

Tallinna Tehnikaülikool
Rakenduselektronika õppetool

Mikrofon
Elektronika
LEA3020

Erki Suurjaak
970772
LAP41

Tallinn 1999

Sisukord

Sisukord.....	2
Mikrofonid ja nende tööpõhimõtted	3
Helirõhule tundlikud mikrofonid.....	3
Süsimikrofonid.....	4
Piesoelektrilised mikrofonid	4
Elektrodünaamilised mikrofonid.....	6
Elektrostaatilised mikrofonid	6
Elektreetmembraanid	7
Õhurõhu gradiendi tundlikud mikrofonid.....	7
Lintmikrofonid	8
Ühendatud toime.....	8
Kasutatud kirjandus	9

Mikrofonid ja nende tööpõhimõtted

Mikrofon on elektroakustiline seade helisignaalide muundamiseks nendega võrdelisteks elektrisignaalideks. Mikrofoneliike on palju, alustades tavalises telefonis olevast mikrofonist lõpetades teaduslikel mõõtmistel kasutatava mikrofoniga. Mikrofoni iseloomustavad omadused on maksumus, stabiilsus, sageduskarakteristik, suunatudlikkus, gabariit, välimus jne.

Tööpõhimõtteid, mida mikrofon võib rakendada, on mitu, aga kõik ei sobi igaks elujuhtumiks. Näiteks üsna spetsiifilise kasutusala on termoprintsiip, kus helilaine poolt loodud õhuosakeste erinev kiirus muudab kuuma traadi temperatuuri ja seega ka elektritakistust, niiviisi moduleerides elektrivoolu, millega traati kuumutatakse.

Enamlevinud mikrofonid töötavad järgmistel põhimõtetel :

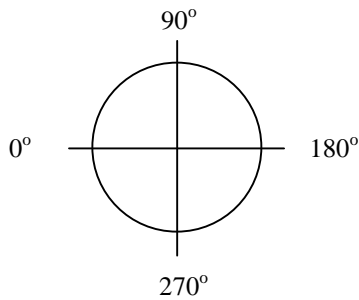
- muutuv kontaktakistus (nt. süsimikrofon)
- piesoelektriline (nt. piesoelektriline e. kristallmikrofon)
- elektrostaatiline (nt. kondensaatormikrofon)
- elektrodünaamiline või elektromagnetiline (nt. elektrodünaamiline, elektromagnetiline või lintmikrofon)

Mikrofonil on membraan, mis on helilainele avatud ja mis on tavaliselt mingit sorti võrega kaitstud (vältimaks näiteks otsese hingeõhu tekitatud võnkumist). Membraan võib helilaine suhtes olla installeeritud kahel viisil :

- membraan moodustab suletud anuma ühe pinna, nii et helilained avaldavad mõju ainult membraani ühele poolele; sellisel juhul on tegemist helirõhule tundliku mikrofoniga
- helilained avaldavad mõju membraani mõlemale küljele; sellisel juhul on tegemist helirõhu gradiendi tundliku mikrofoniga

Helirõhule tundlikud mikrofonid

Sellised mikrofonid, mille membraani tagakülg on kaetud, reageerivad õhurõhu imeväikestele muutustele ja muudavad need elektrisignaalideks. Nagu ka sarnaselt toimivas inimese kõrvas, lubatakse väikest leket (nagu kuulmetõris), mis laseb membraanitaguse tühja ruumi rõhul ühtlustuda õhurõhuga. Õhurõhule tundliku mikrofoni väljund peaks üldjuhul olema tundetu helilaine suunale, paraku aga muutuvad suure gabariidiga mikrofonid kõrgetel sagedustel üldjuhul ühesuunamikrofonideks. Varajastel ja ka mõnedel praegustel, odavatel, helirõhule tundlikel mikrofonidel on aksiaalhelide puhul tõusvad amplituudi-sagedusekarakteristikud. See tuleneb mikrofoni tõkkeefektist, mis suurendab helirõhu efekti mikrofoni mõõtmega võrreldavatel lainepikkustel. Siiski on nüüd võimalik toota erakordselt väikeste mõõtmega mikrofone, millel on hoolikalt kujundatud aerodünaamilised omadused, et neid efekte pehmendada.

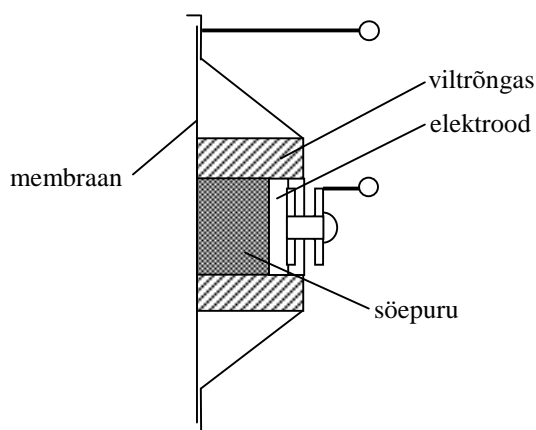


Sellised mikrofonid on isegi kõrgetel sagedustel kerakujulise suunakarakteristikuga, paraku aga võib väiksem membraan põhjustada madalamat tundlikkust.

Helirõhule tundlikud mikrofonid on üldjuhul süsi-, piesoelektrilised, elektrodünaamilised ja kondensaatormikrofonid.

Süsimikrofonid

See on arvatavasti kõige levinum laiatarbemikrofon. Süsimikrofon töötati välja telefoniaparatuuris kasutamiseks.



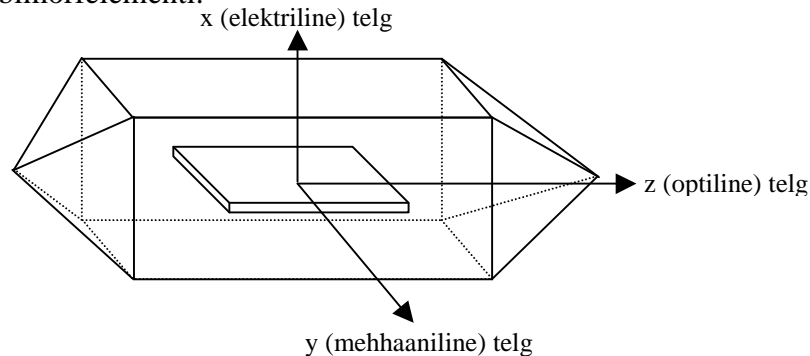
Mikrofoni membraan on kinnitatud peene sõepuruga täidetud anuma külge. Elektrikontaktide abil antakse sõepulbri peale pinge. Helilainest tingitud õhurõhu muutus paneb membraani liikuma, mistõttu muutub sõepulbrile avalduv rõhk ja seega ka sõepulbri takistus. Seega moduleeritakse sõepulbrit läbivat elektrivoolu. Et suhteliselt väike membraani asukoha muutus põhjustab suhteliselt suurt takistuse muutust, siis tekitab mikrofon võimendusefekti ning on seega väga efektiivne muundur.

Sellise mikrofoni headeks külgedeks on lihtsus, stabiilsus ja odavus. Halbadeks külgedeks on aga vilets sageduskarakteristik ja kõrge müratase. Mikrofoni tundlikkus sõltub helisisendist, olles madalate ja kõrgete helide puhul üsna tundetu. See teeb ta sobivaks telefoniaparatuuris, sest tundetus madalate helide suhtes filtreerib välja taustamüra ning tundetus kõrgete helide suhtes võimaldab mikrofonil töötada ilma ülekoormuseta ja moonutuseta. Telefonikommunikatsioonis kantakse nagnii üldjuhul üle vaid teatud kitsas sagedusdiapasoon.

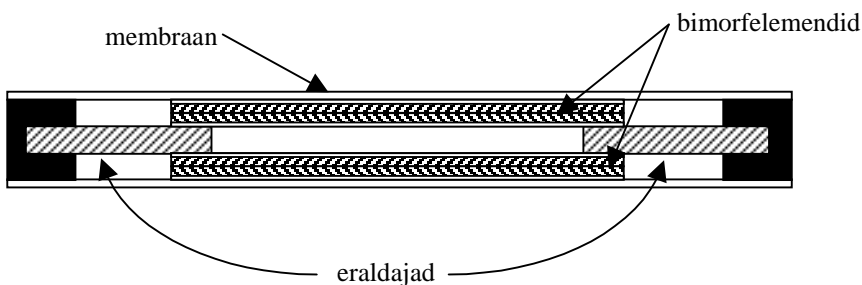
Piesoelektrilised mikrofonid

Piesoelektriline efekt laseb materjalil (kvartsil, Rochelle'i soolal, mõnedel pliitsirkonaadist keraamilistel elementidel jne), muuta mehhaanilist rõhku elektrilaenguks.

Kristallile võib selle efekti saavutamiseks avaldada helirõhu muutusi mitmel moel. Rõhuavalduse meetodist sõltub see, mil viisil kristall välja lõigatakse. Levinud meetod kasutab bimorfelementi.



Bimorfelementi moodustamiseks lõigatakse kaks erinevate diagonaalide peal asetsevat X-telje suunalist plaati ja kinnitatakse kokku. Sõltuvalt sellest, kuidas kristallid lõigati, võib bimorfelement tekitada plaatide vahele laengu siis, kui elementi väänatakse, või siis, kui elementi painutatakse. Kui elementi painutatakse, siis üht plaati surutakse kokku ja teist venitatakse, mis tekitab mõlemas plaadis erisuunalisi laenguid. Plaatide mõlemale küljele kinnitatakse elektroodid. Helirõhu muutust saab bimorfelementi väänama panna kas niiviisi, et kinnitatakse element mehhaaniliselt membraani külge, või nii, et elemendi ühte külge kasutatakse membraanina.



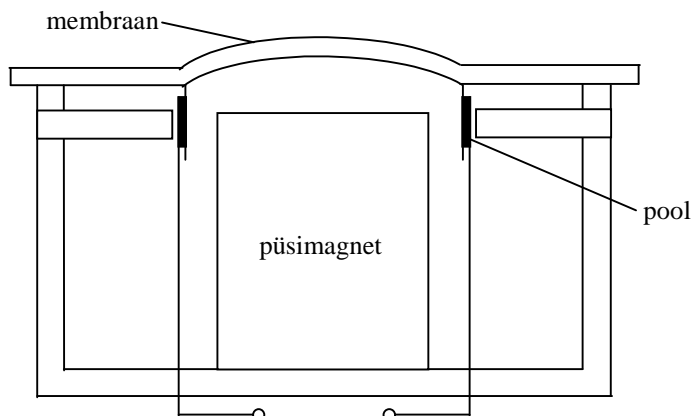
Mikrofoni tundlikkust võib suurendada, kasutades kahte bimorfelementi kui karbikese kahe küljena, jättes elementide vahele väikese õhupilu (joonis). Elementide arvu veelgi suurendades on võimalik tundlikkust veelgi rohkem tõsta.

Kristallmikrofoni sagedusarakteristik sõltub enamaltjaolt tema mõõtmetest. Üldjuhul on nii, et mida väiksem kristallsüsteem, seda parem tundlikkus, aga ka seda madalam elektriväljund.

Piesoelektrilistel mikrofonidel on väga kõrge impedants. Ilma eelvõimendita ei sobi neid üldjuhul koos pikkade kaablitega kasutada. Isegi keskmise pikkusega kaablite puhul (nt. kolm meetrit võimendist) on kõrgete sageduste kadude vältimiseks soovitatav kasutada koaksiaalkaablit.

Elektrodünaamilised mikrofonid

Elektrodünaamilise mikrofoni membraan on äärtest painduv ja keskelt jäik. Selle saavutamiseks tekitatakse tavaliselt äärtesse kontsentrilised lained ja keskkoha kuppel.



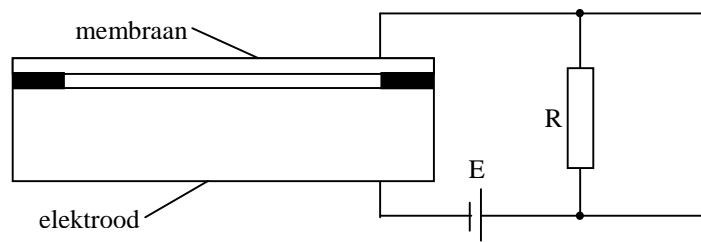
Kupliosa taga on pool, mille mähis on keritud peenikesest (0,02-0,05 mm diameetriga) traadist. Pool asub tugeva püsimagneti ja magnetjuhist moodustuva magnetahela peenikeses ümmarguses pilus. Helilainest tingitud õhurõhmuutused panevad membraani võnkuma, mis paneb pooli magnetväljas liikuma, mis tekitab elektromotoorjõu, nii

et väljundis tekib elektrisignaal, mille sagedus ja amplituud on võrdelised membraani võnkumist põhjustanud heliga. Mõnel juhul on pool väga väikese impedantsiga ja seetõttu kasutatakse väljundi impedantsi suurendamiseks trafot. On ka võimalik pooli üldtakistust suurendada 25-30 Ω ni, nii et trafot pole vaja.

Elektrodünaamiline mikrofon on üsna odav ja pakub keskmist kvaliteeti. Kõrgekvaliteedilist elektrodünaamilist mikrofoni ei ole kerge valmistada. Hea sagedustundlikkuse saavutamiseks on vaja säilitada konstantset mehhaanilist üldtakistust üle terve sagedusspektri. Paljud elektrodünaamilised mikrofonid kasutavad mingil määral akustilist summutamist, et vähendada membraani resonantsi ja saada kasu membraani ja mikrofoni kaitsevõre vahelise õõnsuse resonantsefektidest, et kõrgete sageduste tundlikkust suurendada. Samuti kompenseeritakse madalate sageduste tundetuse vähendamiseks mõningal määral moonutusi.. Seda saab saavutada kompensatsioonitorukesega, mis ühendab mikrofonisisest õhku välisõhuga. Toru diameeter on soovitatav valida selliselt, et saavutada tugev reaktsioon kõrgetele sagedustele ja väiksem reaktsioon madalatele. Toru kaudu saab teatud osa rõhulainest 180° faasimuutusega siseneda membraani taha. Toru täidab ka kuulmetõri funktsiooni, et membraani kummalgi poolel õhurõhku võrdsustada.

Elektrostaatilisid mikrofonid

Elektrostaatilises ehk kondensaatormikrofonis moodustab kondensaatori ühe plaadi membraan (valmistatud tavaliselt metall-lehest või metalliga kaetud plastist). Et teha mahtuvust kergelt muudetavaks, tuleb asetada membraan tagaplaadile väga lähedale (tavaliselt umbes 0,025 mm). Läbi suure takistusega takisti antakse umbes 60 V pinge. Et laeng jääb konstantseks, siis põhjustavad mahtuvuse muutused plaatidevahelise pinge muutuse. Kondensaatormikrofonid on kõrge kvaliteediga ja kallid.



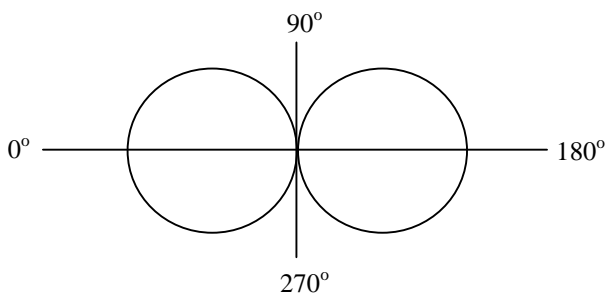
Kui on vaja suurt hulka mikrofone, siis ei ole eriti rentaal ega mugav varustada iga mikrofoni eelvõimendi isikliku toitega. Enamiku elektrostaatiliste mikrofonide puhul võib toidet anda mööda signaalijuhtmeid nn. fantoomtoitena. Signaal juhitakse maasse kaht soont mööda, kusjuures teises juhtmes on signaali faas 180° pööratud. Mikrofonikaabli teises otsas pööratakse faas tagasi.

Elektreetmembraanid

Materjalile, millest membraan tehakse (nt. kõrgpolümeerist plastriba), antakse elektrostaatilise välja abil püsilaeng. Pärast välja eemaldamist jääb laeng alles ja normaalsetel tingimustel (õhuniiskus alla 90%, toatemperatuur) püsib see kümneid aastaid, nii et mikrofoni kasutamiseks ei ole polariseeriv pinge vajalik. Pinget on vaja ainult väljatransistori jaoks. See pinge võib olla väga madal (kuni 1,5 V isegi), nii et väikesest patareist piisab mitmeks tuhandeks tunniks. Patarei võib panna trafoga ühte moodulisse mikrofonikaabli külge, võimaldades niiviisi saada erakordselt väikese mõõtmega kõrgekvaliteedilise mikrofonikapli. Elektreetmikrofon on peaaegu sama kvaliteetne kui kondensaatormikrofon, aga tunduvalt odavam.

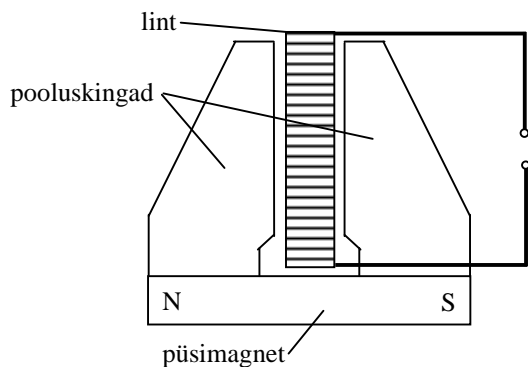
Õhurõhu gradiendi tundlikud mikrofonid

Seda tüüpi mikrofonid kasutavad ära seda, et membraani erinevatele pooltele mõjuvad helilained on üksteise suhtes faasinihkega.



Membraanipooltele mõjuv rõhuvähe on maksimaalne, kui mõlema poole helilainete teepikkuse vahe on maksimaalne (nurk on 0° või 180°). Rõhuvähe on null, kui mõlema poole helilainete teepikkuse vahe on minimaalne (nurk on 90° või 270°).

Lintmikrofonid

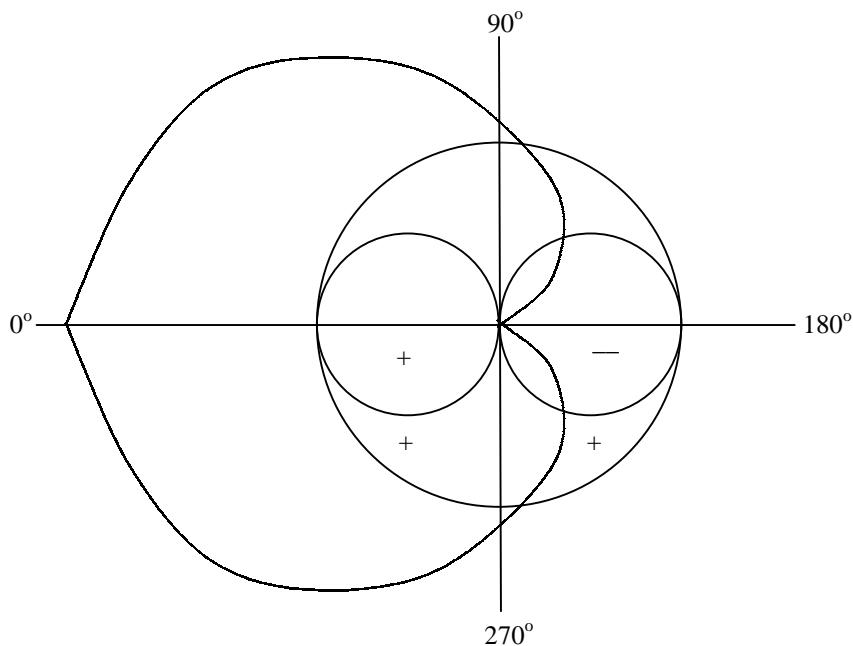


Lintmikrofon koosneb õhukesest lainestatud metall-lehest, mis on tõmmatud tugeva püsिमagneti pooluste vahele. Lint toimib membraanina, reageerides mõlemat poolt mõjutanud helilainete rõhuvahеле. Riba vibreerimine magnetväljas indutseerib ribas pinge. Kui helil on täpselt võrdne juurdepääs riba mõlemale küljele, siis on mikrofoni suunadiagramm 8-kujuline. Riba horisontaaltasandiga samal tasandil hakkab

väljund vähenema koos sageduse vähenemisega, kui heli lainepikkus hakkab lähenema lindi pikkusele. Mõnel lintmikrofonil on lindi esi- ja tagakülje vahel asümmeetrilised teed ja seega on mikrofon rohkem ühesuunaline.

Ühendatud toime

On võimalik ehitada mikrofone, kus tundlikkus helirõhu gradiendile ja tundlikkus helirõhule on ühendatud. Seda on võimalik saavutada kas kasutades ühes mikrofonis kahte eraldatud süsteemi või luua membraani tagakülge mõjutavate helilainete jaoks akustilised viitteed. Viide suurendab esi- ja tagaküljele mõjuvate helide teekondadevahet, muutes mikrofoni ühesuunamikrofoniks.



Kui ringikujuline ja 8-kujuline suunadiagramm kokku liita, siis on tulemus kahekordne selles suunas, kus mõlemad ülekanded on samas faasis, ja minimaalne selles suunas, kus ülekanded on vastasfaasis, tekitades kardioidikujulise suunadiagrammi. Kardioidikujulise suunadiagrammiga mikrofonil on 90° juures tundlikkus 6 dB väiksem maksimaalsest ja 180° juures null. Kardioidmikrofonid on monomikrofonidest kõige levinumad.

Kasutatud kirjandus

- S. W. Amos "Radio, TV & Audio Technical Reference Book", 1977
- Lembit Abo "Elektroonikakomponendid", 1997
- Eesti Entsüklopeedia, 6. köide
- Teaduse ja tehnika seletav sõnaraamat, 1997