

# MIKROFONI

Mikrofoni su elektroakustički pretvarači koji akustičku energiju posredstvom mehaničkih sistema pretvaraju u električnu.

Zvučna informacija postoji kao niz promjenjivih zvučnih tlakova. Mikrofon pretvaraju ovaj niz promjena zvučnih tlakova u napon.

Korisnik mikrofona zainteresiran je za točnost ove pretvorbe; ovaj koncept korisnik naziva - vjernost.

Postoji čitav niz pristupa koji se pri tome mogu iskoristiti.

Mikrofoni se mogu podijeliti prema

- električnom principu pretvorbe energije
- ili prema akustičkoj podijeli.

Obzirom na akustiku, mikrofone dijelimo ovisno o tome da li akustički tlak djeluje na membranu samo s jedne ili s obje strane na

- tlačne
- gradijente

Ovisno o mehaničko-električnom sustavu po kojem pretvaraju mehaničke vibracije u audio napon mikrofone dijelimo na:

- elektrodinamičke
- kondenzatorske

Prema tome mikrofoni bilo kojeg tipa s obzirom na sustav pretvorbe može se izvesti kao tlačni ili gradijentni mikrofoni. Nadalje elektro-dinamički mikrofoni se dijele na

- mikrofoni s trakom
- mikrofoni s titrajnom zavojnicom

Kondenzatorski mikrofoni mogu biti

- pravi kondenzatori ili
- elektret

# Podjela mikrofona po akustičkom tlaku

Općenito se tlačni pretvarač odziva se na promjene tlaka na jednoj strani membrane.

Koristimo pojam kružne karakteristike kako bi opisali krivulju usmjerenosti tlačnog mikrofona.

Teoretski je osjetljivost mikrofona jednaka bez obzira na kut upada zvučnih zraka. Jednadžba kojom opisujemo ovu krivulju je

$$s = 1$$

gdje je  $s$  osjetljivost.

Gradijentni mikrofon odziva se na razliku tlakova među dvije strane membrane. Rezultirajuća krivulja usmjerenosti opisuje se kao bidirekcionalna ili osmičasta karakteristika. Opisana je jednadžbom:

$$s = \cos(\theta)$$

gdje je  $s$  osjetljivost pretvarača, a  $\theta$  je kut upadnih zvučnih zraka, gdje 0 označava zvuk direktno ispred membrane. Važno je uočiti kako se može dogoditi da će pozitivni upadni tlak u ovisnosti o kutu upada dati negativni napon.

# Tlačni mikrofon

Membrana tlačnog mikrofona ugrađena je u kućište tako da zvučni tlak djeluje na nju samo s jedne strane.

Tlak koji s vanjske strane djeluje na mikrofon sastavljen je od atmosferskog tlaka  $p_0$  i tlaka zvučnih komponenti  $p(t)$ .

Unutar kućišta mikrofona vlada tlak  $p_0$  jer je na kućištu rupica koja spaja unutrašnjost mikrofona i vanjski prostor. Na membranu onda djeluje samo zvučni tlak  $p(t)$  silom jednakom umnošku zvučnog tlaka  $p(t)$  i površine membrane  $S$ .

$$F = S p(t) = S p_m \cos \omega t$$

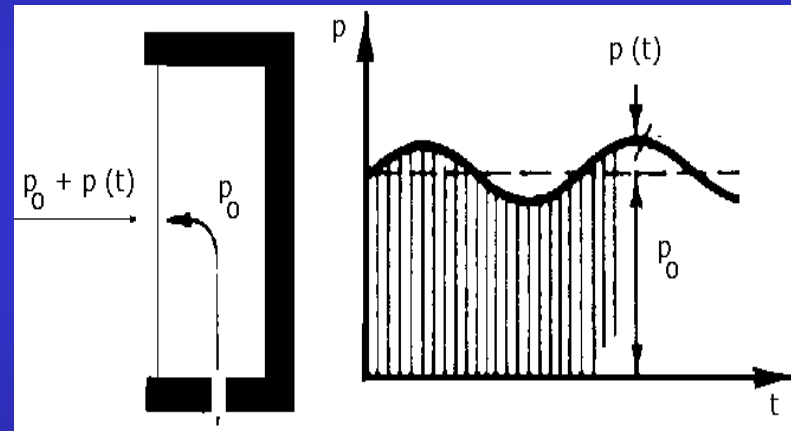
Membrana mikrofona je mehanički titrajni sustav s jednim stupnjem slobode.

Ako je masa membrane  $m_m$ , otpor trenja  $R_m$  i elastičnost membrane  $C_m$  diferencijalna jednadžba gibanja membrane:

$$m_m x'' + R_m x' + (1/C_m) x = S p_m \cos \omega t$$

imat će rješenje pri čemu će najveća amplituda pomaka nastupiti pri rezonancijskoj frekvenciji sustava:

$$f_r = (1/2 \pi) (1/m_m C_m)^{1/2}$$



Promatraju li se amplitude pomaka u ovisnosti o frekvenciji mogu se razlikovati tri područja. To su područje ispod i iznad rezonantne frekvencije, te područje u okolišu rezonantne frekvencije. U svakom području prevladava samo jedna sila koja se prema diferencijalnoj jednadžbi suprotstavlja vanjskoj sili  $F$ .

U području iznad rezonantne frekvencije vanjska se sila troši na savladavanje inercije, u području rezonantne frekvencije na savladavanje trenja, a u području ispod rezonantne frekvencije na savladavanje sila uslijed elastičnosti sustava.

Zbog toga je u tlačnim mikrofonima, tj. mikrofonima kojima je izlazni napon razmjeran elongaciji - kondenzatorski mikrofon, izlazni napon je konstantan u prenošenom frekvencijskom području ispod rezonancijske frekvencije sustava.

Kod mikrofona kojima je izlazni napon proporcionalan titrajnoj brzini (elektrodinamički mikrofoni), titrajna brzina i zvučni tlak neovisni su o frekvenciji u području oko rezonantne frekvencije, ako je sustav jako prigušen.

Rezonantna frekvencija ovih mikrofona mora se nalaziti u sredini prenošenog područja.

Budući da je sila kojom zvučni tlak djeluje na površinu membrane tlačnog mikrofona neovisna o kutu upadnih zraka, karakteristika usmjerenosti tlačnog mikrofona je kružnica.

# Gradijentni mikrofon

Kućište gradijentnih mikrofona omogućava djelovanje tlaka s obje strane membrane. Na prednju stranu djeluje tlak  $p_1$ , a na stražnju tlak  $p_2$ . Zbog različite duljine puteva između ovih tlakova dolazi do fazne razlike.

Označimo li s  $d$  razliku između duljina putova zvučnih valova od izvora do prednje strane i do stražnje strane membrane, može se fazna razlika naći iz odnosa

$$\begin{aligned} d/\lambda &= \psi / 2\pi \\ \psi &= 2\pi d/\lambda \end{aligned}$$

stavimo li za:

$$2\pi/\lambda = \omega / c = k$$

dobije se da je:

$$\psi = k d$$

na membranu onda djeluje sila:

$$F = S (p_1 - p_2) = S p_m [\cos \omega t - \cos (\omega t - kd)]$$

Ta sila proporcionalna je promjeni tlaka po jedinici duljine, tj. gradijentu tlaka, pa odatle i naziv mikrofona.

Ako je  $d \ll \lambda$  dobije se:

$$F = -S p_m (\omega / c) (\sin \omega t)$$

Sila je uz stalni tlak proporcionalna faktoru

$$k = \omega / c$$

dakle kružnoj frekvenciji  $\omega$ .

Diferencijalna jednadžba gibanja gradijentnog mikrofona je:

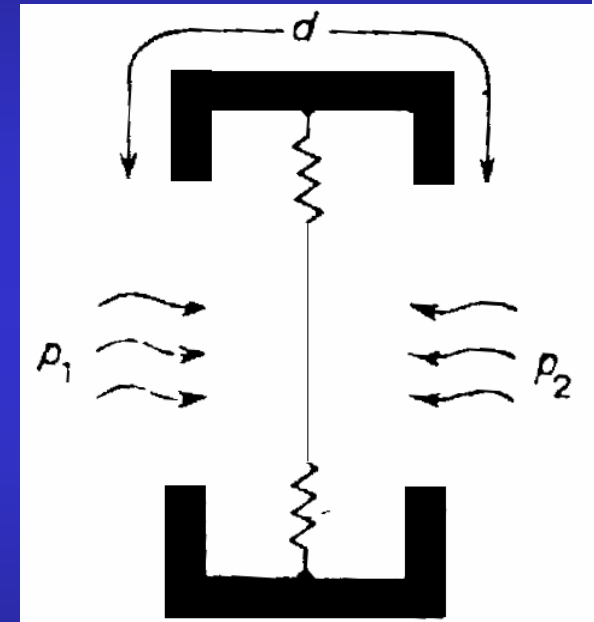
$$m x'' + Rm x' + (1/C_m) x = C p_m \omega \sin \omega t$$

gdje je 20.4.2008

O.Bilan ELEKTROAKUSTIKA

5

$$C = S d / c$$



I u ovom slučaju postoje tri radna područja, iznad, ispod i u okolišu radne frekvencije u kojima prevladavaju različite unutrašnje sile.

Može se pokazati kako je u području iznad rezonancije brzina titranja neovisna o frekvenciji i proporcionalna zvučnom tlaku.

U području rezonancije, pomak je neovisan o frekvenciji i proporcionalan zvučnom tlaku.

Za područja iznad rezonancije kao gradijentni mikrofoni mogu se upotrebiti mikrofoni kojima je napon proporcionalan brzini titranja, s tim da im je rezonancija ispod radnog područja.

Za područje oko rezonancije mogu se upotrebiti mikrofoni kojima je napon proporcionalan pomaku - kondenzatorski mikrofoni.

Karakteristika usmjerenosti gradijentnog mikrofona ima oblik osmice.

Najveća osjetljivost je pri okomitom upadu zvučnog tlaka, dok je pri bočnom upadu, osjetljivost jednaka 0.

Za područje oko rezonancije mogu se upotrebiti mikrofoni kojima je napon proporcionalan pomaku - kondenzatorski mikrofoni.

Karakteristika usmjerenosti gradijentnog mikrofona ima oblik osmice.

Najveća osjetljivost je pri okomitom upadu zvučnog tlaka, dok je pri bočnom upadu, osjetljivost jednaka 0.

# Kardioida

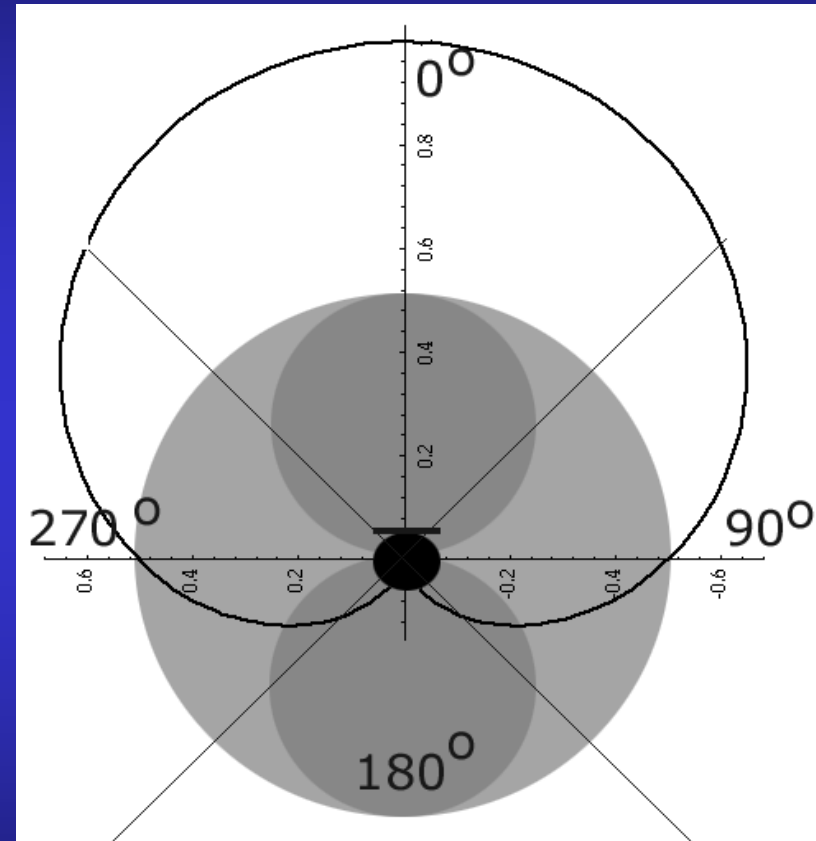
Kombinacija tlačnog i gradijentnog mikrofona ima karakteristiku usmjerenosti u obliku bubrega ili kardioidu.

Uz pretpostavku da oba mikrofona imaju za isti zvučni tlak isti izlazni napon, serijska suma napona tlačnog i gradijentnog mikrofona je:

$$e_1 + e_2 = e_1 + e_2 \cos \varphi = e_1 (1 + \cos \varphi)$$

Karakteristika usmjerenosti - kardioida, može se dobiti i sumom radijus vektora svake točke na kružnoj i osmičastoj karakteristici.

U gornjem dijelu krivulja je suma signala u fazi, a u donjem dijelu razlika signala, zbog protufaze u donjem dijelu osmičaste karakteristike.

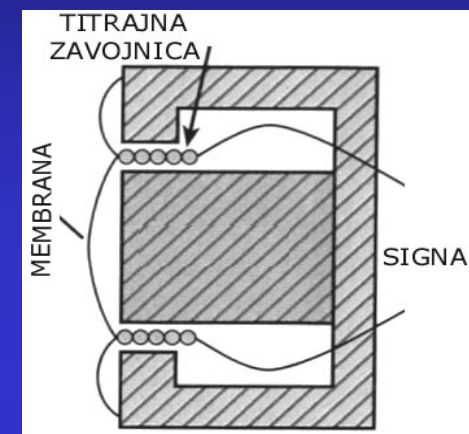


# Mikrofoni po električnoj podijeli

## Dinamički mikrofon titrajnom zavojnicom

Dinamički mikrofon sastoji se od vrlo tanke membrane elastično ovješene o kućište, titrajne zavojnice i stalnog magneta. Zvučni valovi uzrokuju kretanje membrane i titrajne zavojnice u magnetskom polju.

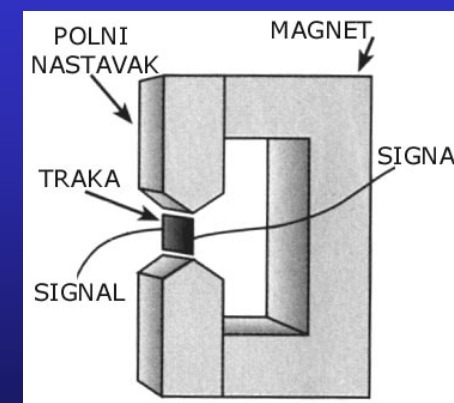
Struja koju daje titrajna zavojnica određena je brzinom gibanja pa se ovaj tip mikrofona zove mikrofoni osjetljivi na brzinu. Mikrofoni s titrajnim zavojnicom su najrašireniji mikrofoni.



## Dinamički mikrofon s trakom

Dinamički mikrofon s trakom je također, elektrodinamički mikrofon, ali je različite izvedbe od onog s titrajnom zavojnicom.

Između polnih nastavaka stalnog magneta nalazi se valovito savijena metalna traka, koja pri nailasku vala titra u ritmu titrajne brzine čestica





# Kondenzatorski mikrofoni

Osim za studijska snimanja kondenzatorski mikrofoni namijenjeni su u prvom redu za precizna laboratorijska i terenska mjerenja zvučnog tlaka. Područje primjene pokriva u cijelosti čujne frekvencije pa i više od toga, i zvučne tlakove od 10 do 190 dB. Međutim, njihova najbolja osobina je iznimno dugotrajna stabilnost u širokom rasponu okolinskih uvjeta, a posebno skoro potpuna neosjetljivost na temperaturne promjene i uvjete okoline.

Dakle pri terenskim mjerenjima s kalibriranim mikrofonom moguće je postići laboratorijsku točnost.

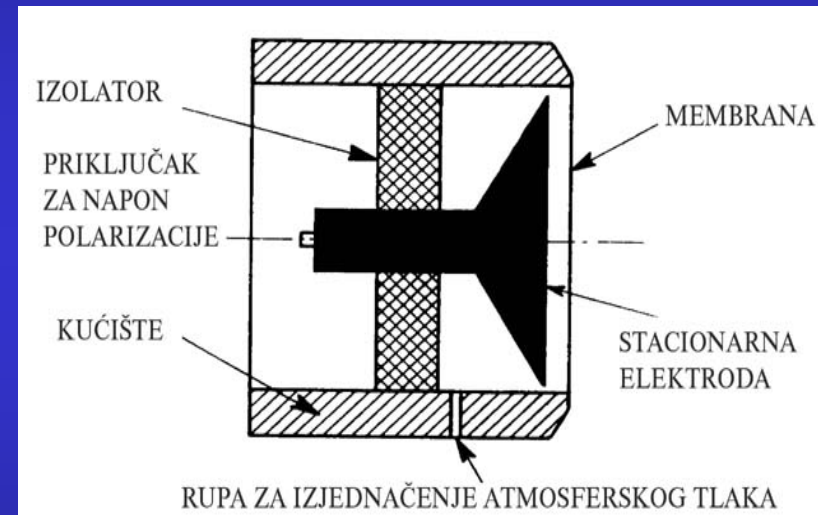
## Princip rada kondenzatorskog mikrofona

Kondenzatorski mikrofoni, kao što mu ime govori, sastoji se od kondenzatora čije su elektrode tanka metalna membrana, montirana u neposrednoj blizini krute elektrode.

Membrana i stražnja elektroda su međusobno električki izolirane i tvore elektrode kondenzatora. Kućište i izolator tvore s membranom potpuno zatvorenu kutiju, koja samo preko membrane prima vrlo spore promjene ambijentalnog tlaka.

20.4.2008

O.Bilan ELEKTROAKUSTIKA

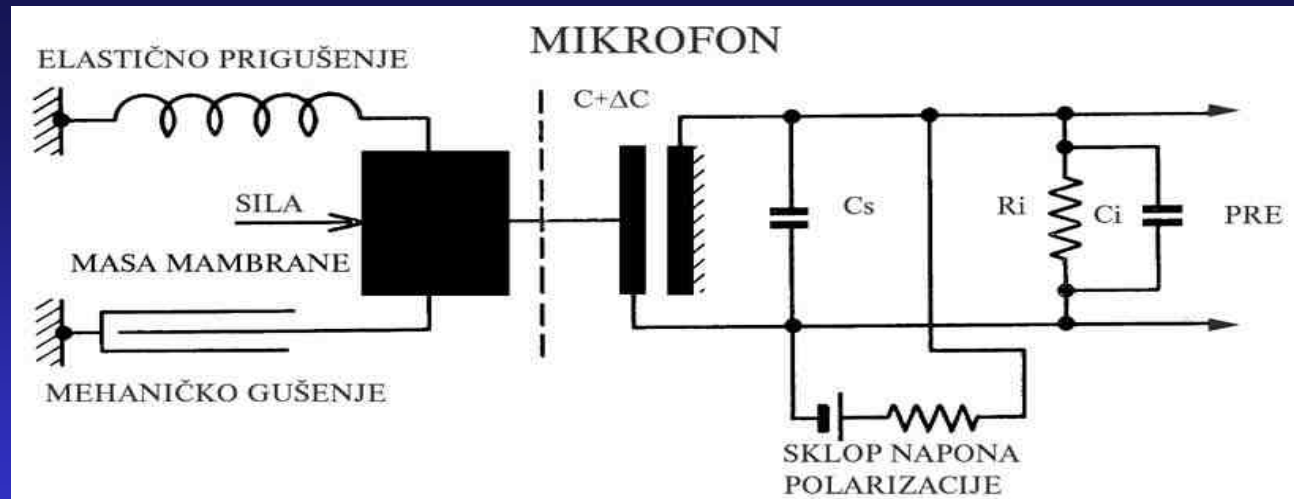


Ako se membrana izloži promjenjivom zvučnom tlaku, na membranu će djelovati promjenjiva sila promjenjiva smjera proporcionalna tlaku i površini membrane.

Pomak membrane mijenja kapacitet kondenzatora, i te promjene se pretvaraju u promjenjivi napon ako je između elektroda konstantan naboj. Ovaj naboj stvara stabilizirani istosmjerni polarizacijski napon, kojeg daje poseban posebno konstruirani ispravljač ili baterija. Naboj ostaje konstantan sve dok je vremenska konstanta nabijanja sklopa mnogo duža od vremena promjene frekvencijske pobude zvučnog tlaka.

Posebnim postupkom pri projektiranju moguće je zadržati proporcionalnost izmjeničnog izlaznog napona i primijenjenog zvučnog tlaka u vrlo širokom frekvencijskom području i dinamičkom području. Najšire frekvencijsko područje za odziv pri pobudi tlakom postiže se ako se rezonancija mehaničkog sustava membrane kritično priguši.

Uzrok prigušenju je tlačenje zraka u prostoru između membrane i stražnje elektrode, određeno je oblikom stražnje elektrode, mehaničkoj napetosti membrane, obliku membrane i udaljenosti membrane i stražnje ploče.



Donja granična frekvencija kondenzatorskog mikrofona određena je vremenskom konstantom električnog sklopa mikrofona. Uvidom u shemu spoja odrezna frekvencija jednaka je:

$$f = 1 / 2 \pi (C + C_s + C_1) [R_1 R_e / (R_1 + R_e)]$$

Budući da je osjetljivost mikrofona jednaka je relativnoj promjeni kapaciteta  $\Delta C / (C + C_s + C_1)$

ukupna paralelna vrijednost kapaciteta treba biti što je moguće manje. Neophodno pretpojačalo zato se uvijek ugrađuje u isto kućište kao i mikrofona. Primjeni li se spojni kabel, njegova vlastita kapacitivnost za nekoliko je redova veličina viša od kapacitivnosti samog mikrofona što proporcionalno podiže gornju graničnu frekvenciju. To je razlog zbog kojeg se primjenjuju katodna slijedila ili rješenja s FET tranzistorima. U takvim situacijama realiziraju se ekstremno visoke vrijednosti  $R_1$  i  $R_e$  kako bi se dobile zadovoljavajuće donje granične frekvencije. Ulazne impedancije sklopova protežu se od 1000 Mohma do 50000 Mohma.

### Elektret mikrofoni

Jedna od varijanti kondenzatorske izvedbe koristi permanentno polarizirani dielektrik. Taj materijal naziva se elektret. Takvi mikrofoni nisu skupi kao kondenzatorski, a mogu se koristiti za potrebe mjerenja s vrlo visokom točnošću.

# Definicija slobodnog polja i odziva tlaka

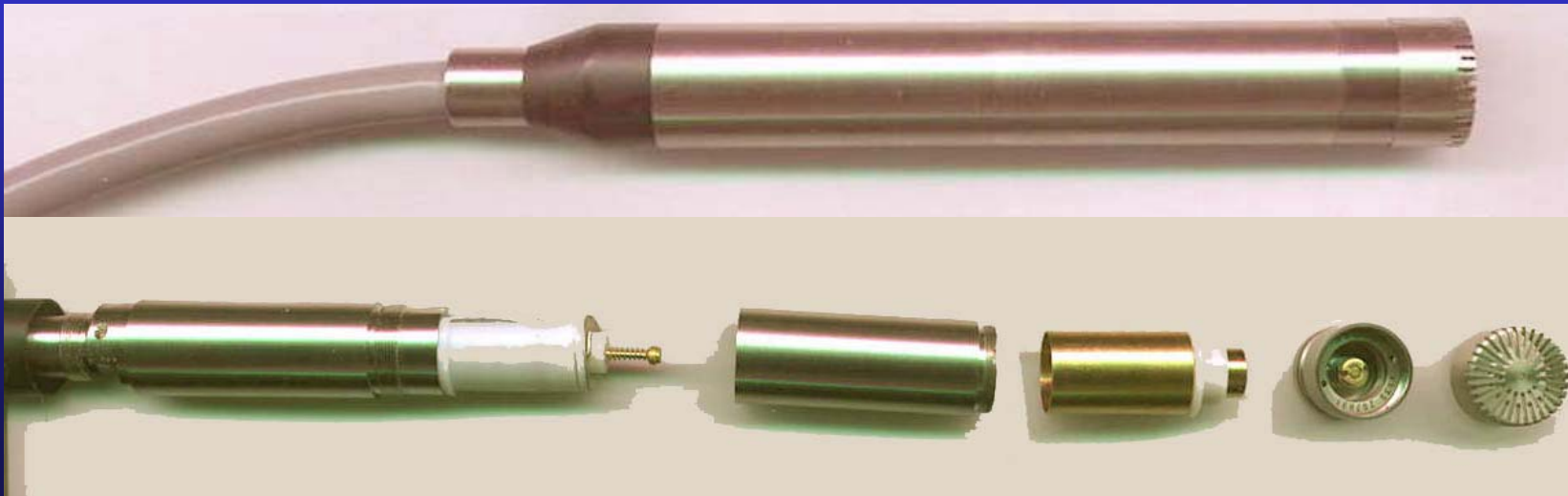
**Odziv u slobodnom zvučnom polju bez refleksija** je omjer efektivnog izlaznog napona i vrijednosti efektivnog zvučnog tlaka na mjestu mikrofona, bez mikrofona u zvučnom polju.

**Odziv tlaka mikrofona je omjer efektivne vrijednosti napona i efektivnog zvučnog tlaka jednoliko primijenjenog na membranu.**

Ove dvije definicije su sukladne ako je **mikrofon zanemarivih dimenzija u odnosu na valnu dužinu** signala pobude. Govorimo li o mikrofону promjera oko 12 milimetara, granična je frekvencija od 2600 Hz kada je razlika u odzivu manja od 0.5 dB.

Na višim frekvencijama, pri mjerenjima vrlo visoke točnosti, dolazi do nezanemarive difrakcije što djeluje na rezultate. Razlika tlakova  $p_1-p_0$  naziva se ispravka slobodnog polja, i ovisi o orijentaciji mikrofona u odnosu na smjer propagacije zvuka i dimenzija mjernog mikrofona.

Da bi kondenzatorski mikrofon uopće mogao pravilno funkcionirati, posebni ispravljački uređaj snabdijeva ga neophodnim naponima za pravilan rad. Ako je pretpojačalo izrađeno u cijevnoj tehnici, ispravljački uređaj pored napajanja pretpojačala i napona polarizacije, snabdijeva uređaj i naponom mrežice i anodnim naponom. Ako je uređaj u poluvodičkoj izvedbi potreban je napon napajanja elektronike i napon polarizacije. Ako je uređaj prijenosne izvedbe danas je uobičajeno napajanje elektronike pretpojačala baterijama, koje se ujedno koriste i za napon polarizacije.



## Tehničke karakteristike

U principu bi mogli kazati kako ne postoji prednost određenog principa rada ili izvedbe mikrofona. Međutim, za najviše studijske potrebe snimanja redovito se koristi kondenzatorska izvedba mikrofona.

Za uobičajenu praksu kondenzatorski mikrofoni zahtjevaju istosmjerni napon napajanja, a dinamički mikrofoni zahtjevaju oklapanje protiv rasipnih magnetskih polja što ih čini vrlo teškim. Najvažniji faktor izbora mikrofona je njegova kvaliteta tona i prilagođenost namjeni.

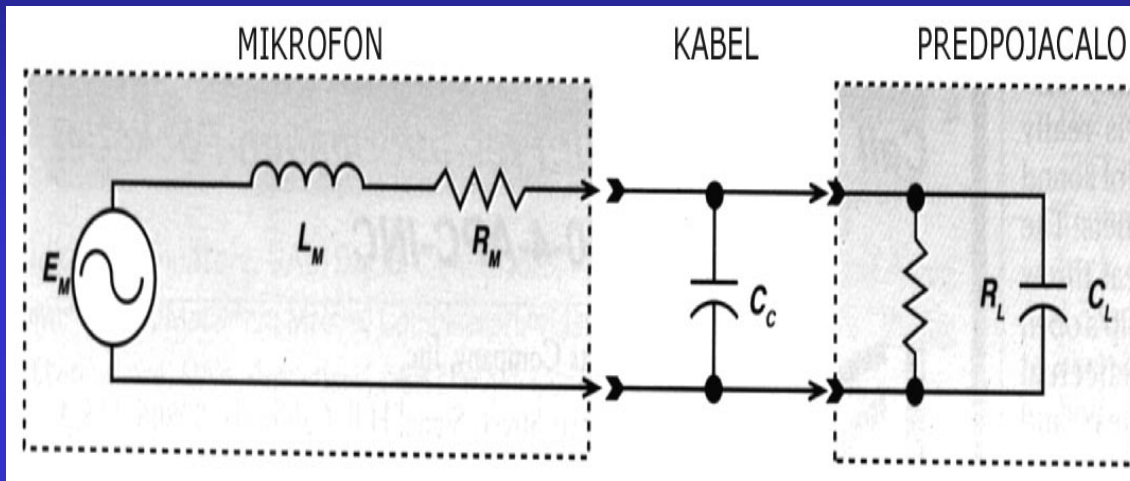
### Osjetljivost

Kvocijent **elektromotorne sile e** na izlaznim priključcima i **zvučnog tlaka p** slobodnog zvučnog polja na mjestu mikrofona

$$S = e / p \quad [\text{mV}/(\text{N}/\text{m}^2)]$$

To je mjera koliki će biti električni izlaz mikrofona pri zadanoj glasnoći. To je vrlo važna specifikacija uspoređujemo li je sa šumom miksera. Ako imamo vrlo neosjetljiv mikrofona, a želimo snimiti tihi instrument, morat ćemo povećati glasnoću na ulaznom mikseru što će dodati šum.

Električni prag šuma, kojeg čujemo kao šum, na ulazu predpojačala je konstantan. Odnos signal šum postaje sve veći što je na ulazu viši napon. Izlazna impedancija mikrofona i ulazna impedancija predpojačala tvore naponski djelitelj. Ulaz predpojačala na niskim frekvencijama =  $EM RL/(RM+RL)$

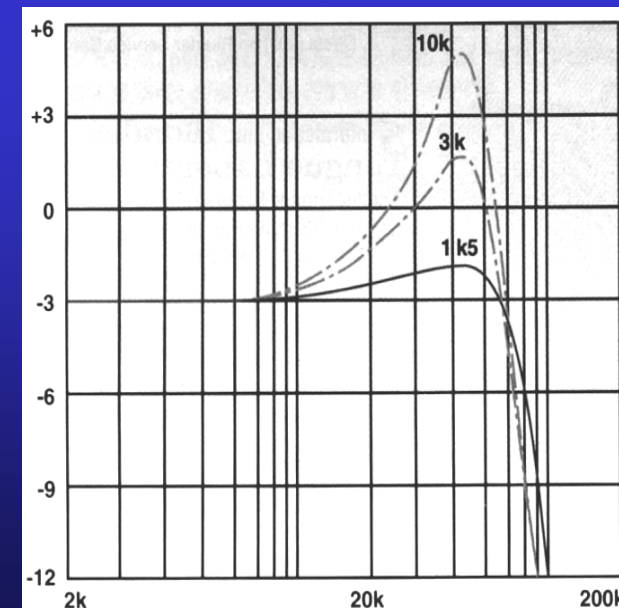
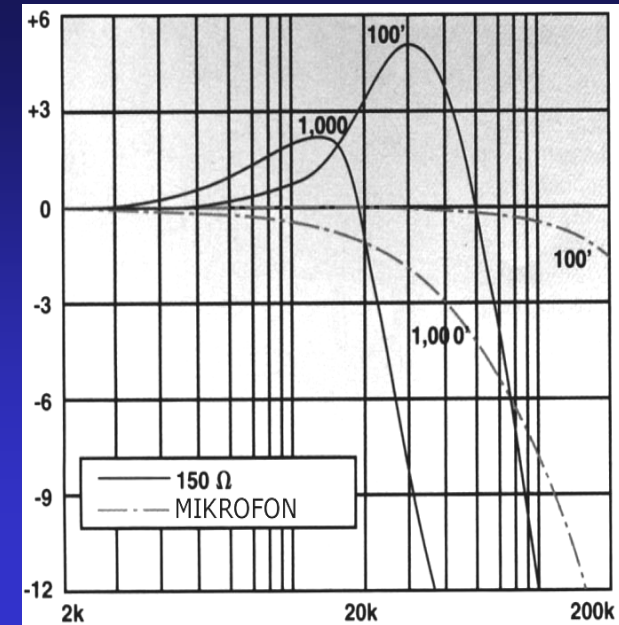


Mikrofoni se ne ponašaju poput omskog otpora. Tome je uzrok induktivitet titrajne zavojnice. U ovisnosti o dužini spojnog kabela, njegove kapacitivnosti i dužine dobit ćemo različite frekvencijske odzive mikrofona.

Krivulje 10kOhm i 3kOhm su tipične vrijednosti za ulaze mikrofonskih predpojačala. Donja krivulja pri 1.5 kOhma je tipična za ulaz predpojačala s ulaznim transformatorom. Sve vrijednosti se odnose na mikrofona s titrajnom zavojnicom. Kondenzatorski mikrofoni manje su osjetljivi na ovaj efekt.

20.4.2008

U.Šijan ELEKTROAKUSTIKA



## Karakteristike u području preopterećenja

Uzrok - visoke razine zvučnog tlaka

Dinamičkom - titrajna zavojnica može doći u područje izvan magnetskog polja,  
kondenzatorskom - interno pojačalo može doći u stanje preuzbude.

## Linearnost i izobličenja

razlika u kakvoći mikrofona: linearnosti i izobličenja. Izobličenja mikrofona ovise isključivo o znanju konstruktora i načinu montaže membrane.

## Frekvencijski odziv

Pravolinijsku horizontalnu frekvencijsku karakteristiku mogu imati samo **kondenzatorski** mikrofoni kad rade kao **tlačni** i ako im se **rezonancijska** frekvencija titrajnog sustava nalazi **iznad** prenošenog područja.

**Elektrodinamički** mikrofoni mogu imati pravolinijsku frekvencijsku karakteristiku samo onda kad rade kao **gradijentni** s **rezonancijom** sustava u području niskih frekvencija, **ispod** područja prijenosa.

# Karakteristika usmjerenosti

Krivulja usmjerenosti gradijentnog mikrofona uvjetovana je odnosima razina tlačne i gradijentne komponente. U praksi se koristi predodređena kombinacija kružne i bidirekcionalne karakteristike u cilju postizanje željene krivulje usmjerenosti. Podaci u tabeli ilustriraju odnos relativnih razina 5 najčešćih krivulja usmjerenosti.  $\theta$  je upadni kut zvuka.

Krivulja	Tlačna komponenta	Gradijentna komponenta
Kružna	1	0
Subkardioida	0.75	0.25
Kardioida	0.5	0.5
Hiperkardioida	0.25	0.75
Bidirekcionalna	0	1

Slijedeća tablica dobijena je integriranjem prijenosnih funkcija mikrofona.

Kružna	$1 + 0 \cos(\theta)$
Subkardioida	$0.75 + 0.25 \cos(\theta)$
Kardioida	$0.5 + 0.5 \cos(\theta)$
Hiperkardioida	$0.25 + 0.75 \cos(\theta)$
Bidirekcionalna (osmičasta)	$0 + 1 \cos(\theta)$

Ove jednadžbe koriste se pri određivanju osjetljivosti svakog mikrofona u odnosu na osjetljivost u osi prema bilo kojem upadnom kutu zvučnog tlaka.



Pretpostavimo da tražimo relativnu osjetljivost kardioidnog mikrofona za izvor zvuka smješten pod kutem od 90 stupnjeva od osi.

$$\text{kardioid osjetljivost} = 0.5 + 0.5 \cos (\theta)$$

$$\text{kardioid osjetljivost} = 0.5 + 0.5 \cos (90 \text{ stupnjeva})$$

$$\text{kardioid osjetljivost} = 0.5 + 0.5 * 0$$

$$\text{kardioid osjetljivost} = 0.5$$

Dakle, kardioidni mikrofon je 50% manje osjetljiv na zvuk koji dolazi 90 stupnjeva u odnosu na os. Ovu razliku možemo izraziti i u decibelima:

$$\Delta \text{dB} = 20 * \log (\text{u osi osjetljivost} / \text{izvan osi osjetljivost})$$

$$\Delta \text{dB} = 20 * \log 0.5$$

$$\Delta \text{dB} = 20 * -0.301$$

$$\Delta \text{dB} = -6.0 \text{ dB}$$

Kardioidni mikrofone je 6.0 dB manje osjetljiv na zvučni izvor postavljene pod kutem od 90 stupnjeva u odnosu na izvor smješten u osi.

Uvrstimo li vrijednosti svih kuteva dobit ćemo polarni dijagram.

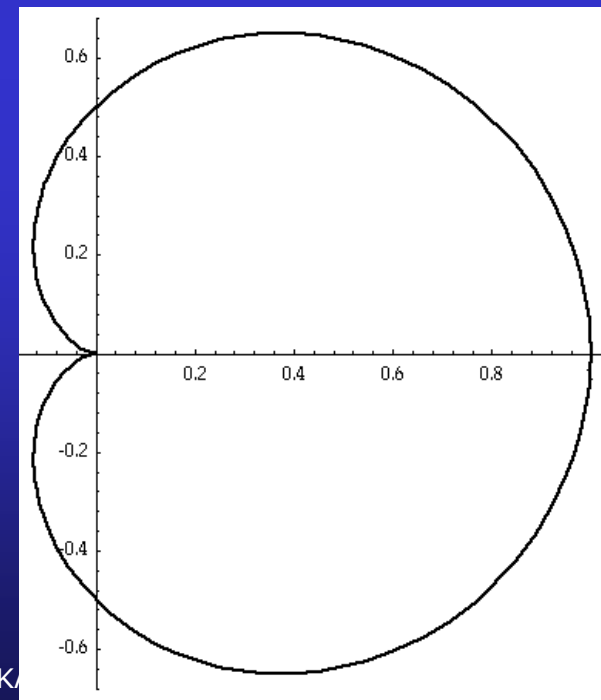
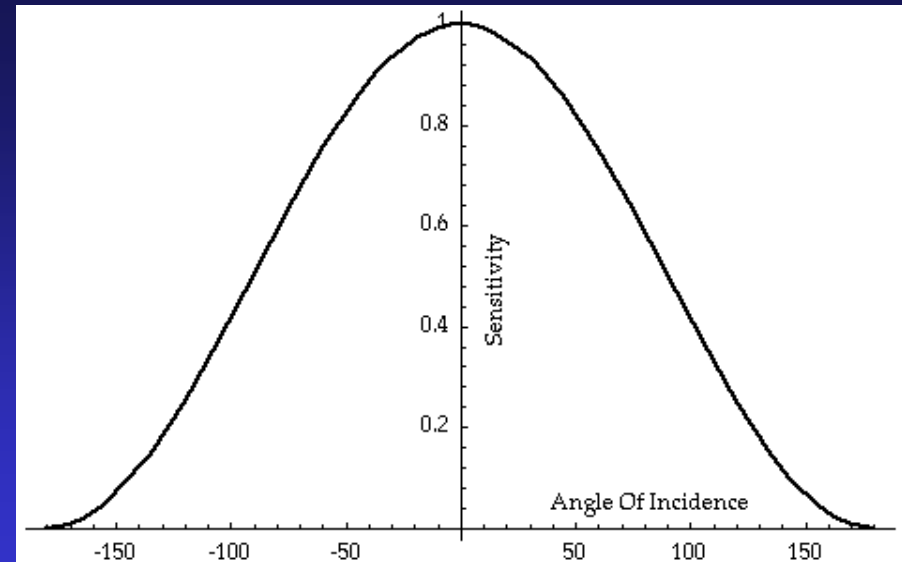
Mikrofon ima osjetljivost 1 na 0 stupnjeva (u osi) i osjetljivost 0 na 180 stupnjeva.

Iako smo u primjeru uzeli mikrofon s kardioidnom karakteristikom, moguće je postupak provesti za bilo koji tip.

Naponski izlaz mikrofona predstavlja promjer krivulje na upadnom kutu.

- Dijagram osjetljivosti kardioidnog mikrofona  $S = 0.5 + - 0.5 \cos$  

- Polarni dijagram osjetljivosti kardioidnog mikrofona



## Krivulje usmjerenosti obzirom na uporabu

### Kružna

Najjednostavniji mikrofoni primit će podjednako zvuk bez obzira na upadni kut zvučnog tlaka, pa mu je karakteristika kružna. Vrlo se jednostavno koriste i općenito imaju vrlo dobar do izuzetno linearanu frekvencijsku karakteristiku.

### Bidirekcionalna ili osmičasta

Ako zvuk može istovremeno doći i na prednju stranu membrane i na stražnju stranu membrane, ali ne može doći bočno, mikrofoni će imati karakteristiku u obliku osmice. Međutim, to stvara poteškoće u određenim situacijama. Frekvencijski odziv mu je dobar kao i mikrofona kružne karakteristike, naročito ako nije preblizu izvoru zvuka.

### Kardioidna

Ova karakteristika usmjerenosti upotrebljava se pri sustavima ozvučenja ili snimanje koncerata gdje je poseban problem buka posjetitelja. U principu koncept je vrlo dobar jer mikrofoni prima zvuk samo iz smjera u kojem je usmjeren. Međutim, praksa pokazuje mnoge probleme.

Problemi:

- zvuk iz pozadine se ne eliminira, nego se samo prigušuje za 10 do 30 dB.
- karakteristika usmjerenosti nije konstantna za sve frekvencije. Na niskim frekvencijama obični kardioidni mikrofoni ima kružnu karakteristiku. Nadalje, frekvencijski odziv za bočne signale je veoma neujednačen što dodaje nepoželjnu koloraciju instrumenata ili karakteristike odjeka sale
- Efekt blizine - Kardioidni mikrofoni naglašava niske frekvencije svih izvora koji su vrlo blizu mikrofoni. Blizina, u ovom kontekstu, odnosi se na dimenzije mikrofona. Mnogi koriste ovaj efekt kako bi popunili inače tanak glas. Ako ne želimo koristiti ovaj efekt, mnogi kardioidni mikrofoni imaju poseban prekidač kojim se kompenzira efekt blizine.

## Usmjerenije karakteristike

Usmjerenost mikrofona moguće je konstrukcijskim postupcima drastično povećati. Pri tome treba postupati pomnjivo kako povećanjem usmjerenosti ne bi nastali problemi.

Hiperkardioidna usmjerenost vrlo je popularna budući da realizira bolje bočno potiskivanja i linearniji frekvencijski odziv uz cijenu malog stražnjeg loba. Predstavlja kompromis kardioide i osmičaste karakteristike.

Shotgun mikrofoni imaju do ekstrema izraženu usmjerenost, ali im to strahovito kvari frekvencijsku karakteristiku. Zbog toga moguće ih je koristiti samo za snimanje dijaloga na filmu i video produkciji. Pored toga redovito se elektronički filtriraju.

## Stereo mikrofoni

Za stereo snimanja nije potrebno imati tzv. stereo mikrofona, nego dva ista mikrofona. Tzv. stereo mikrofona postoji u dvije varijante. Prva je vrlo jeftini mikrofona s dvije kapsule. Druga varijanta su ekstremno precizni profesionalni modeli, s posebno podešenim kapsulama, prilagodljivim kutevima usmjerenosti, i daljinskim preklapanjem krivulja usmjerenosti.

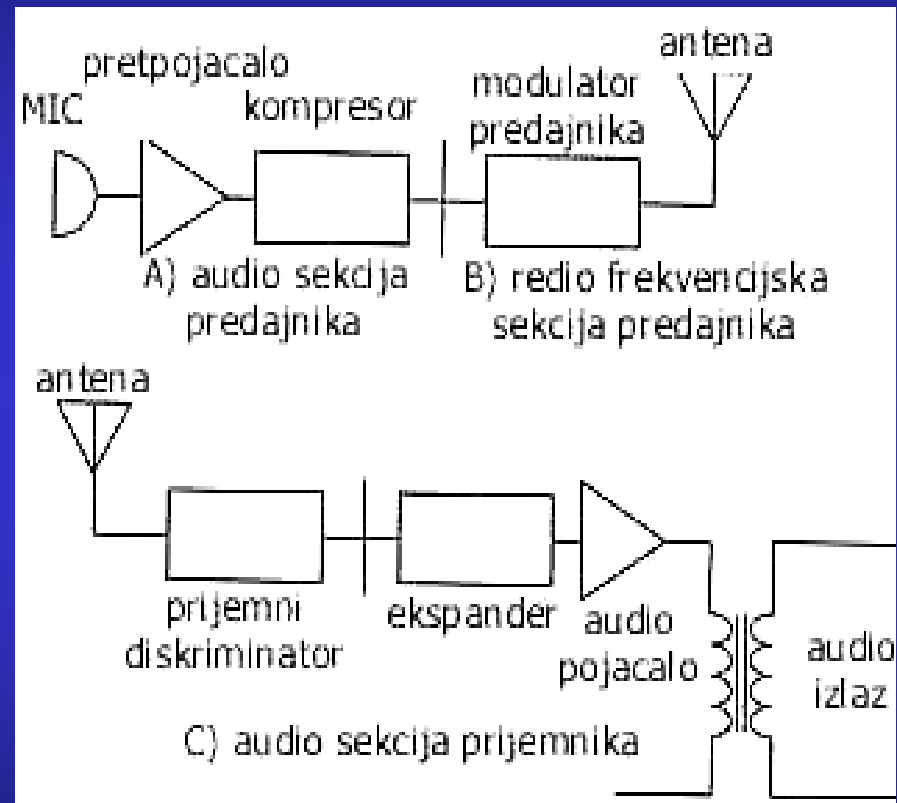
## SUSTAVI BEŽIČNIH MIKROFONA

Prvi bežični mikrofonski sustavi proizvedeni su krajem šezdesetih godina korištenjem tranzistorskih predajnika i cijevnih prijemnika. u principu bežični mikrofonski sustav sastoji se od minijaturnog FM predajnika male snage i prikladnog prijemnika. Kako prikazuje slika.

**Predajnik** se sastoji od dinamičkog, ili kondenzatorskog mikrofona priključenog na predpojačalo i kompresor. Signal sa zatim vodi u radiofrekvencijski dio gdje se modulira i predajnikom male snage emitira preko ugrađene antene.

**Prijemnik** modulirani signal prima antenom koja ga vodi u prijemni diskriminator, a demodulirani signal vodi se u ekspander dinamike i konačno u audio predpojačalo koje napaja ostale audio uređaje.

20.4.2008



## Najčešća primjena bežičnih mikrofona

- TV produkcija,
- filmska produkcija,
- radio i TV prikupljanje vijesti,
- radio i TV terenska proizvodnja programa
- predstave u teatru, predavanja
- koncerti u živo

S bežičnim mikrofonom nije potrebno postavljati mikrofonske instalacije. Mikrofonske kapsule mogu biti klasični mikrofoni na koje se jednostavno dodaje predajnik ili mogu biti napravljeni posebni minijaturni mikrofoni - *lavalijer* mikrofoni koji imaju posebne džepne predajnike.

Takav sustav mora funkcionirati pouzdano u čitavom nizu situacija s dobrom razumljivošću. Sustav mora biti otporan na smetnje i sve izvore elektromagnetskih interferencija. Ovaj zahtjev uvjetovati će izbor modulacije sustava. Poznate su standardna frekvencijska modulacija, uskopojasna frekvencijska modulacija kao i radna područja koja mogu biti na visokim frekvencijama HF, vrlo visokim frekvencijama VHF, ultravisokim frekvencijama UHF. Napajanje sustav mora biti pouzdano i dugotrajno - najmanje 5 do 8 sati sa jednim kompletom baterija. Frekvencijska područja rada propisana su zakonom o telekomunikacijama u većini zemalja.

- VHF (AM i FM) 25-50 MHz i 72 - 76 Mhz (nepro sustavi, jer su izražene smetnje)
- FM 88 - 108 MHz
- VHF (FM) 150 - 216 MHz (profesionalni sustavi)
- UHF (FM) 450-530 MHz i 902 - 952 MHz (profesionalni sustavi)

Profesionalni sustavi koriste VHF više frekvencije i UHF pojas.

- Posebno je zahtijevan rad višekanalnih bežičnih sustava jer prijemnici trebaju biti selektivni.
- Uobičajena je maksimalna predajna snaga bežičnik sustava oko 50 mW.

## Postavljanje prijemnih i predajnih antena

Predajne antene tzv. **"body pack" predajnika** postavljene blisko uz tijelo korisnika reduciraju domet sustava od 1/2 do 1/5 udaljenosti. Postavljanje antene uz tijelo korisnika reducira signala uslijed znojenja jer je znoj vodljiv uslijed soli. **Ručni bežični mikrofoni** ne drže se uz tijelo ali su antene mnogo manjih dimenzija. Npr. antena pune veličine za radnu frekvenciju od 180 MHz treba biti duga oko 80 cm, a antena ručnog predajnika je duga oko 20 cm ili manje. Zbog toga dolazi do vrlo velikog gubitka efikasnosti pri emitiranju.

Pri postavljanju antena potrebno je paziti da se antena ne postavi u tzv. mrtvim točkama, kao što su prolazi i niše. Isto tako antene se trebaju udaljiti od metalnih konstrukcija, armiranih betonskih zidova za najmanje 1m. Bolje je postaviti antenu bliže mjestu predajnika te je povezati s prijemnikom antenskim kabelom. Antenski kabeli ne smiju biti toliko dugi da se gube RF signali i potrebno je da budu sa što manjim gubicima. Gubici unutar kabela ovise o frekvenciji signala.

Npr. kabel RG-58U ima gubitak od 14 dB na 30 m pri frekvenciji 700 MHz, a kabel RG-11 u istim uvjetima ima gubitak "samo" 3.9 dB. Razlika kabela je u unutrašnjem izolatoru koji je kod RG-11 "pjenast", a kod RG58U "pun".

## Obrada audio signala

Najveći problemi koji nastaju kod sustava bežičnih mikrofona su odnos signal šum i dinamičko područje rada. U cilju poboljšanja ovih parametara koristi se proces dinamička sažimanja pri predaji i ekspanzije pri prijemu.

Dobri bežični sustavi imaju vrijednost signal/šum oko 85 dB, što nije uvijek dovoljno za profesionalni rad. Većina sustava koristi integrirani krug NE570, a noviji sustavi krug NE572 kojim se mogu postići omjeri signal/šum i preko 100 dB. Najnoviji sustavi još su neznatno povećali ovaj omjer.

Potrebno je znati da svi kompresori i ekspanderi primijenjeni u bežičnim mikrofonski sustavima slabe kvalitetu zvuka. Međutim, prednosti koje pružaju bežični sustavi važniji su od ovih slabljenja zvučne kvalitete.

Najbolji kriterij usporebe bežičnog sustave je usporedba sa istim mikrofonom bez predajno- prijemnog dijela sustava. U većini slučajeva te razlike su vrlo male.

# Mikroprocesorski diversity sustav

Osnovne komponente bežičnog mikrofonskog sustava su predajni i prijemnik sa svojim antenama.

Svi objekti unutar kojih se koriste bežični sustavi sadržavaju brojne prepreke širenju radio valova.

U cilju stabilnosti rada proizvođači su razvili tzv. diversity sustave koji omogućavaju bolji rad.

- **Običnom diversity sustavu** unutar kućišta nalaze se dva prijemnika koja su ugođena na isti kanal kao i predajnik. Svaki prijemnik ima svoju antenu.
- **Pravom antenskom diversity sustavu** u kutiji se nalazi jedan prijemnik i dvije antene. Poseban sklop skanira signal prijemne antene i nakon što joj signal padne ispod određene razine sklop bira drugu antenu.
- **Mikroprocesorskom diversity sustavu** mikroprocesor vrlo velikom brzinom skanira radiofrekvencijske signale na antenama i uvijek odabire bolji signal.



# Postavljanje mikrofona

## Uporaba samo jednog mikrofona

Relativno jednostavna. Odabere se model odgovarajuće osjetljivosti i krivulje usmjerenosti te se postavi blizu izvora zvuka. Praktična udaljenost izvora zvuka i mikrofona treba biti takva da maksimalni zvučni tlakovi ne dovedu mikrofona u režim preopterećenja, a istovremeno ne smije doći buka okoline do izražaja. Granica ovih ekstrema je stvar ukusa i iskustva.

**Postavi li se mikrofona preblizu instrumenta** i zvuk se pažljivo poslušati, primijetit će se da postoji lokacija u kojoj postavljanje mikrofona djeluje na zvuk instrumenta. Uzrok tome je što se različite komponente tonskog spektra u instrumentima javljaju na različitim mjestima. Npr. mjesto nastanka najvišeg tona klavira je 1.5 m udaljen od najdubljeg. Čovjek pri slušanju čuje mješavinu ovih tonova, koja nastaje, otprilike na dvostrukoj udaljenosti, najveće dimenzije instrumenta koji se snima.

**Postavi li se mikrofona daleko od instrumenta** koji se snima tako će djelovati i snimka. Pri slušanju, udaljenost od instrumenta definira se odnosom direktnog zvuka prema snazi reflektirajućih komponenti. Na koncertu u živo čovjeku je dostupno mnogo više informacija o onome što se događa nego pri slušanju snimke. Pri slušanju snimke, nedostaju vizuelne informacije i svaki pa i najmanji poremećaj akustike izuzetno je neugodan.

To su ujedno i razlozi zašto najbolje mjesto u sali nije i najbolje mjesto za postavljanje mikrofona. Istovremeno u snimci je potrebno imati i reverberacijsku informaciju o prostoru u kojem je snimka napravljena. Vrlo blisko postavljanje mikrofona guši reverberacijsku karakteristiku prostora pa neki snimatelji naknadno dodaju umjetnu reverberaciju.

Drugi to rješavaju udaljavanjem mikrofona ili postavljanjem posebnih mikrofona za snimanje reverberacijske karakteristike.

# Stereo

Stereo zvuk je privid prostornosti postignut reprodukcijom putem dva zvučnika. Uspjeh ove iluzije naziva se stereo slika.

Dobra stereo slika može se opisati kao iluzija u kojoj svaki instrument ima prirodnu veličinu, točnu lokaciju unutar zvučnog prostora i pri tom ne dolazi do pomaka relativnih izvora zvuka.

Glavni čimbenici koji definiraju stereo sliku su

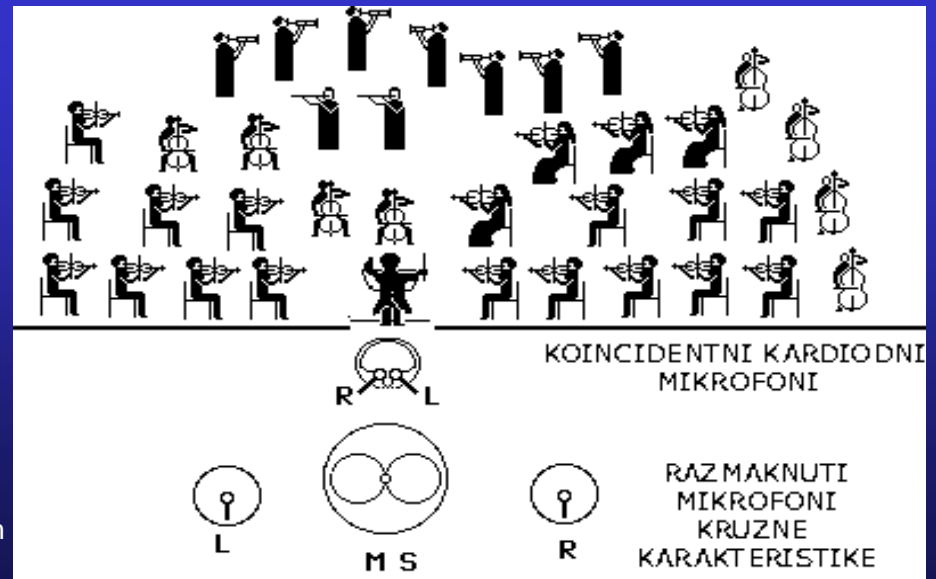
- **relativne jačine zvuka** instrumenata u svakom kanalu kao i
- **pravodobni dolazak** zvuka do uha slušatelja.

Pri studio snimanju, u najvećem broju slučajeva, **stereo slika se stvara umjetnim putem.**

Svaki instrument ima svoj mikروفon i ti različiti signali se na stolu za miješanje miješaju isključivo po želji producenta.

Pri snimanju koncerta, sa ciljem dokumentiranja realnosti nije zgodno koristiti individualne mikrofone pa se najčešće koristi stereo par mikrofona, po jedan za svaki kanal.

Pri tome su mogući različiti pristupi.



## Razmaknuti mikrofoni

Najjednostavnije je pretpostaviti da će stereo zvučnici biti razmaknuti 2.5 do 3.0 metara, pa postaviti dva mikrofona na istu udaljenost.

Bez obzira na primijenjeni tip mikrofona (kardioidni ili osmičasti) sistem će raditi jer ćemo pri reprodukciji dobiti zadovoljavajući rezultat s bilo kojim razmještajem zvučnika. Ovaj pristup snimatelju oprašta sve pogreške u radu i može se redovito primjenjivati.

Međutim, ipak postoji jedan nedostatak. Mikrofoni su pri snimanju dosta udaljeni od orkestra, u krajnjem slučaju, koliko je širina orkestra. U tim okolnostima mikrofoni se ne smiju približiti orkestru, kako bi najbliži instrumenti postali dominantni. U takvim okolnostima mikrofone je najbolje objesiti iznad orkestra ili ih postaviti na podu primjenom vrlo tankih i visokih stalaka.

## Koincidentni kardioidni mikrofoni

Drugi nedostatak opisanog pristupa snimanja s dva razmaknuta mikrofona javit će se u slučaju da snimljeni stereo signal treba sumirati u mono signal - npr. pri radio emitiranju.

Zbog udaljenosti među mikrofonomima, moguće je da zvuk nekog instrumenta dođe do oba mikrofona, ali u različitim vremenima, što će biti uzrokom faznog pomaka. Fazni pomak uzrokovat će probleme u frekvencijskom odzivu pri sumiranju signala u mono. Ovaj problem se minimizira raznim koincidentnim tehnikama, pri čemu se mikrofoni postavljaju na vrlo malu udaljenost..

Najčešća je postava dva kardioidna mikrofona, pri čemu se jedan usmjerava lijevo, a drugi desno. Mikrofoni se postavljaju, jedan prema drugom, kako bi fizička udaljenost membrana bila što manja. Stereo efekt realizira se činjenicom što nastaje razlika u glasnoći pojedinih instrumenata, između lijevog i desnog mikrofona.

Kut među mikrofonomima određuje kvalitet stereo slike, a on opet zavisi o karakteristici usmjerenosti. Ako su mikrofoni paralelni, neće biti izražen stereo efekt, a ako je kut prevelik sredina stereo slike bit će jako prigušena, što će se pri reprodukciji u stereo slici karakterizirati tzv. "rupom"

# MS tehnika

Najelegantniji pristup koincidentnom snimanju je primjena MS tehnike. To se najčešće izvodi posebnim stereo mikrofonom čiji je jedan element s kružnom karakteristikom, a drugi osmičast. Osmičasti element usmjerava se tako da mu je os paralelna s pozornicom, pri čemu se ne prima zvuk iz centra. Kružni element prima sve zvukove, kako iz centra tako i bočno.

Pretpostavimo sada da je izvor zvuka s lijeve strane. Zvuk će djelovati na osmičasti element što će dati pozitivni napon, jer će element pomaknuti membranu u desno.

Ako je izvor zvuka u centru, osmičasti element neće dati napon.

Ako je izvor zvuka na desnoj strani, pomaknut će membranu osmičastog elementa na lijevo, što će dati negativni napon.

Zaključujemo da je izvor zvuka na jednoj strani pozornice 180 stupnjeva izvan faze s izvorom zvuka na suprotnoj strani. Istovremeno, što je izvor zvuka bliži centru to mu je razina signala niža.

Signali mikrofona s osmičastom karakteristikom i kružnom karakteristikom kombiniraju

- lijevi kanal: naponski izlaz osmičastog elementa sumira s naponom kružnog elementa.
- desni kanal: napon osmičastog elementa oduzima se od napona kružnog elementa.

Proces sume i razlike daje stereo signal jer instrument s desne strane daje negativan signal u mikrofonom s osmičastom karakteristikom što dodano pozitivnom signalu elementa s kružnom karakteristikom eliminira taj instrument iz stereo slike.

Međutim, pri odbijanju napona, **minus ispred negativnog napona, promijenit će fazu signala** i signal instrumenta će se pojačati.

Instrumentima s lijeve strane dogodit će se obrnuta sudbina, a na instrumente u sredini proces neće djelovati jer ih je snimio samo mikrofonom s kružnom karakteristikom.

# Veliki orkestri

Opisane tehnike dobro funkcioniraju za snimke koncerata u dobrim salama s relativno manjim ansamblima.

Ako na nepovoljnoj lokaciji snimamo vrlo veliku skupinu glazbenika, najčešće se koriste kombinacije razmaknutih i koincidentnih parova. Međutim, takve kombinacije mogu rezultirati pri mješanju, nepovoljnim efektima.

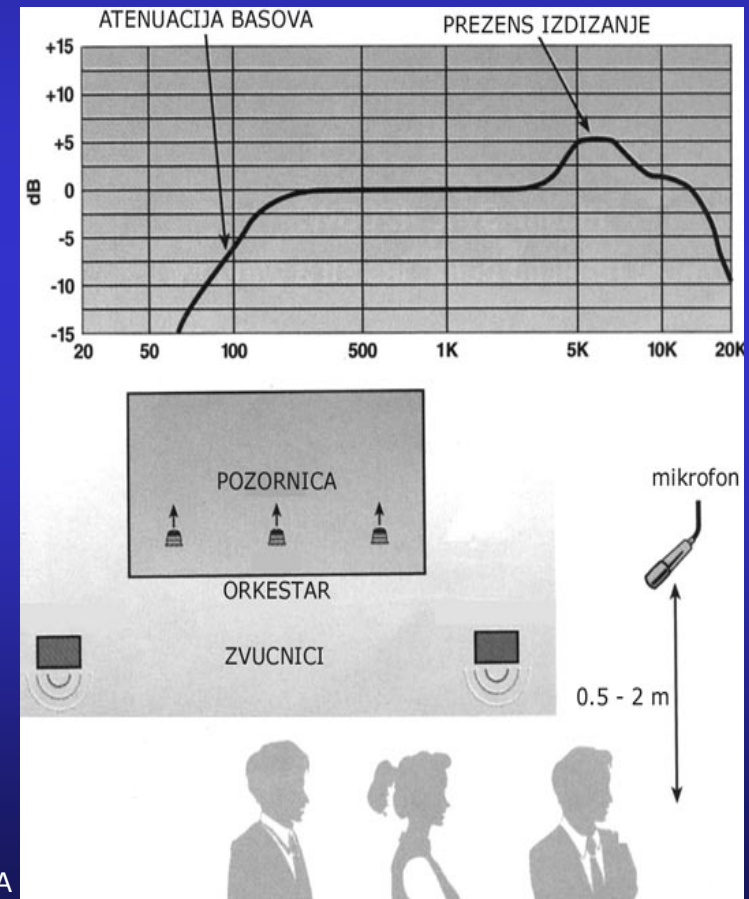
U slučajevima kada je potrebno **naglasiti soliste**, često se dodaju posebni mikrofoni.

U velikim salama često postoji visoka razina ječnog zvuka koji nepovoljno djeluje ako ga prime glavni mikrofoni.

U takvim slučajevima postavljaju se i posebni mikrofoni za snimanje ambijentalnog zvuka, kako bi se ječni zvuk primio ranije.

20.4.2008

O.Bilan ELEKTROAKUSTIKA



# Studio tehnika

- **Mikrofon za svaki instrument**

Omogućavaju snimatelju mogućnost podešavanja i uravnoteženja svakog instrumenta na mikseru i uređaju za snimanje.

- **Blisko postavljanje mikrofona**

Mikrofoni se postavljaju u blizinu glazbenih instrumenata kako bi se izbjegli problemi.

- **Akustičke ograde oko instrumenata ili snimanje u zasebnim studijima**

U cilju smanjenja interferencija mikrofona.

- **Snimanje uz pomoć slušalica**

Pri sinkronizaciji glazbe za film ili video ili u situacijama u kojima treba izbjeći posljedice kada dva mikrofona snimaju isti instrument; tj. u uvjetima pri kojima je potrebno realizirati vrlo visoku studijsku izolaciju.

- **Velik broj snimaka jedne skladbe**

Pri koncertu u živo sve greške se primijete ali brzo prođu i ne mogu se ponoviti. Pri snimanju svaka greška ostaje trajno zapisana i pri višestrukome slušanju izuzetno smeta. To je razlog zbog kojeg je snimanje višestruko zahtjevnije nego sviranje u živo. Da bi se izbjegle sve moguće greške snimke se višestruko ponavljaju sve dok se ne dobije zadovoljavajući oblik.