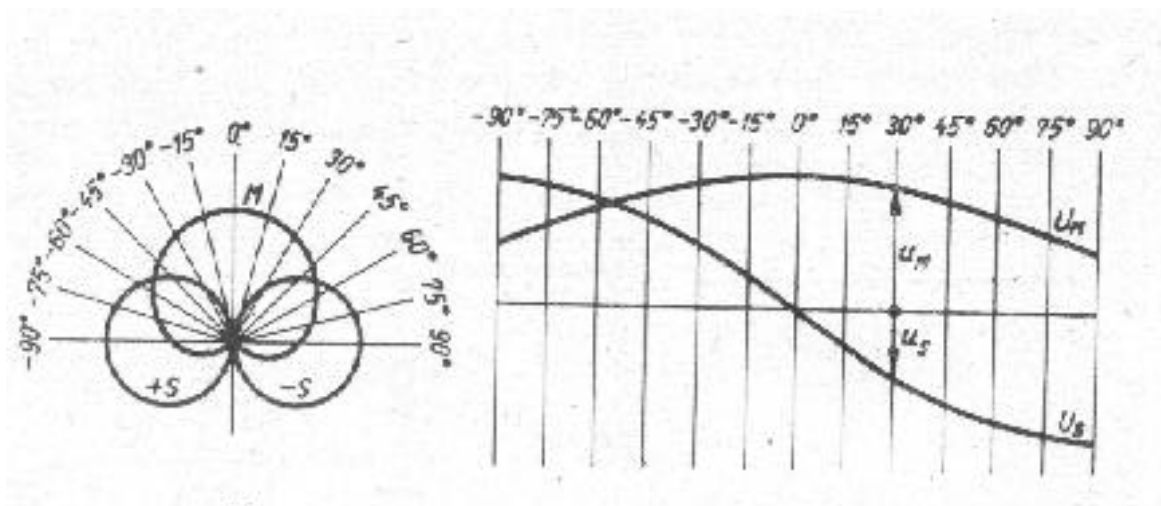
Kod snimanja se koristi stereo ili koincidentni mikrofoni koji se ustvari sastoji od dva mikrofona, jedan iznad drugoga, na međusobnoj udaljenosti od 5 cm.

Karakteristika takve mikrofonske kombinacije prikazana je na slici 65.



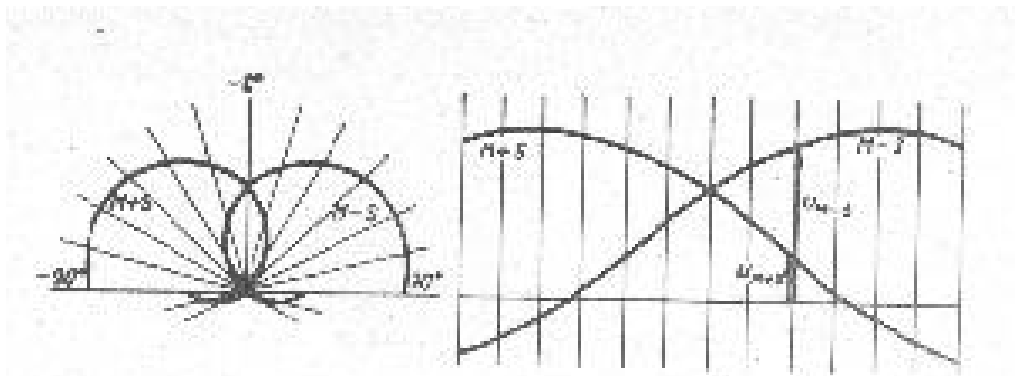
Slika 65.

Bubrežasta i osmicasta karakteristika međusobno su razmaknute za  $90^\circ$ . Oba signala moramo zbrojiti, odnosno oduzeti da dobijemo L i D: Dakle  $M+S = L$  i  $M-S = D$  (sl. 66 i 67).



Slika 66.

Postupak se zove Matriks, a izvodi se ne diferencijalnom transformatoru. Mikrofon M (bubrežasti) daje informaciju o sadržaju zvucne slike, a mikrofon S (osmicasti) daje informaciju o smjeru zvucnih izvora. Zbrojimo li krivulje na slici 66, odnosno oduzmemo li ih, dobit ćemo krivulje na slici 67, a koje izravno opisuju jacinu signala lijevog i desnog kanala. Postupak se provodi jednako u polarnim i pravokutnim koordinatama. Na slikama je primjer kada je izvor zvuka pod kutem od  $30^\circ$ .



Slika 67.

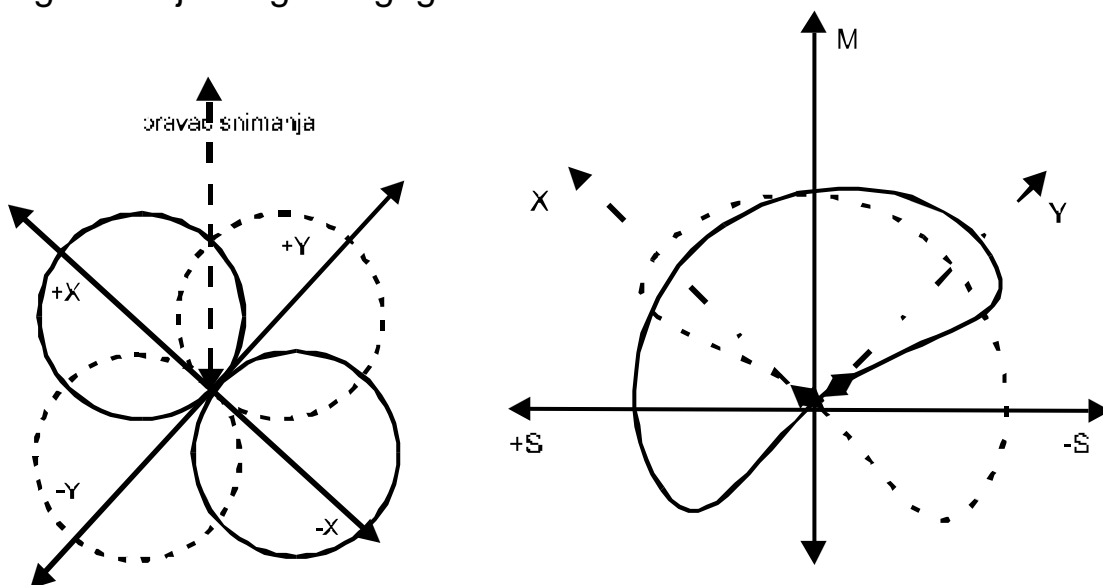
Na desnom zvučniku je jači intenzitet nego na lijevom, a to znači da je i izvor zvuka pomaknut od simetrale udesno za  $30^{\circ}$ .

Ovaj način dobivanja stereosignala ima svojstvo kompatibilnosti. Jednostavno se uzme informacija M (bubrežasta i ona u potpunosti odgovara jednokanalnom mono prijenosu.

### 6.1.3. XY- postupak

Snimanje se također izvodi koincidentnim mikrofonom. Radi se o dva mikrofona istih karakteristika (osmicasti ili bubrežasti), koji su međusobno pomaknuti za  $90^{\circ}$ , a prema osi mikrofona pomaknuti su za  $45^{\circ}$  (sl.68).

Ovaj je sustav kompatibilan sa MS sustavom i jednostavno se iz jednog sustava dobiva drugi odgovarajućim operacijama koje izvodimo na signalima jednog i drugog mikrofona.



Slika 68.

Ovdje je : x – lijeva informacija, Y- desna informacija, M-središnja tonska informacija, S- informacija smjera.

Ovdje vrijedi:

$$X=M+S, Y=M-S,$$

$$M=(X+Y)/2, S=(X-Y)/2$$

Mono signal se dobije zbrajanjem oba signala (X+Y) matriksom. Matriks je tzv diferencijalni transformator, a on omogućava monofonsku izvedbu stereosnimke.

## 6.2. Kvadrofoniya

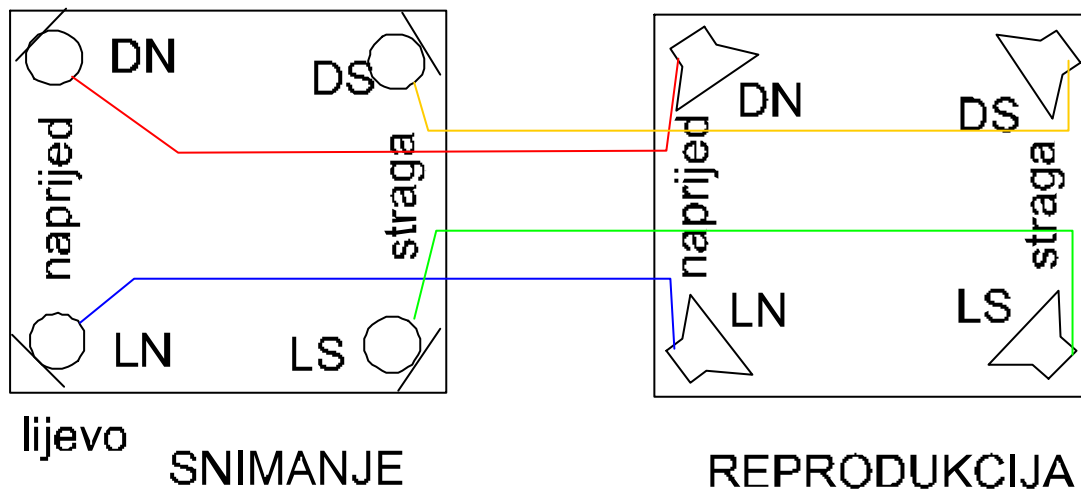
Dvokanalna stereofonija se najviše koristi.

Jedino se u filmu koristi višekanalna stereofonija.

Osim direktnog zvuka u nekom prostoru postoji još i zvuk koji se reflektira od zidova prostorije, a to sve daje kompletan utisak ambijenta. Stoga su za vjernu reprodukciju ambijenta potrebna cetiri zvucnika, pa prema tome i cetiri mikrofona (sl.69).

Ovakvo snimanje i reprodukciju nazivamo kvadrofoniya.

desno



Slika 69.

Snimanje se vrši na 4 zasebna kanala.

Umjesto 4 zasebna mikrofona, za snimanje se može koristiti i **kvadromikrofon**.

Rijec je o dva para mikrofona bubrežastih karakteristika koji se postavljaju na isti stalak u paru jedan iznad drugog.

Osim stvarne kvadrofoniye koristi se i lažna (kvazi, pseudo) kvadrofoniya kod koje se jednostavno L i D zvucnici postavljaju sa stražnje strane slušatelja.

## 7. Uredaji za magnetsko snimanje

Uredaj za magnetsko snimanje i reprodukciju zvuka može se podijeliti na mehanicki i elektricni dio.

Mehanicki dio treba osigurati: - ravnomjerno kretanje magnetske vrpce ispred glava uredja što se postiže sinhronim elektromotorom.

- točno i lagano nalijeganje vrpce na magnetske glave pomocu sustava vodilica i kotacica.
- jednoliku napetost vrpce.

Elektricni dio se sastoji od magnetskih glava za brisanje snimanje i reprodukciju i VF generatora.

Princip rada:

Magnetska vrpca najprije nailazi na glavu za brisanje koja vrši brisanje odnosno demagnetiziranje vrpce. Brisana vrpca dolazi na glavu za snimanje gdje se upisuje tonski signal promjenjivim magnetiziranjem magnetskih cestica na vrpci.

Magnetizirana vrpca dolazi na glavu za reprodukciju u kojoj inducira tonsku struju, koja se dalje reproducira preko pojacala i zvučnika.

Upotrebom triju tonskih glava moguće je odmah pri snimanju slušati već gotovu snimku i kontrolirati njenu ispravnost.

Sam proces magnetiziranja vrši se prema petlji histereze.

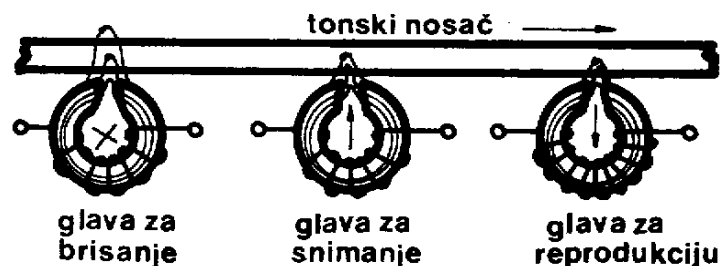
### 7.1. Magnetska glava

Magnetska je glava gradena od feromagnetskog materijala i prstenastog je oblika. Zašto?

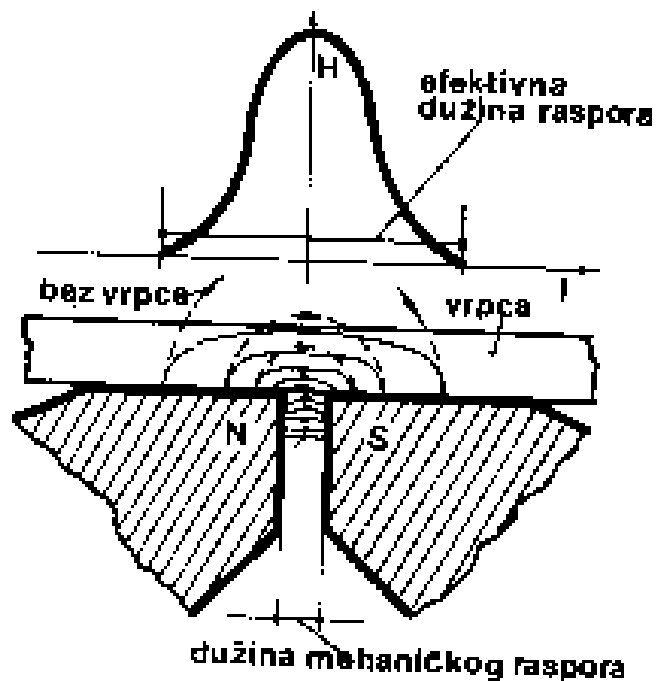
Svaka glava na svom prednjem dijelu ima raskor ispred kojeg prolazi vrpca.

Namjena raskora je povećanje magnetskog otpora na tom mjestu. Kada vrpca nalegne na glavu na mjestu raskora, ona svojim magnetskim svojstvima kratko spaja visoki magnetski otpor raskora, pa će sav magnetski tok icipravo kroz magnetski materijal trake (sl.71).

Položaj glava u sistemu snimanja prikazan je na slici 70.



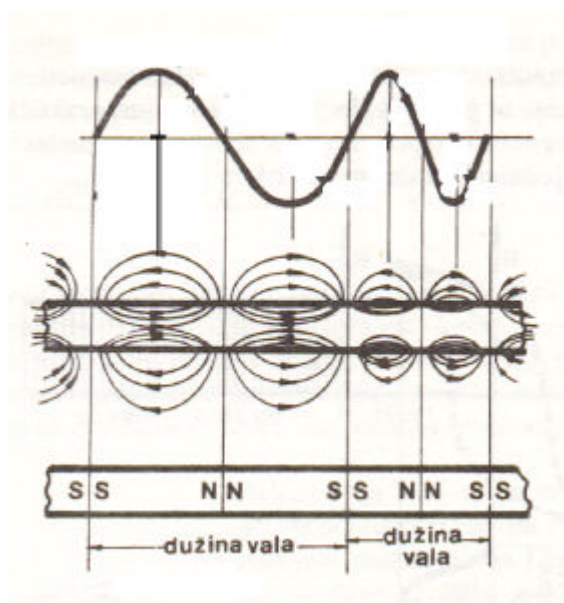
Slika 70.



Slika 71.

Citav proces odvija se u rasporu, pa je važno skrenuti pažnju da je stvarni raspor veći od mehaničkog raspora jer magnetske silnice izlaze prije raspora i ulaze iza raspora. To utječe na jacinu polja na mjestu raspora. Stoga je važno da materijal jezgre ima visoku permeabilnost ( $\mu = 10.000$ ).

Magnetska slika zvuka (sl.72)



Slika 72.

Jedan period snimljenog signala možemo prikazati kao dva magneta koji se dodiruju istoimenim polovima.

### 7.3. Brisanje

Magnetsko snimanje ima mogućnost koju do tada nisu imali drugi načini upisivanja zvuka, a to je brisanje zapisa.

#### Brisanje istosmjernim poljem

Danas se više ne koristi zbog veće razine šuma.

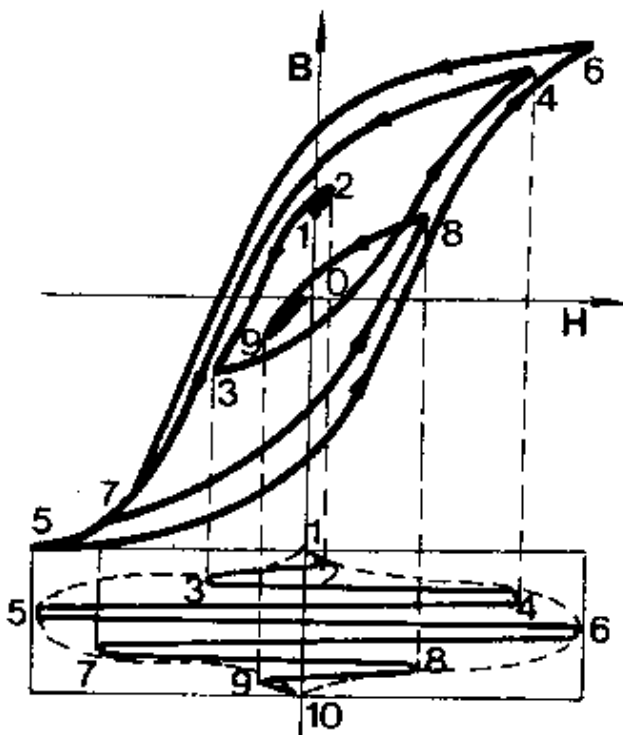
#### Brisanje izmjenicnim poljem

Širina raspora glave za brisanje nešto je veća čime je postignuto veće magnetsko rasipanje.

Jacina VF magnetskog pola postepeno se pojačava do maksimuma kako elementarni komadici vrpce nailazi do sredine raspora glave, a isto tako postepeno opada kako odlazi od raspora.

Brisanje se vrši frekvencijom 40 – 100 KHz. Kvalitetniji sustavi imaju višu frekvenciju brisanja.

Na slici 73. prikazan je princip brisanja VF strujom.



Slika 73.

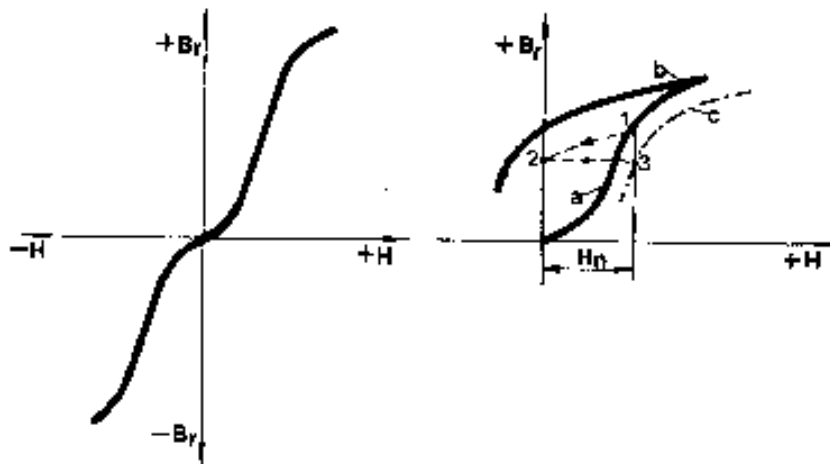
1- zaostali magnetizam

10 – magnetizam nakon prolaska raspore tj. kada polje padne na 0.

## 7.4. Dinamicka karakteristika

Kada obrisana vrpca dolazi na glavu za snimanje njezino magnetiziranje se obavlja po krivulji prvog magnetiziranja.

Remanentna magnetska indukcija koja nakon toga ostaje zapisana na vrpci je nešto manja.



Slika 74.

Dinamicku karakteristiku dobijemo tako da za svaku vrijednost jakosti magnetskog polja  $H$  označimo pripadajuću zaostalu magnetsku indukciju  $B$  (sl.74).

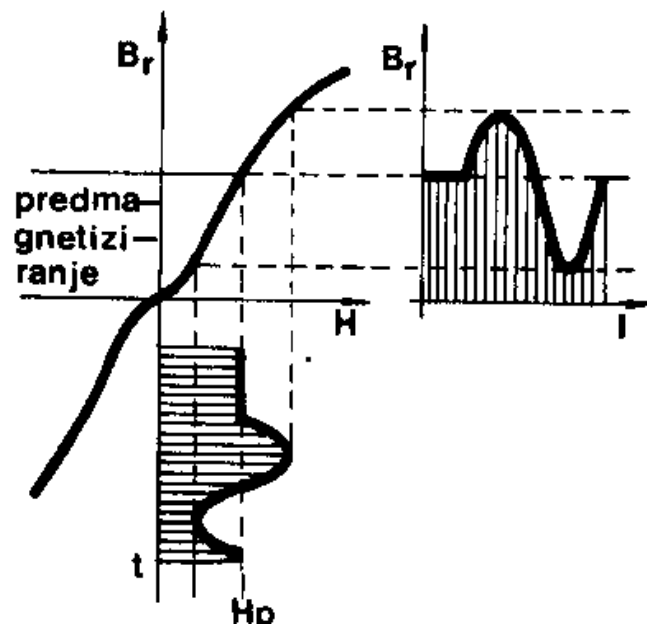
Ona nam dakle pokazuje kako će u zavisnosti od magnetskog polja koje je nastalo kod tonfrekventnog signala ostati upisana magnetska slika toga napona na magnetskoj vrpci.

## 7.5. Snimanje

Možemo domah primjetiti da dinamicka karakteristika nije linearna. To znaci da sinusna promjena jakosti magnetskog polja  $H$  neće izazvati odgovarajuću promjenu magnetiziranja vrpce već će doći izoblicenja što će rezultirati izoblicenom reprodukcijom.

Da bi se iskoristio samo linearni dio dinamicke karakteristike uvodi se tzv.predmagnetiziranje.

## Istosmjerno predmagnetiziranje



Slika 75.

Izmjenični tonski signal se superponira istosmjernoj struji za stvaranje predmagnetizacije (sl.75).

Nedostatak je visoki šum i mala dinamika.

## Izmjenično predmagnetiziranje

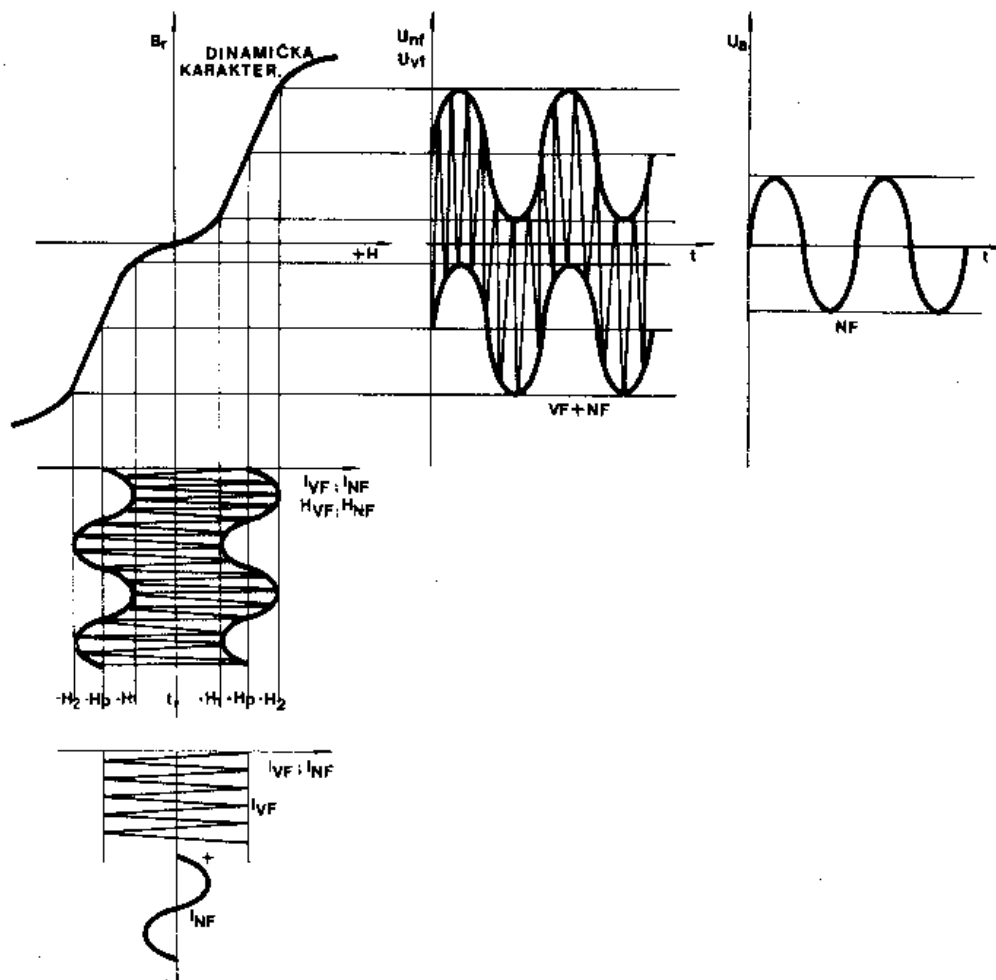
Na glavu za snimanje dovodi se VF struja za predmagnetiziranje, a tonski signal se superponira na nju.

Remanentni magnetizam ne može slijediti brze promjene VF polja, ali zadržava remanenciju na razini najveće amplitude.

Kada nema NF signala, VF signal ne ostavlja nikakav trag na magnetskoj vrpici, a njegovo djelovanje je jednako djelovanju VF signala za brisanje (sl.76).

Povećanjem VF smanjuju se šumovi, ali se povećavaju gubici zbog vrtložnih struja.

Upotrebljavaju se frekvencije od 75 KHz do nekoliko stotina KHz.



Slika 76.

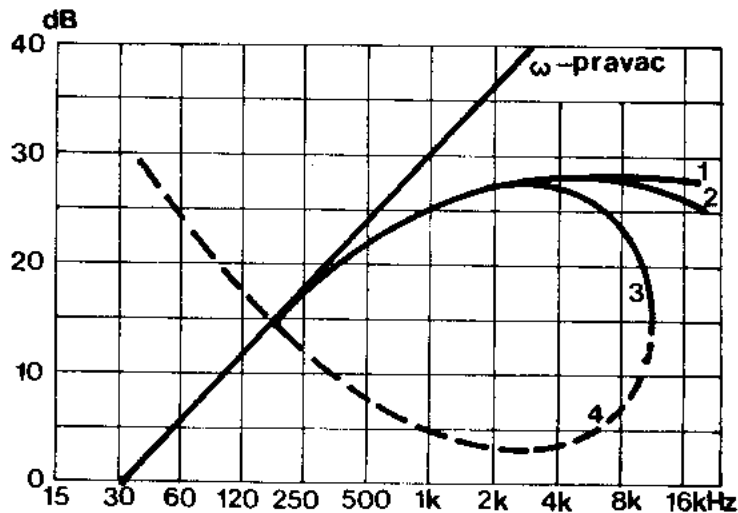
## 7.6. Korekcijske karakteristike

Sve što je u pogledu frekvenzijskih karakteristika receno, dovoljno je da sagledamo da će karakteristika snimanja na višim frekvencijama biti lošija nego na nižim i srednjim.

Uvjet koji kod snimanja mora biti ispunjen jest da frekvenzijska karakteristika izlaznog tonkog signala iz magnetofona bude jednaka frekvenzijskoj karakteristici ulaznog tonkog signala.

Stoga se obavlja korekcija karakteristika pojedinih dijelova magnetofona.

## Pojacalo za reprodukciju



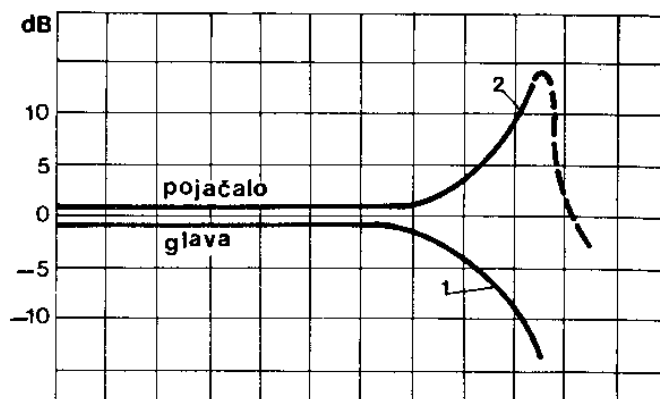
Slika 77.

- 1- idealna karakteristika
- 2- Nakon prolaska, signal se nije puno promjenio
- 3- karakteristika nastala zbog pojave gubitaka u glavi za snimanje
- 4- karakteristika pojačala

U pojačalu za reprodukciju vrše se intervencije kako bi signal pretrpio što manje promjene (sl.77).

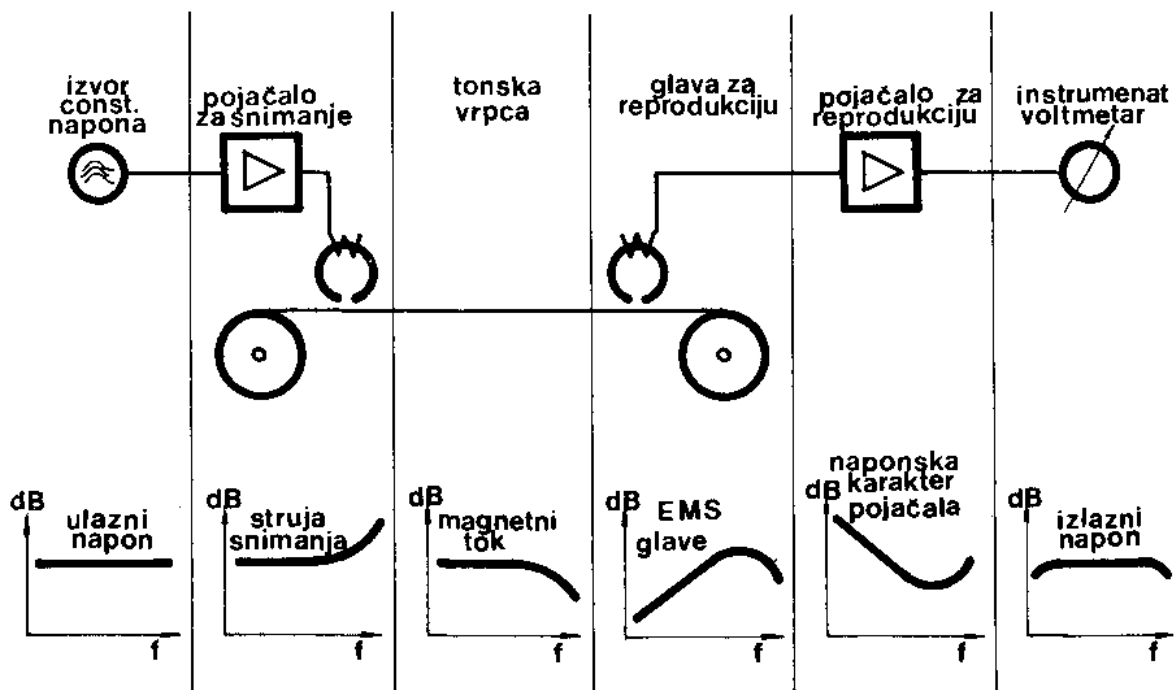
## Pojacalo za snimanje

Identicnu situaciju imamo i kod pojačala za snimanje (sl.78):



Slika 78.

## Korekcijske karakteristike za cijeli magnetofon po stupnjevima



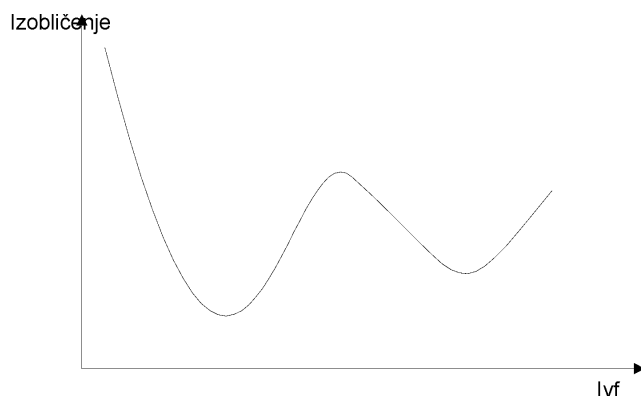
Slika 79.

### 7.7. Smetnje i izoblicenja

Kod magnetskog snimanja zvuka postoji cijeli niz smetnji i izoblicenja . Najvažnija su:

#### a) Harmonicko izoblicenje

Nastaje zbog koljena dinamičke karakteristike i premale struje predmagnetiziranja (sl.80).



Slika 80.

### b) Samodemagnetiziranje

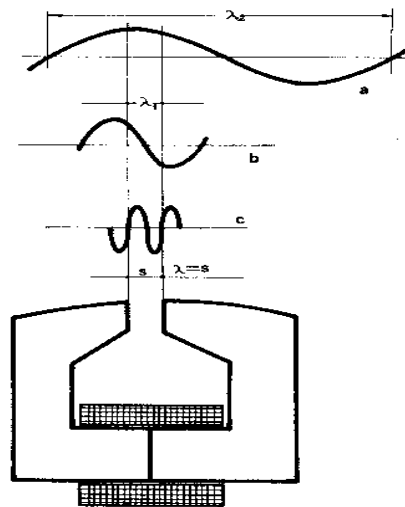
Zbog polariteta i orijentacije elementarnih magneta, dolazi do međusobnog djelovanja, koje se iskazuje kao magnetsko slabljenje. Do toga dolazi zato što elementarni magnetici unutar magnetske vrpce kratko spajaju jedni druge i time slabe magnetsko polje. Samodemagnetiziranje je to veće što su magnetici kraci, a to znači što je frekvencija snimanog zvuka veća.

### c) Djelovanje raspora

Osnovni zahtjev je da valna dužina snimanog signala bude uvijek veća od širine raspora glave.

Kada je  $\lambda = s$  ne spajaju se više silnice preko zračnog raspora te je magnetska indukcija jednaka nuli.

Zbog trenja vrpce raspor se s vremenom širi te se na taj način smanjuje gornja granicna frekvencija signala (sl.81).



Slika 81.

### d) Djelovanje VF struje predmagnetiziranja

Prevelika struja predmagnetiziranja izvršiti će jače magnetiziranje vrpce po dubini što će se odraziti na povećano demagnetiziranje.

### e) Efekt prodiranja

Očituje se u tome da se kod veće frekvencije predmagnetiziranja smanjuje dubina magnetiziranja vrpce.

### f) Razmak između vrpce i glave

Ako iz bilo kojeg razloga dođe do povećanja razmaka između vrpce i glave to će se odraziti kao slabljenje reprodukcije na višim frekvencijama.

### **g) Nagib raspora glave**

Ako je raspor ukošen tj. nije okomit na vrpce on će jednim svojim djelom obuhvatiti i suprotan tok signala što će rezultirati slabljenjem ili potpunim nestankom signala.

### **h) Efekt kopiranja**

Jaka magnetska polja na pojedinim djelovima vrpce će u bliskom dodiru sa drugim djelovima proizvesti promjene magnetskog polja, što će se odraziti kao jeka. Do pojave dolazi kada su vrpce dulje vrijeme uskladištene na povišenoj temperaturi ili u polju djelovanja jaceg magneta.

#### **i) Smetnje zbog nepotpunog brisanja**

Ako je pri snimanju signal suviše jak, doći će do magnetiziranja i u poprecnom smjeru. Takve snimke se kod ponovnog snimanja ne mogu obrisati običnom glavom za brisanje, tako da snimka i dalje ostaje na vrpce premda slabog intenziteta.

## **8. Kompakt disk (CD)**

### **8.1. Opcenito o CD-u**

CD ili Kompakt Disc, poznat je danas kao standardni nosac zvuka, slike i podataka. To je opći naziv za sve vrste ovih medija.

Radi se o plasticnom disku promjera 12 cm s rupom od 15 mm u sredini. Na polikarbonatnoj podlozi nalazi se nekoliko slojeva. Najvažniji je sloj onaj koji sadrži podatke u digitalnom obliku, prisutne kao niz mikroskopskih neravnina.

Preko njih prelazi laserska zraka, reflektira se i modulira tim neravninama i tako postaje izvorom elektricnog signala koji se obrađuje u CD uređaju i kao krajnji rezultat daje podatke u vidu niza 1 i 0 ili odgovarajući audio-zapis.

### **8.2. Vrste CD-a**

#### **a) Podjela prema mogućnostima čitanja i pisanja**

CD-ROM je klasičan naziv za kompakt disk koji sadrži računalne podatke. Proizveden je na industrijski način, a služi samo za čitanje podataka i na njega se podaci ne mogu zapisivati. Razlikujemo ga od ostalih jer ima tanki aluminijski sloj što mu daje karakterističnu srebrnastu boju.

CD-R je kompakt disk na kojemu podatke možemo sami jednokratno zapisivati pomoću CD-R pisaca. Koristi se jednako dobro za zapis i čitanje

racunalnih i audio podataka. Prepoznamo ga najlakše po zlatnoj boji jer je presvučen vrlo tanki zlatnim slojem.

CD-RW je naziv za vrstu kompaktnog diska na kojemu se višekratno, pomoću CD pisaca, mogu upisivati i brisati podaci i audio-zapisi.

#### b) Podjela prema vrsti zapisa

CD - DA je naziv za kompaktni disk koji sadrži audio zapis u digitalnoj formi. Može biti proizveden u velikim serijama na industrijski način, ali isto tako i u manjim količinama za osobne potrebe.

CD-ROM/XA je kompaktni disk koji istovremeno sadrži računalne podatke i audio podatke. Koristi se u multimedijске svrhe.

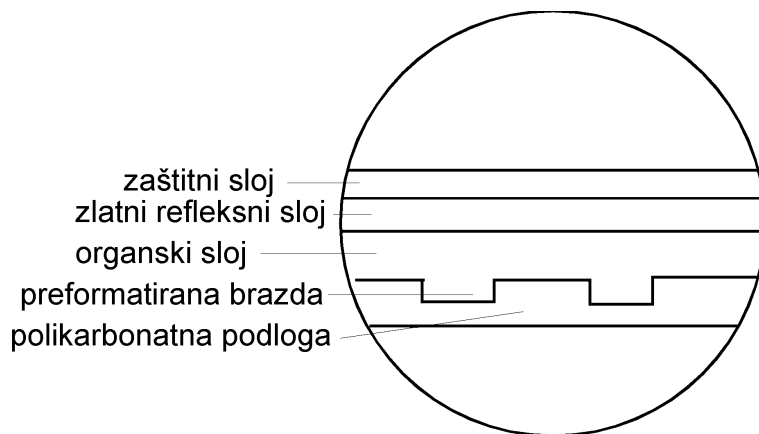
Photo – CD je kompaktni disk namijenjen pohranjivanju fotografija. Može se koristiti kao običan CD-ROM u računalima ili na posebnim citacima koji se priključuju direktno na TV.

DVD je naziv za kompaktni disk koji sadrži video zapis u digitalnom obliku. Velikog je kapaciteta jer ima znatno veću gustoću zapisa, pa se zbog toga ne može citati pomoću običnih CD citaca. Kompresija podataka vrši se po standardu poznatom kao MPEG 2.

### **8.3. CD pisac (CD-R)**

Način rada CD-R uređaja (CD-Recordable) vrlo je sličan načinu rada običnog CD-ROM-a. Razlika je jedino u tome što CD-R ima znatno snažniji laserski snop kojim po specijalno konstruiranom disku piše podatke. Kada podatke čita, radi to na potpuno identičan način kao CD-ROM uređaj.

CD-R medij ispod zaštitnog i reflektivnog sloja ima organski sloj koji se topi pod utjecajem lasera i tako stvara niz mikro udubljenja (sl.82).



Slika 82.

CD-R disk na polikarbonatnoj podlozi ima plitku brazdu u obliku spirale. Ona služi za vodenje servo mehanizma koji upravlja laserom za ispisivanje. Brazda nije sasvim ravna nego blago vijugava, tako da pri ispravnoj brzini vrtnje generira frekvenciju od 22,05 KHz.

Ova frekvencija upravlja brzinom vrtnje CD pisaca što osigurava održavanje konstantne linijske brzine od 1,3 m/s.

Kutna brzina se mijenja i veća je kada laser upisuje podatke na početku tj. bliže sredini diska, nego kod upisivanja podataka na kraju diska.

Prije samog zapisivanja podataka pisac najprije zapisuje probni zapis na **PCA** područje, kako bi izvršio kalibraciju snage lasera. **PCA** područje se nalazi na početku diska.

Kada se to područje popuni, na disk više nije moguće upisivati podatke.

Iza ovoga područja slijedi **PMA** područje. Tu se upisuju privremeni podaci o nezavršenom disku. Kada se disk jednom završi, podaci iz tog područja prepisuju se u Lead-In područje.

U ovom području nalazi se tablica sadržaja koju prepoznaje i koristi svaki CD citac.

Iza **PMA** slijedi **PA** područje koje je najveće i u kojem se nalaze glavni podaci.

Podaci se mogu zapisivati na tri načina.

- Cijeli disk odjednom
- Cijela sesija odjednom
- Staza po staza

Zapisivanjem i načinom zapisivanja bavi se mikroprocesor preko odgovarajućeg softvera.

CD medij ima vrlo veliku gustocu zapisa. Zapis se nalazi pohranjen na spirali koja započinje sa unutrašnje strane diska i završava na vanjskoj strani diska.

Njezina je duljina oko 6 km. Spirala ima preko 20.000 zavoja, tako da je gustoca susjednih zavoja oko 17.000 tpi (track per inch), za razliku od obicne diskete gdje je ta gustoca 96 tpi.

Radi ilustracije pokušajmo zamisliti disk promjera 120 m (nogometno igralište), kojem glava na visini od 10 m mora procitati slova velicine 0,5 mm.

## 8.4. CD citac

### EFM modulacija

Površina diska je sacinjena od brazdi u kojima se nalazi niz malih udubljenja.

Jedinicu predstavlja prelazak između ravnog i udubljenog dijela i obratno dok duljina udubljenja ili ravnog dijela predstavlja broj nula između ovih jedinica.

Stoga je nemoguće ostvariti dvije jedinice zaredom. Između dvije jedinice moraju biti barem dvije nule.

Zbog toga se jedan bajt podataka može zapisati koristeći najmanje 14 bitova.

Zato se ova modulacija zove EF modulacija (Eight to Fourteen).

Ako takva 14 bitna kombinacija završava sa jedinicom, a slijedeca takoder pocinje sa jedinicom potrebno je osigurati još tri dodatna bita, tako da se u cjelini jedan bajt zapisuje sa 17 kanalnih bitova.

24 bajta cine **okvir** ili **frame**. Zajedno sa pomocnim bitovima i bitovima za otkrivanje i korekciju greške, jedan okvir zadrži 588 kanalnih bitova.

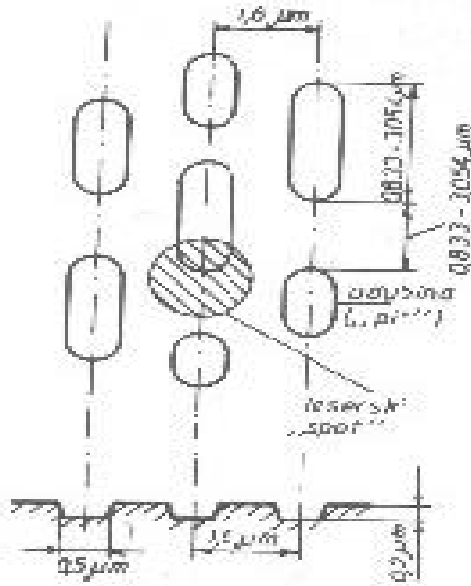
**Sektor** je osnovna logicka jedinica na CD-u. On je sastavljen od 98 okvira što znaci od  $98 \times 24 = 2352$  bajta.

U jednoj sekundi se ocita 75 sektora. Kako se kod audio CD-a koriste 16 bitni uzorci i to po jedan za svaki stereokanal, na ovaj se nacin u jednoj sekundi ocita  $75 \times 2352 / 2 / 2 = 44100$  uzoraka, što odgovara frekvenciji uzorkovanja zvučnog signala na CD-u.

Preko njih prelazi laserska zraka, reflektira se i modulira tim neravninama i tako postaje izvorom elektricnog signala koji se obraduje u CD uređaju i kao krajnji rezultat daje podatke u vidu niza 1 i 0 ili odgovarajuci audio-zapis.

Podaci su ubilježeni u vidu tzv."pitova", tj.udubljenja koja su spiralno upisana na površinu diska.

Laserska zraka je širine 1 mm, kako bi se smanjio utjecaj necistoca i neravnina na disku, a njezino fokusiranje vrši se kroz proziran zaštitni sloj na promjer od 1  $\mu\text{m}$  koji se naziva "spot" (sl.83).



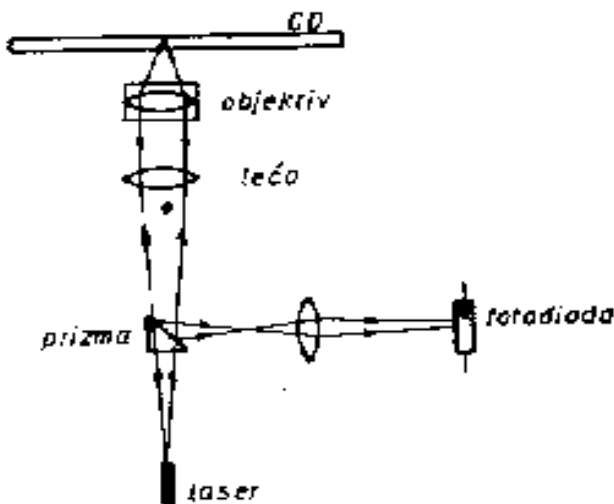
Slika 83.

CD medij ima vrlo veliku gustocu zapisa. Zapis se nalazi pohranjen na spirali koja zapocinje sa unutrašnje strane diska i završava na vanjskoj strani diska.

Njezina je duljina oko 6 km.

Spirala ima preko 20.000 zavoja, tako da je gustoca susjednih zavoja oko 17.000 tpi (track per inch), za razliku od obicne diskete gdje je ta gustoca 96 tpi.

Radi ilustracije pokušajmo zamisliti disk promjera 120 m (nogometno igralište), kojem glava na visini od 10 m mora procitati slova velicine 0,5 mm.

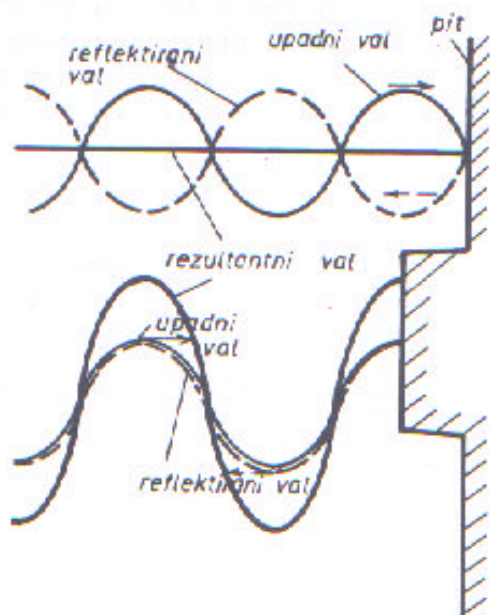


Slika 84.

Laserska zraka predstavlja koherentno lektromagnetsko zracenje valne duljine 780 nm koje je na granici infracrvenog i crvenog podrucja.

Koherentno zracenje znaci da se radi o zracenju vrlo uskog frekvencijskog spektra (jedna valna duljina), koje je istofazno.

Glava za citanje usmjerava se i vodi mikroprocesorom (sl.84).



Slika 85.

Laserski snop nailazi na neravnine pod pravim kutom i reflektira se. Na mjestu udubljenja reflektirani val interferira sa nadolazecim valom i poništava se tako da na fotodiodu dolazi znatno smanjenog intenziteta (sl.85).

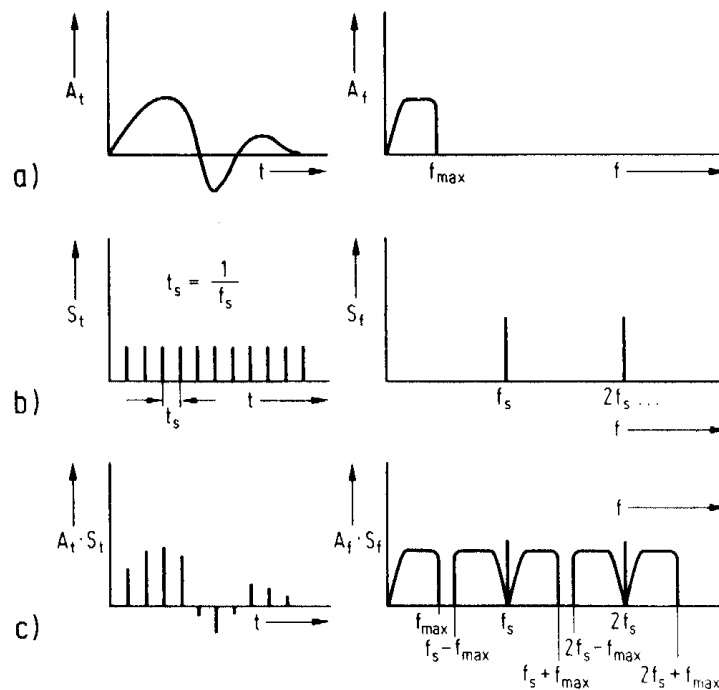
Na izbočenom dijelu interferencija pojačava nadolazeci val pa na diodu odlazi znatno jaci intenzitet svijetlosti.

Tako reflektirani signal odlazi na daljnju obradu.

## 9. Analogno-digitalna pretvorba

U svekolikoj digitalizaciji naše svakodnevnice pogledajmo koja se pitanja i problemi javljaju kada želimo digitalizirati neki analogni signal.

*Pojednostavljeno receno to se izvodi tako da se analogni signal u ekvidistantnim tj.medusobno jednakim razmacima mjeri uzimanjem uzoraka (sl.86).*



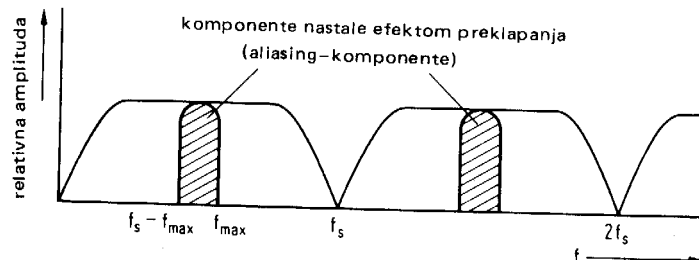
Slika 86.

Uzimanje uzoraka ili *sampling* vrši se na temelju tzv Shanonovog teorema uzorkovanja.

On kazuje dvije stvari:

- Frekvencija uzimanja uzoraka  $f_s$  mora biti najmanje dva puta veća od gornje frekvencije  $f_g$  uzorkovanog signala.  
tj.  $f_s \geq 2f_g$
- u uzorkovanom signalu ne smije se pojaviti viša frekvencija nego što je polovica frekvencije uzorkovanja, što je direktna posledica prethodnoga zahtjeva  
tj.  $f_g \leq f_s/2$ .

Ukoliko ovaj zahtjev nije ispunjen dolazi do tzv. *preklapanja* ili *aliasinga*(sl.87).



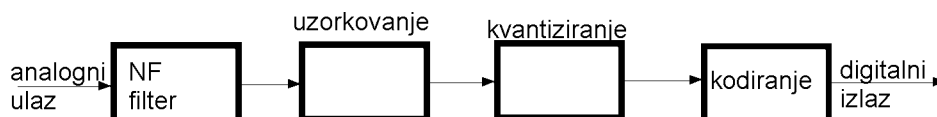
Slika 87.

Ta pojava dovodi do stvaranja novih – nepostojecih komponenti signala, dakle do smetnji u prijenosu.

Da bi se to spriječilo na ulaz sklopa za uzorkovanje postavlja se NF filter koji guši frekvencije veće od granicne i do 100 db.

Uzorkovanje po teoremu Shanona osigurava pespriječornu rekonstrukciju signala na prijemnoj strani pomocu NF filtera sa istom granicnom freklvencijom  $f_g$ .

A/D pretvorba vrši se u koracima kako je prikazano na slici 88.



Slika 88.

Ulazni filter može biti LC, aktivni ili digitalni.

### 9.1. Sklop za uzorkovanje i zadržavanje

Ovaj sklop periodički uzima uzorke i pohranjuje ih u clanu za zadržavanje, zbog slijedeceg postupka tj.kodiranja za cije obavljanje je potrebno neko vrijeme (sl.89).



Slika 89.

Frekvencije uzorkovanja su standardizirane, npr. snimanje audio signala na videorekorderu iznosi 44,1 kHz, jer se prenosi područje do  $f_{max} = 20$  kHz.

## 9.2. Kvantiziranje

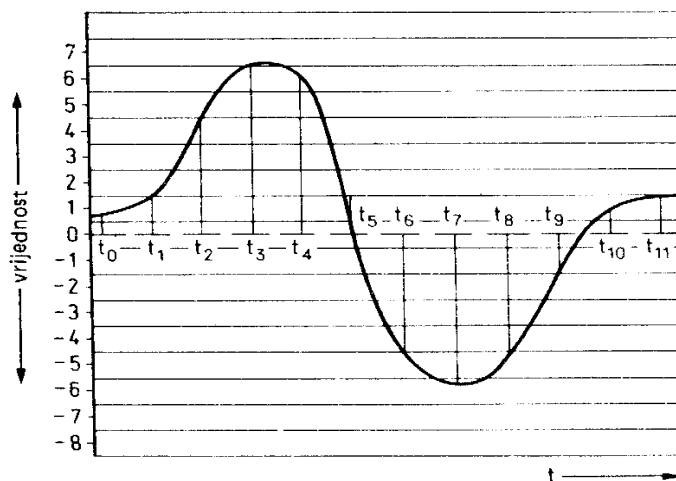
Nakon uzorkovanja dobili smo PAM, te je sad potrebno signal tj. uzorke signala kvantizirati. Kvantiziranje predstavlja prvi korak u digitalnoj obradi amplitude.

Pojedinim uzorcima moramo dodijeliti fiksne vrijednosti koje su im približne.

Idealno bi bilo kada bismo imali na raspolaganju beskonacno mnogo vrijednosti kvantiziranja. Pošto to nije slučaj, moramo ih svesti na konačan broj.

Pri tome se prenosi srednja vrijednost stupnja u kojem se nalazi točna vrijednost uzorka, a ne vrijednost konkretnog uzorka (sl.90).

Opcenito broj diskretnih stupnjeva iznosi  $2^n$ .



Slika 90.

### 9.3. Kodiranje

U procesu kodiranja koristi se dvokomplementni kod.

7	0111	-1	1111
6	0110	-2	1110
5	1001	-3	1101
4	0100	-4	1100
3	0011	-5	1011
2	0010	-6	1010
1	0001	-7	1001
0	0000		

Negativan broj dobije se komplementiranjem :

$$\begin{array}{r}
 1 \dots 0001 \\
 \downarrow \\
 1110 \\
 + 1 \text{ tj.} \\
 \hline
 -1 \dots 1111
 \end{array}$$

Iz ovoga proizlazi slijedeca tablica:

trenutak uzorkovanja	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>	t <sub>11</sub>
vrijednost	1	2	5	7	6	0	-5	-6	-5	-2	1	1
4-bitovni kod (dvokomplementni)	0001	0010	0101	0111	0110	0000	1011	1010	1011	1110	0001	0001

Ovo je bio primjer kodiranja kvantiziranog signala. U praksi kodni sustavi imaju 14 ili 16 bitova.

Ovakvo kodiranje, kojim se iz PAM dobiva PCM, naziva se izvorno kodiranje.

Jasno je da dodijeljena ili kvantizirana amplituda ne odgovara stvarnoj, tj. postoji pogreška kvantiziranja i ona je to manja što je veci broj razina kvantiziranja, odnosno što je duža kodna rijec.

Interval kvantiziranja oznacava se sa Q



Slika 91.

Pogreška kvantiziranja može biti maksimalno  $Q/2$ , a prilikom reprodukcije cuje se kao bijeli šum, pa se stoga naziva šum kvantiziranja (sl.91).

$S/N = 6,02 \cdot n + 1,76$  (db) , gdje je  $n$  – broj bitova kvantiziranja

#### 9.4. Kompresija

Kada izvršimo digitalizaciju analognog signala čiji je raspon u cujnom području od 20 Hz do 20 KHz (neko kaže od 16 Hz do 16 KHz, što bitno ne mijenja na stvari), dobili smo veliku količinu informacija predstavljenih u izvornom kodu (PCM), koja se može ovako prezentirati:

U jednoj sekundi uzeti ćemo 44100 uzoraka i u A/D konvertoru i uz pomoć 16 bita po uzorku stereo (2 – kanalnog) zapisa sljedeće: 44100 (uzoraka) x 2 (bajta) x 60 (sekundi) x 2 (kanala) = 10,5 MB podataka za minutu trajanja analognog signala, s kojima trebamo baratati, bilo da ćemo ih pohraniti ili na neki drugi način obraditi.

Na audio CD-u čiji je kapacitet 750 MB, to znači nešto manje od 75 minuta glazbe.

Budući da je digitalni zapis upotrebljiv za razne vrste obrade, pa i kompresije razmotriti ćemo osnovne principe kompresije podataka nastalih iz audio signala, poznatih kao MPEG standard (kratice MP-3). Razlozi zbog kojih se pribjegava kompresiji su jasni. To je prije svega ušteda na memorijskom prostoru, manipulacija manjim brojem podataka koja omogućava D/A konverziju u realnom vremenu i konačno nesagledive mogućnosti primjene u multimediji (internet).

MPEG postupci spadaju u algoritme za kompresiju s gubitkom, koji se baziraju na percepciji, tj. doživljaju zvuka.

Glavnu ulogu u tome ima psihoakustika kao znanstvena disciplina koja se bavi proučavanjem zvuka sa stanovišta prilagodbe sluha na

djelovanje više zvucnih komponenata razlicitih amplituda i frekvencija unutar određenih vremenskih intervala.

Jednostavno receno postoje odredena pravila, koja omogucavaju znatne uštede u pogledu redukcije određenih zvucnih komponenti koje nemaju presudan utjecaj na doživljaj zvuka.

Tihi zvuk u blizini mnogo glasnijeg zvuka jednostavno necemo primjetiti, pa na njega ne trebamo trošiti dragocjene bajtove.

Koncept koji koristi ovaj fenomen naziva se **maskiranje**.

Npr. kada u zvucnoj slici imamo ton od 1000 Hz i ton od 1100 Hz, ali 18 dB tiši, ovaj drugi necemo cuti.

Kada bi drugi ton bio na 2000 Hz i 18 dB tiši ne bismo ga smjeli zanemariti, on bi tada trebao biti tiši cak 40 dB kako ga ne bismo culi.

Kažemo da ce prvi ton maskirati drugi ton.

To prakticno znaci da si u nekoj dovoljno maloj blizini maskirajućeg tona možemo dozvoliti veci šum kvantiziranja, tj. manji broj bitova uzorkovanja.

Postupak maskiranja ne može se jednako uspješno provoditi u citavom podrucju cujnosti.

Stoga se citav cujni opseg dijeli na 32 podpodrucja ili pojaseve.

Širina pojasa nije ista. Na nižim frekvencijama ona je manja, a na višim se povećava.

Prvi pojas (50 – 95 Hz) obuhvaca širinu od 45 Hz, dok je zadnji širok cak 5000 Hz.

Primjer:

U 8. pojasu nalazi se ton frekvencije 1000 Hz i 60 dB. MPEG koder izracunati ce da je prag maskiranja za 8. pojas 35 dB ispod spomenutog zvuka. To znaci da razliku od 25 dB možemo prekriti šumom kvantiziranja koji se ostvaruje korakom kvantiziranja od svega 4 bita (a ne 16).

Drugi aspekt maskiranja je na temelju vremenske bliskosti dvaju zvukova, pa tu razlikujemo:

- premaskiranje i
- postmaskiranje

Premaskiranje je pojava kada neki glasniji zvuk prekriva tiše zvukove i to 2 do 5 milisekundi prije svoga pocetka, do postmaskiranje prekriva slabije zvukove u trajanju od cak 100 milisekundi.

Kod govornih sadržaja stvari su bitno jednostavnije, jer je dovoljno svega jedan ili dva pojasa, pri cemu se uzimaju i pauze između rijeci.

Nakon sažimanja signal se podvrgava tzv. Huffmanovom kodiranju, koje sa samim zvukom nije u vezi već je to čisti matematički postupak, kojim se pomoću manje količine informacija predstavlja sadržaj veće količine informacija.

Upotrebom MP3 koda komprimiranje se vrši u odnosu 10:1, što znači da se za istu količinu informacija upotrijebi 10 puta manje memorijskog prostora.

Naš CD će u MP3 formatu moći primiti umjesto 75 minuta, 750 minuta glazbe. Prava fonoteka.

## 9.5. A/D konvertor

Kvaliteta A/D i D/A konvertora imaju presudnu ulogu na kvalitetu cijavog audio sustava. Pretvorba je zahtjevan postupak koji podrazumjeva visoku kvalitetu i točnost komponenti koje sudjeluju.

Frekvencija uzorkovanja audio signala koja iznosi 44,1 KHz, podrazumjeva da se svake 22  $\mu$ s javlja po jedan uzorak, tako da se u tom vremenu mora obaviti pretvorba PAM signala u 16 bitovnu kodnu riječ, što znači da moramo imati dovoljno brzu obradu, a interne takt frekvencije moraju biti dovoljno visoke.

Ili drugi primjer.

Jednostavan račun pokazuje da konvertor koji radi sa 16 bitnom kodnom riječi i ulaznim naponskim područjem od 5V mora razlikovati napon od 305  $\mu$ V.

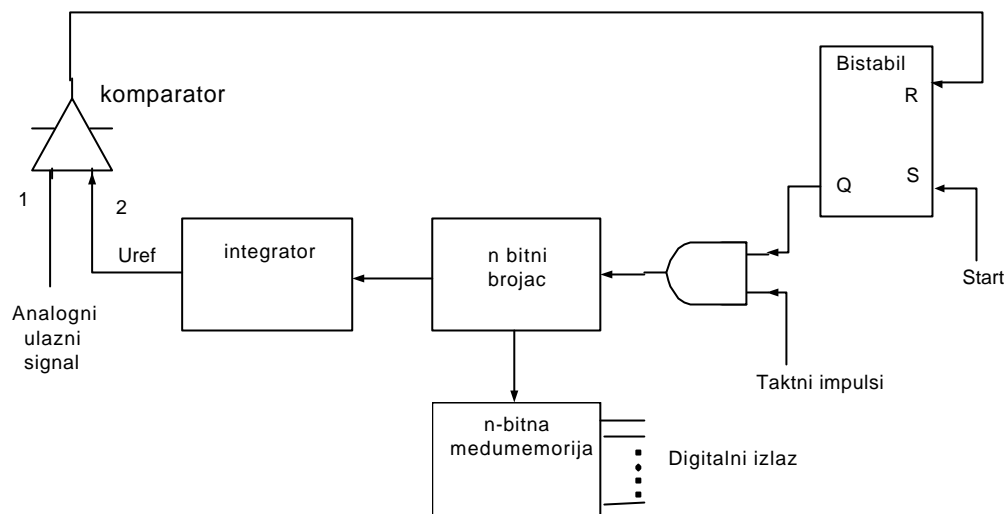
Razlikujemo tri osnovne vrste A/D konvertora:

- paralelni A/D konvertori
- Integrirajući konvertori
- Konvertori sa sukcesivnom aproksimacijom

### 9.5.1. Paralelni A/D konvertori

Pogodni su za brzu pretvorbu, ali su zahtjevi na sklopove vrlo veliki jer se podrazumjeva postojanje toliko naponskih razina - pragova koliko ima i kvantizirajućih intervala. Zato ova metoda nema svoju praktičnu primjenu u audio - tehnici.

## 9.5.2. Integrirajući konvertori



Slika 92.

Sadrži slijedeće sklopove (sl.92):

- komparator – koji je ustvari operacijsko pojačalo koje pojačava signal sa dva svoja ulaza, a na izlazu daje odgovarajući pozitivan ili negativan signal, ovisno da li je veći ulazni ili referentni signal. Analogni signal dovodi se na ulaz 1 komparatora.
- integrator – vrši D/A pretvorbu u cilju dobivanja analognog referentnog signala.
- Brojac broji taktne impulse koje dobiva preko I sklopa.
- Medumemorija – posmacni registar – prikuplja bitove iz brojaca, formirajući n-bitnu kombinaciju.
- RS bistabil daje nalog za start

Kratki opis rada:

Neposredno prije početka A/D konverzije, brojilo i bistabil su u stanju nula.

Na ulazu 2 komparatora stoga je također nula, a na njegovom izlazu je također nula.

Zbog istog razloga taktni impulsi ne mogu proći kroz I sklop.

Postavljanjem bistabila u stanje 1 koje se vrši startnim impulsom, znak je za početak konverzije.

Taktni impulsi prolaze kroz I sklop i pune brojilo. Na ulaz 2 komparatora dolazi sve veći napon kao posljedica rada integratora i to sve dok ovaj napon ne prijeđe vrijednost napona na ulazu 1. U tom trenutku komparator naglo mijenja stanje na izlazu dovodeći bistabilu logičku jedinicu.

Uslijed toga bistabil svoj izlaz postavlja na nulu i na taj nacin sprijecava daljnji prolazak taktnih impulsa na brojac. Brojac se resetira i svoje stanje predaje posmacnom registru.

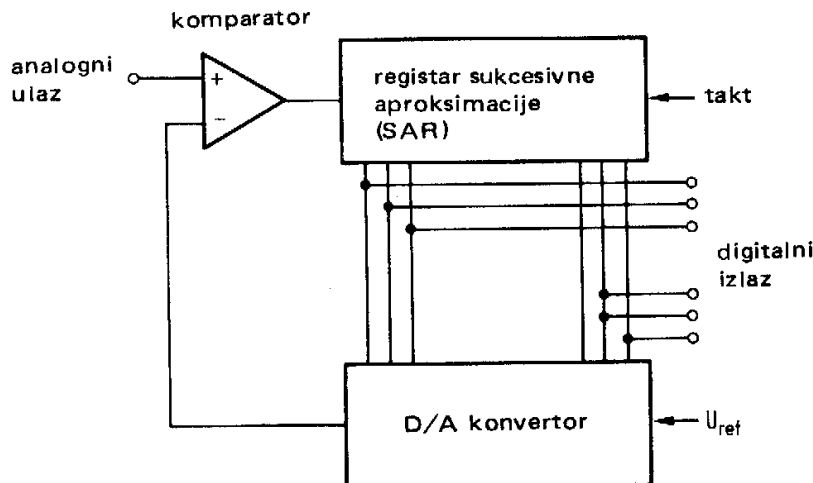
Zakljucujemo da je velicina zapisa u brojilu adekvatna iznosu napona dovedenog na ulaz 1 komparatora, s tim da je zapisana u digitalnom obliku.

Ovo je nešto brži tip konvertora, ali još nedovoljno brz za upotrebu u audio tehnici.

### 9.5.3. Konvertori sa sukcesivnom aproksimacijom

Ovo je brzi A/D konvertor, koji se više primjenjuje u audio tehnici. Sadrži slijedece sklopove (sl.93):

- Registar sukcesivne aproksimacije (uzastopne usporedbe), koji registrira i u pripadajucu memoriju bilježi svaki rezultat usporedbe analognog signala kojeg digitaliziramo i referentnog signala..
- D/A konverter (integrator) koji generira referentni signal.
- Komparator – operacijsko pojačalo, koji uspoređuje referentni signal sa analognim signalom i na svojem izlazu daje odgovarajucu razinu kojoj se upravlja SAR-om (Sukcesivno Aproksimacijski Registrom).



Slika 93.

Kratak opis rada:

Izlazni napon D/A konvertora se nastoji sukcesivno (u slijedu) i skokovito približiti ulaznom analognom naponu s kojim se uspoređuje.

U prvom koraku logicki sklop postavi izlazni napon D/A konvertora točno na polovicu predviđenog dinamičkog područja.

Ukoliko je analogni ulazni napon veći od te vrijednosti, logički sklop opet skokovito poveća izlazni napon

internog D/A konvertora, a bit s najvećom težinskom vrijednošću izlaznog digitalnog signala dobiva vrijednost «1».

Pretpostavimo da je u drugom koraku vrijednost analognog signala manja od pretpostavljene vrijednosti. U izlazni digitalni signal se kao druga znamenka upisuje «0». Postupak teče dalje u onoliko koraka koliko je bitova predviđeno za pojedini uzorak

Na izlazu registra se može očitati kodna riječ koja vjerodostojno opisuje vrijednost ulaznog signala.

## **S A D R Ź A J:**

<b>1. OSNOVNI POJMOVI O ZVUKU.....</b>	<b>2</b>
1.1. Karakteristicne velicine zvuka .....	2
1.2. Spektar zvuka .....	3
1.3. Pojave prilikom širenja zvuka .....	6
1.4. Grada uha i slušni proces .....	9
1.5. Akustika prostorije .....	12
1.5.1. Utjecaj stojnih valova.....	13
<b>2. ELEKTROAKUSTICKI PRETVARACI .....</b>	<b>13</b>
2.1. Mikrofon .....	13
2.1.1. Karakteristike mikrofona .....	13
2.1.2. Vrste mikrofona .....	18
2.1.2.1. Prema nacinu akusticko - elektricne pretvorbe.....	18
2.1.2.2. Akusticka podjela .....	18
2.1.2.3. Elektricka podjela .....	19
2.2. Zvucnik.....	22
2.2.1. Karakteristicne osobine zvucnika .....	22
2.2.2. Elektrodinamicki zvucnik.....	25
2.2.3. Zvucnicki zastori .....	27
<b>3. FILTERI .....</b>	<b>29</b>
3.1. Zvucnicke kombinacije .....	33
<b>4. TONSKI STOL.....</b>	<b>35</b>
4.1. Filterske kombinacije u sastavu tonskog stola .....	36
4.2. Uredaji za odjek .....	38
4.3. Opticki indikatori .....	42
<b>5. ZVUCNA DINAMIKA.....</b>	<b>44</b>
5.1. Dinamika uredaja .....	44
<b>6. STEREOFONIJA .....</b>	<b>48</b>
6.1. Stereosustavi .....	49

6.1.1. Dvokanalna ili AB stereofonija .....	49
6.1.2. MS postupak .....	49
6.1.3. XY- postupak .....	51
6.2. Kvadronija.....	52
<b>7. UREĐAJI ZA MAGNETSKO SNIMANJE .....</b>	<b>53</b>
7.1. Magnetska glava.....	53
7.3. Brisanje .....	55
7.4. Dinamicka karakteristika.....	56
7.5. Snimanje .....	56
7.6. Korekcijske karakteristike .....	58
7.7. Smetnje i izoblicenja .....	60
<b>8. KOMPAKT DISK (CD).....</b>	<b>62</b>
8.1. Opcenito o CD-u.....	62
8.2. Vrste CD-a .....	62
8.3. CD pisac (CD-R).....	63
8.4. CD citac .....	65
<b>9. ANALOGNO-DIGITALNA PRETVORBA.....</b>	<b>68</b>
9.1. Sklop za uzorkovanje i zadržavanje .....	69
9.2. Kvantiziranje .....	70
9.3. Kodiranje .....	71
9.5. A/D konvertor.....	74
9.5.1. Paralelni A/D konvertori .....	74
9.5.2. Integrirajuci konvertori.....	75
9.5.3. Konvertori sa sukcesivnom aproksimacijom.....	76

Literatura:

1. I.Knežević: Audiotehnika i televizijska tehnika.Uvod., Zagreb, 1999.
2. Thomsen:Digitalna audiotehnika, Zagreb 1987
3. K.Lukic: Tonska tehnika, Zagreb 1986