

# ELEKTROAKUSTIKA

prof. dr Zoran Milivojević  
mr Danijela Aleksić, predavač

# Kombinovani mikrofoni

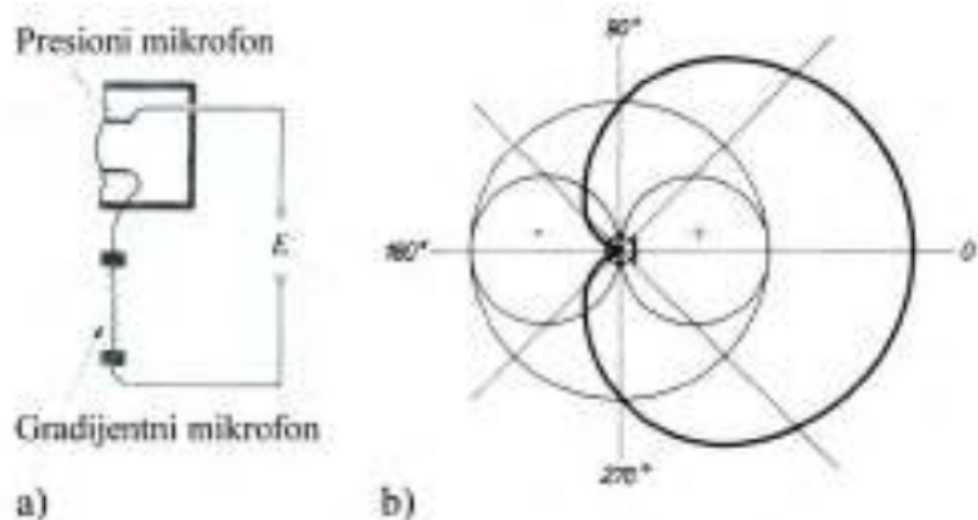
Kombinacijom presionog i gradijentnog mikrofona, slika 6.12a, dobija se mikrofonska karakteristika sa kardiodnom karakteristikom usmerenosti. Neka su osetljivosti oba mikrofona u smeru ose jednake i po fazi i po intenzitetu i neka iznose  $T_0$ . Osetljivost kombinovanog mikrofona se dobija sabiranjem pojedinačnih osetljivosti i iznosi:

$$T = T_0 + T_0 \cos \theta = 2T_0 \frac{1 + \cos \theta}{2} \quad (6.11)$$

Karakteristika usmerenosti ovakve kombinacije je data izrazom:

$$\Gamma(\theta) = \frac{1 + \cos \theta}{2}, \quad (6.12)$$

koji predstavlja kardiodu, prikazanu na slici 6.12b.

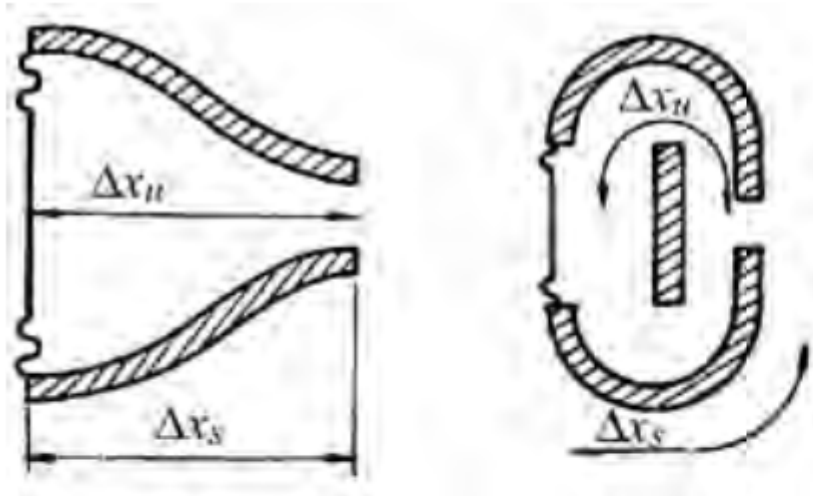


Slika 6.12 - Kombinovani mikrofonski: a) principna šema međusobne veze, b) karakteristika usmerenosti – kardioda, dobijena grafičkim sabiranjem kružne i dvokružne karakteristike

# Kombinovani mikrofoni

Sa slike 6.12b se vidi da je grafičkim sabiranjem kružne i dvokružne karakteristike usmerenosti moguće dobiti kardiodnu karakteristiku. Pri sabiranju treba uzeti u obzir da je jedna polovina dvokružne karakteristike pozitivna (znak +), a druga negativna (znak -), jer je pomeranje membrane pri dolasku zvučnih talasa iz suprotnih smerova protivfazno. Kardiodni oblik karakteristike usmerenosti nam govori da je osetljivost ove grupe mikrofona jako povećana u jednoj polusferi, zbog čega se oni nazivaju jednosmerni mikrofoni.

# Kombinovani mikrofoni



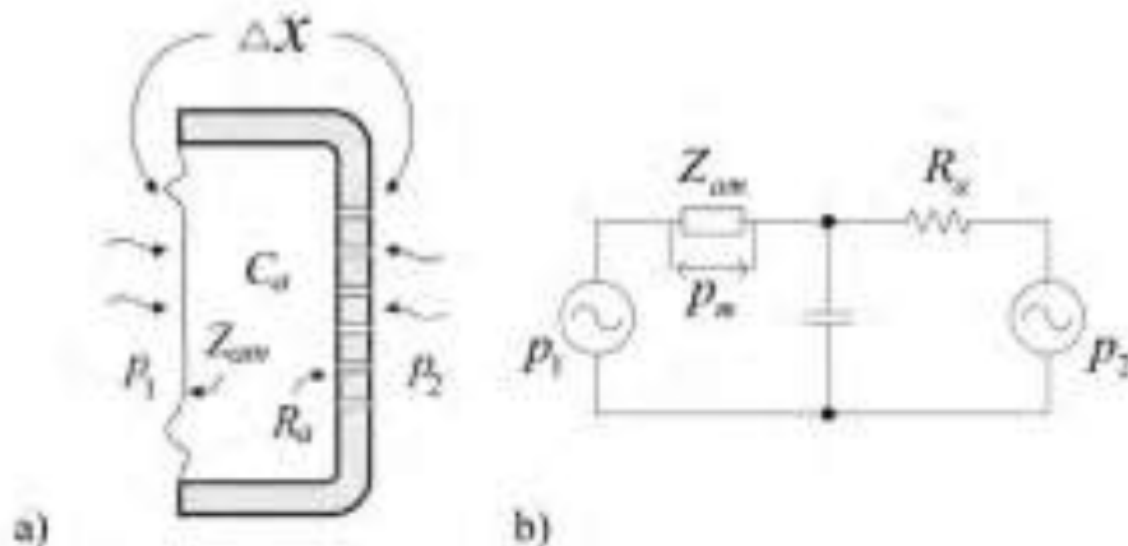
*Slika 6.13 – Mogući načini realizacije kombinovanog mikrofona sa jednom membranom*

Kombinovani mikrofon je moguće realizovati i sa jednom mikrofonskom kapislom (tj. sa jednom membranom), kako je prikazano na slici 6.13. Put zvučnih talasa od prednje do zadnje strane membrane ovde ćemo podeliti na dva dela: spoljašnji  $\Delta x_s$  koji zavisi od upadnog ugla  $\theta$  i unutrašnji  $\Delta x_u$  koji se ne menja sa promenom upadnog ugla. Ako je pritisak sa obe strane membrane iste amplitude i ako podesimo da je  $\Delta x_s = \Delta x_u = \Delta x \ll \lambda$  onda je prema izrazu (6.11) sila koja deluje na membranu:

$$F = k p S (\Delta x_u + \Delta x_s \cos \theta) = k p S \Delta x (1 + \cos \theta) \quad (6.13)$$

što predstavlja kardioidu.

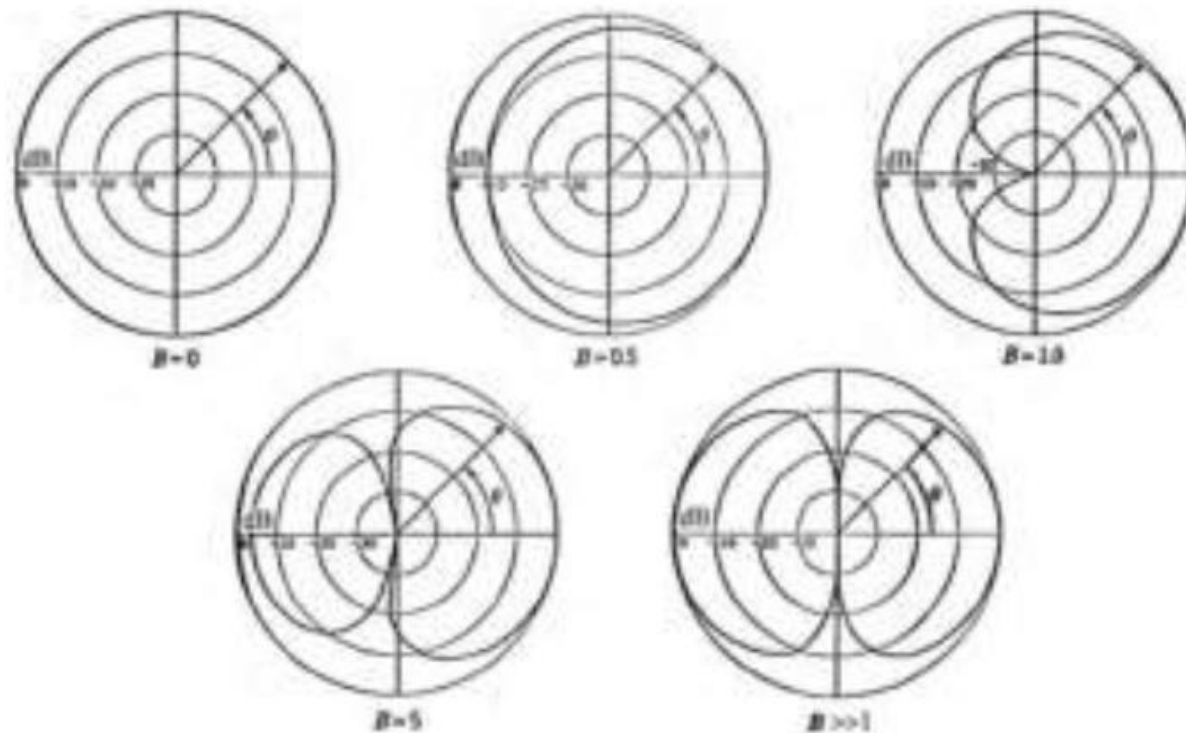
# Kombinovani mikrofoni



Slika 6.14 – Kombinovani mikrofoni: a) skica, b) analogno električno kolo

Jedan od uobičajenih načina realizacije kombinovanog mikrofona je onaj sa komorom iza membrane, povezanom sa okolnim prostorom preko otvora koji imaju akustičku otpornost, slika 6.14a. Analogno kolo ovakvog mikrofona je prikazano na slici 6.14b. Akustička kapacitivnost komore je  $C_a$  a akustička otpornost svih otvora  $R_a$ . Akustička impedansa membrane je  $Z_{am}$  a pritisak na membrani  $p_m$ . Putna razlika zvučnih talasa od prednje strane membrane do ulaza u otvore na kućištu mikrofona je  $\Delta x$ .

Kod ovakvog tipa kombinovanog mikrofona koeficijent  $B$ , u izrazu (6.14), može imati različite vrednosti što znači da mikrofoni prikazani šematski na slici 6.14a može imati različite karakteristike usmerenosti, slika 6.15. Tako za  $B = 0$  imamo kružnu karakteristiku, za  $B = 1$  kardioidnu a za  $B \gg 1$  dvokružnu. Kada je  $B > 1$  dobijamo verzije mikrofona sa posebno izraženom usmerenošću. Među njima su najpoznatiji i najčešće se koriste oni sa superkardioidnom i hiperkardioidnom karakteristikom usmerenosti.

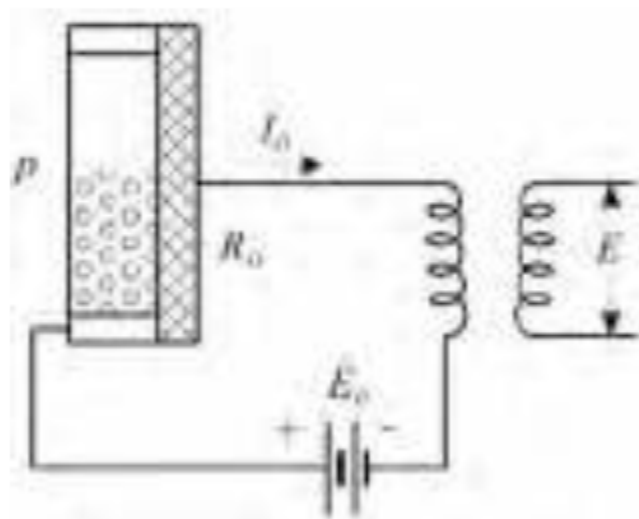


*Slika 6.15 - Različiti oblici karakteristike usmerenosti kombinovanog mikrofona sa slike 6.13a, za različite vrednosti parametra  $B$*

Kombinovani mikrofoni sa jednom kapislom se nazivaju i „fazni mikrofoni” s obzirom da se kod njih pritisci sa prednje i zadnje strane membrane razlikuju samo po fazi a približno su iste amplitude.

# Ugljeni mikrofon

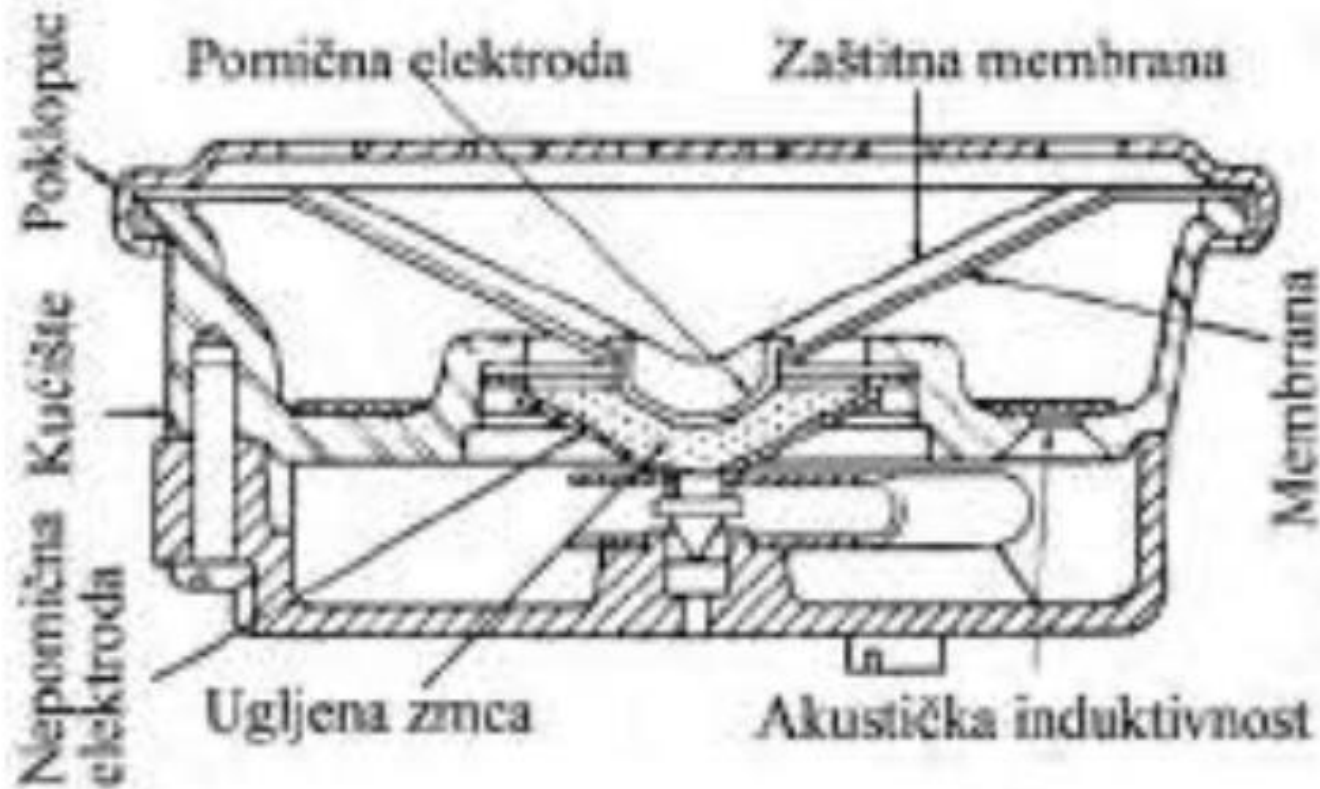
Princip rada ugljenog mikrofona prikazan je na slici 6.19. Mikrofonska kapisla se sastoji od dve električno-provodne elektrode od kojih je jedna (membrana) pomična. Prostor između elektroda delimično je ispunjen ugljenim zrnima. U kolu mikrofona se nalazi izvor jednosmernog napona  $E_0$  a otpornost ugljenih zrnaca kada membrana miruje je  $R_0$ . Tada je struja u kolu mikrofona  $I_0$ .



*Slika 6.19 - Princip rada ugljenog mikrofona*

Kretanje membrane pod dejstvom zvučnih talasa izaziva promene pritiska između ugljenih zrnaca. Ovo ima za posledicu promenu električne otpornosti zrnaca i promenu ukupne struje u kolu mikrofona. Dakle, pored stalne jednosmerne struje  $I_0$  imamo i primenljivu komponentu struje  $\Delta I$ .

# Ugljeni mikrofon



*Slika 6.20 – Poprečni presek ugljenog mikrofona*



# Ugljeni mikrofon

Poprečni presek jednog ugljenog mikrofona prikazan je na slici 6.20. Ugljena zrnca, dobijena posebnim tehnološkim postupkom od antracita, nalaze se u izdubljenoj metalnoj posudi koja predstavlja jednu od elektroda. Zrnca imaju kontakt sa električno-provodnom membranom preko kontaktnog diska (button-a) na membrani. Membrana je obično izrađena od aluminijumske folije.

Otpornost ugljenog mikrofona je čisto omska, smanjuje se sa povećanjem jednosmerne struje, a njena srednja vrednost iznosi oko 100 oma. Osetljivost ugljenog mikrofona je velika i često je veća od 100 mV/Pa. Pri ovoj osetljivosti uz glasan govor iz neposredne blizine, kakav je slučaj kod telefona, izlazni napon je veći od 500 mV.

U uslovima prilagođenja po snazi ovaj mikrofon daje prijemnom kolu mnogo veću snagu (reda 1 mW) od akustičke snage koja se koristi na pokretanje membrane. Ovo povećanje snage ide na račun energije koju daje izvor napajanja. Stoga je ovaj tip mikrofona jedini posredni pretvarač koji u izlaznom kolu daje veću energiju nego što prima iz zvučnog polja. Takođe, kod njega nema recipročnog efekta, odnosno ne može se kao kod nekih drugih tipova mikrofona, dovođenjem na njegove priključne krajeve električne energije, dobiti akustička energija.

# Ugljeni mikrofon

Frekvencijska karakteristika ugljenog mikrofona je relativno uska i prilagođena prenosu govornog signala.

Na nižim i srednjim frekvencijama ugljeni mikrofon ima kružnu karakteristiku usmerenosti, dok na višim frekvencijama (2 kHz i 4 kHz) postaje sve usmereniji. Pošto se uglavnom koristi u telefonskoj slušalici, gde se tokom govora usta drže u neposrednoj blizini mikrofona, a u smeru normalnom na membranu, sužavanje karakteristike usmerenosti na višim frekvencijama nema praktičnog značaja.

Otpor ugljenih zrnaca na kontaktnim mestima menja se spontano, usled čega dolazi do pojave relativno visokog nivoa šuma ugljenog mikrofona.

Ugljeni mikrofon se skoro isključivo koristi u telefonskim komunikacijama. Razlog je njegova velika osetljivost, zbog čega nisu potrebni pretpojačivači u telefonskoj slušalici, gde su ovi mikrofoni ugrađeni. S druge strane, njihov uzak frekvencijski opseg, velika izobličenja i značajan šum ugljenih zrnaca ograničavaju njihovu promenu samo na prenos govornog signala.

Ugljeni mikrofon se tako dugo zadržao u telefoniji i pored nabrojanih značajnih nedostataka, samo zbog svoje velike osetljivosti, jednostavne konstrukcije i robusnosti.

• **HVALA NA PAŽNJI**