

KIS A JEJICH BEZPEČNOST I

PRVKY SDĚLOVACÍ SOUSTAVY

DOC. ING. BOHUMIL BRECHTA, CSC.

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Projekt: ***Vzdělávání pro bezpečnostní systém státu***

(reg. č.: CZ.1.01/2.2.00/15.0070)



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

1. Úvod
2. Mikrofony
3. Druhy mikrofonů
4. Vlastnosti mikrofonů
5. Reproduktory
6. Druhy reproduktorů
7. Vlastnosti reproduktorů



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Elektroakustické měniče

MĚNIČ SE NAZÝVÁ JAKÝKOLIV TECHNICKÝ PRVEK, KTERÝ SLOUŽÍ K PŘEMĚNĚ JEDNOHO DRUHU ENERGIE NA JINÝ.

Měniče mohou být dvojího druhu:

1. reciproké - využívají přímo fyzikální principy a jsou obousměrné, což je zvláště výhodné.

*Např. **elektrodynamický mikrofon** využívá **elektromagnetickou indukci**. Tento mikrofon lze použít i jako sluchátko. Není to pochopitelně pro mikrofon ideální, ale jako sluchátko (**reproduktor**) fungovat bude.*

2. nereciproké - nevyžívají fyzikální principy, ale pouze vhodné fyzikální vlastnosti. V tomto případě se častěji používá termín převodník než měnič.

*Např. změna odporu uhlíkového prachu v závislosti na jeho stlačení se používá u **uhlíkového mikrofonu**.*

Mikrofony

Téměř všechny mikrofony obsahují membránu, což je tenká vrstva, která se pohybuje v souladu s proměnlivým **tlakem**, který vyvolává dopadající zvuková vlna.

Pohybem membrány se pak mění dopadající zvukové vlnění na **elektrický proud**.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Mikrofony

Podle způsobu přeměny dopadající mechanické (akustické) **energie** na elektrickou energii (tj. podle použitých elektromechanických měničů) se mikrofony dělí na:

1. **odprové**(nazývané též **uhlíkové**)
2. **elektrodynamické**
3. **elektromagnetické**
4. **krystalové**
5. **elektrostatické**(nazývané též **kondenzátorové**)
6. **tepelné mikrofony**

Podle **veličiny**, jejíž změna způsobuje přeměnu akustické energie na energii elektrického **pole**, se mikrofony dělí na dvě skupiny:

1. **tlakové**
2. **gradientní**



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Tlakové mikrofony

Tlakové mikrofony se vyznačují tím, že tlaková **síla** vyvolaná akustickým tlakem působí pouze na jednu stranu membrány mikrofону. Amplituda kmitů membrány nezávisí na směru, v němž leží **zdroj zvuku**, ani na vzdálenosti zdroje zvuku od mikrofону, ale jen na akustickém tlaku. Tyto mikrofony jsou všesměrové, mají tedy kulovou **směrovou charakteristiku**.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Gradientní mikrofony

Gradientní mikrofony jsou charakteristické tím, že akustický signál je přiveden na obě strany membrány mikrofonu. To znamená, že **výchylka** membrány nezávisí už na absolutní hodnotě akustického tlaku, ale na rozdílu akustického tlaku před a za membránou. Čím je tento rozdíl větší (tj. čím větší je tlakový spád - gradient), tím je větší i výchylka membrány. U těchto mikrofونů je obecně jejich výstupní napětí (úměrné výchylce membrány) úměrné n -té derivaci akustického tlaku podle **souřadnice** uvažované ve směru šíření akustické vlny. Pokud je výchylka membrány (a tedy i výstupní napětí mikrofonu) úměrná první derivaci tlaku, nazývají se tyto mikrofony gradientní mikrofony 1. řádu neboli **rychlostní mikrofony**.

Schéma mikrofونů

Tlakový mikrofون



Gradientní mikrofон



— konstrukce mikrofону
— membrána mikrofону

Směrová charakteristika

Směrové charakteristiky mikrofonů udávají, z jaké oblasti okolo mikrofonu, je schopen mikrofon přijímat zvuk.

- Tlakové mikrofony mají pevnou konstrukci, k níž je připevněná membrána. Zvuk na ní může dopadat pouze z jedné strany. To znamená, že mikrofon je schopen zaznamenat zvuk přicházející z libovolné strany mikrofonu - akustický tlak se vždy přenese na membránu a tlaková síla, kterou tento tlak vyvolal, způsobí její **deformaci**
- U gradientního mikrofonu může zvuk dopadat na membránu ze dvou stran. Proto je tento mikrofon směrový - dobře zaznamená zvuky přicházející „zepředu“ a „zezadu“, tj. z těch stran, z nichž je otevřen. Zvuk přicházející „z boku“ se rozdělí a dopadne na obě strany membrány. Její výchylka na jednu a druhou stranu má stejnou hodnotu - membrána tedy zůstane v klidu a dopad zvuku nezaznamená.

Základní vlastnosti mikrofonů

Citlivost

impedance

šum

frekvenční charakteristika

směrová charakteristika

Citlivost mikrofonu

Citlivost je poměr výstupního napětí mikrofonu a akustického tlaku, který toto napětí vybudil. Udává se v jednotkách **V.Pa⁻¹** ; je možné ji vyjádřit též relativní hodnotou v **dB** vztaženou k referenční úrovni **1V.Pa⁻¹** . Jedná se o veličinu obecně frekvenčně závislou.

Decibel (dB) - logaritmická jednotka používaná k vyjádření zvláště akustické intenzity. Rozdíl 20 dB znamená rozdíl 10x větší amplitudy signálu a 100x většího výkonu. Obvykle se používá pro vyjádření relativního poměru signálů. Je-li použit ve významu absolutní hodnoty intenzity zvuku, pak se za výchozí hodnotu 0 dB považuje akustický výkon $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ (jedná se o prahovou intenzitu slyšitelnosti čistého tónu o frekvenci 1000 Hz).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Impedance mikrofону

Elektrická impedance je impedance změřená na jeho výstupních svorkách. Její hodnota je důležitá pro optimální připojení mikrofону k zesilovači. Impedance je frekvenčně závislá a většinou se udává pro 1kHz . Vstupní impedance zesilovače by měla být 5 - 10krát větší než impedance mikrofону. Zatížení mikrofonu příliš nízkou vstupní impedancí zesilovače má za následek zkreslení frekvenční charakteristiky, zvýšení zkreslení a snížení poměru signálu k šumu.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Šum mikrofону

Šumové vlastnosti se vyjadřují odstupem šumového napětí. Je to poměr mezi výstupním napětím mikrofону, které vyvolá referenční hladina zvuku 94 dB (tomu odpovídá akustický tlak 1 Pa), a šumovým napětím na výstupu mikrofonu při jeho umístění v dokonale tichém prostředí.

Vlastní šum mikrofonu je způsoben elektrickými obvody (cívka, zesilovač, ...) a tepelný pohybem molekul vzduchu, které narážejí na membránu.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Frekvenční charakteristika mikrofonu

Frekvenční charakteristika udává rozsah přenášeného pásma akustických signálů.

Jedná se o závislost výstupního napětí mikrofonu na frekvenci (při konstantním akustickém tlaku). Pro kvalitní záznam se požaduje rovnoměrná charakteristika pro interval frekvencí (40; 15000 Hz). Nerovnoměrnost frekvenční charakteristiky (tj. její zvlnění) by nemělo v daném pásmu být větší než ± 5 dB (vztaženo k „rovnému“ průběhu).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

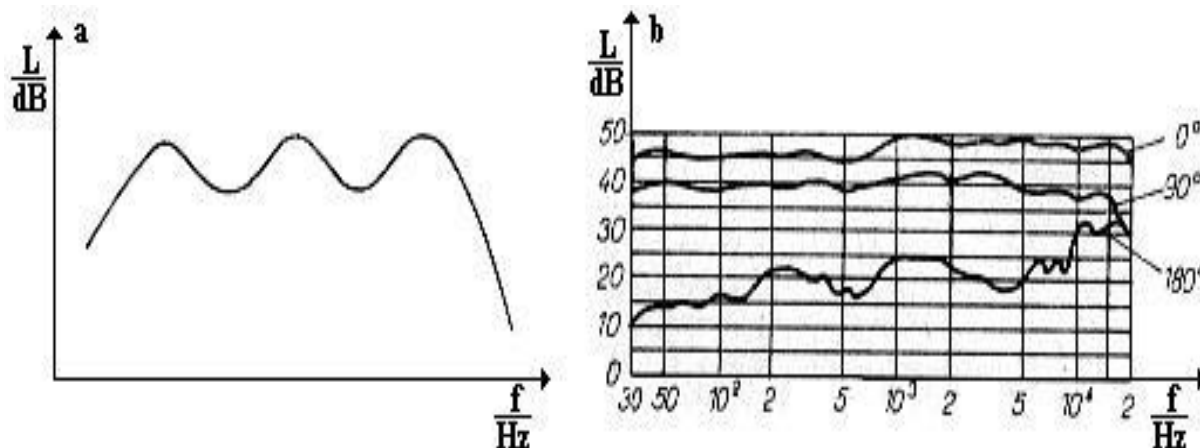


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Frekvenční charakteristika mikrofonů



a - uhlíkový mikrofon,
b - dynamický mikrofon). (Stupně u charakteristiky dynamického mikrofonu udávají, z jaké strany byl mikrofon proměřován)

Směrová charakteristika mikrofону

Směrová charakteristika je závislost citlivost mikrofónu na úhlu, který svírá akustická osa mikrofónu s osou akustického zdroje. Akustická osa mikrofónu je u rotačně symetrických mikrofónů většinou totožná s jeho osou geometrickou, u ostatních je určena výrobcem.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



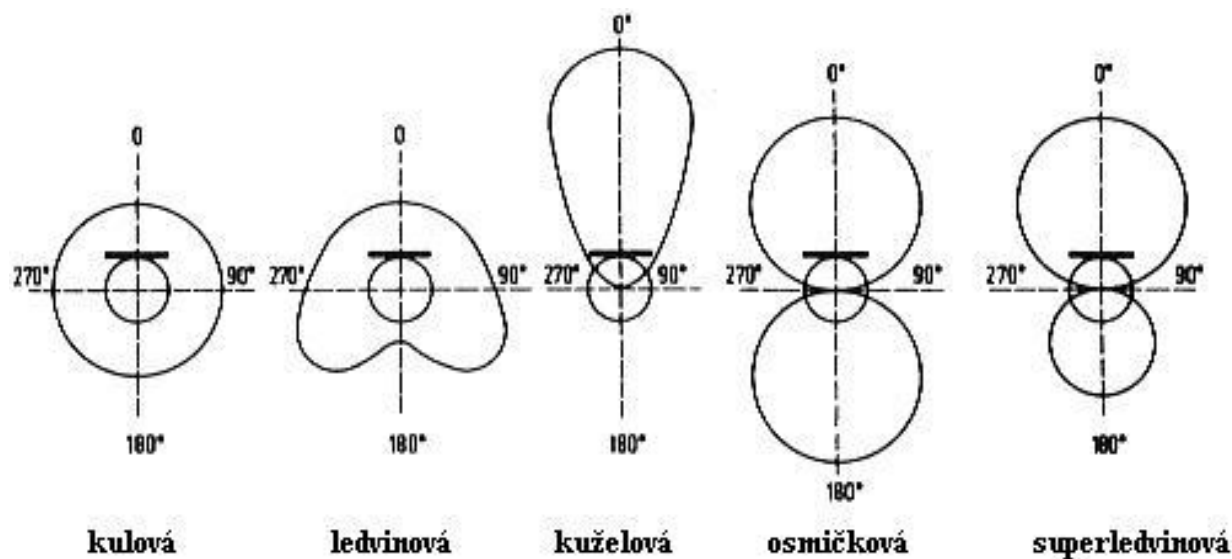
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Gradientní mikrofony

jsou směrové a mohou mít tyto směrové charakteristiky



Kulová charakteristika

- typická pro tlakové mikrofony. Tlakový mikrofon je při nízkých a středních frekvencích (tj. 40 – 8000 Hz) všesměrový, jeho citlivost je v tomto pásmu pro všechny směry stejná. Pro vyšší frekvence se stává jednostranně směřovaným, což je způsobeno deformací akustického pole rozměry mikrofonu (vlnová délka je srovnatelná s rozměry mikrofonu).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



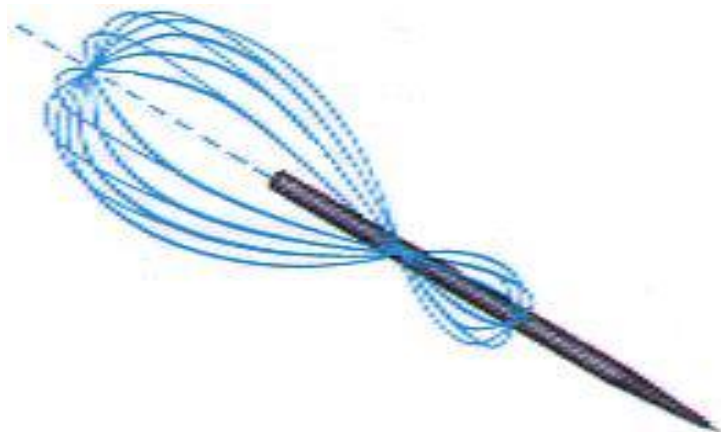
UNIVERZITA
OBRANY

Charakteristika ledvinová



mikrofon zachycuje zvuk z oblasti přímo před sebou

Charakteristika superledvinová



jedná se o protaženou verzi ledvinové charakteristiky mikrofonu umožňující vytáhnout jeden zvuk z celé škály. Jde o přechod z charakteristiky kardioidní na osmičkovou.

Charakteristika osmičková



mikrofon s touto charakteristikou je citlivý na zvuk přicházející zepředu i zezadu a je možné ho použít např. k nahrávání duet, k záznamu zvuku přímého i odraženého v koncertní síni, ...

Odporový (uhlíkový) mikrofon

Odporový mikrofon je založený na změnách odporu uhlíkových zrněk stlačovaných membránou. Vrstva uhlíkových zrněk je z jedné strany uzavřena pružnou kovovou membránou a z druhé zvlněnou uhlíkovou destičkou. Membrána se dopadem zvukového vlnění rozkmitá, zrnka uhlíku se stlačují a s měnícím se tlakem se mění i elektrický odpor uhlíkové vrstvy. Tak se mění stejnosměrný proud v primárním obvodu transformátoru na **proud modulovaný**. Modulovaný proud se nazývá stejnosměrný proud se střídavou složkou (pulsující, ...).



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

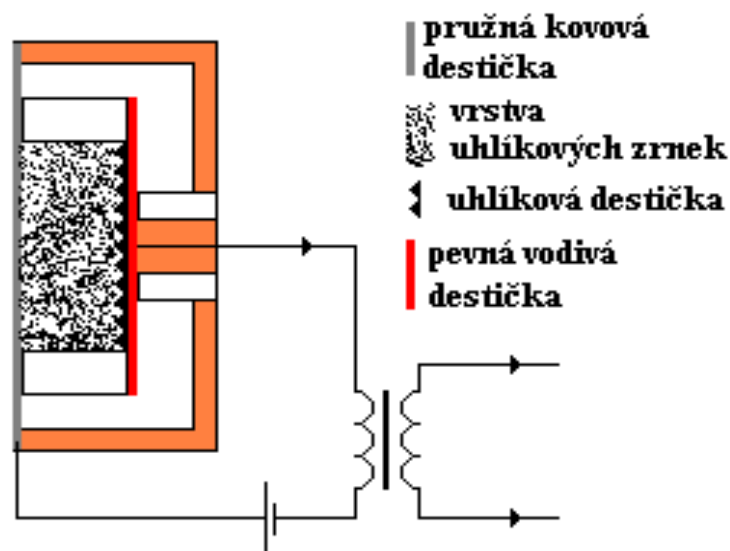


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Odporový (uhlíkový) mikrofon



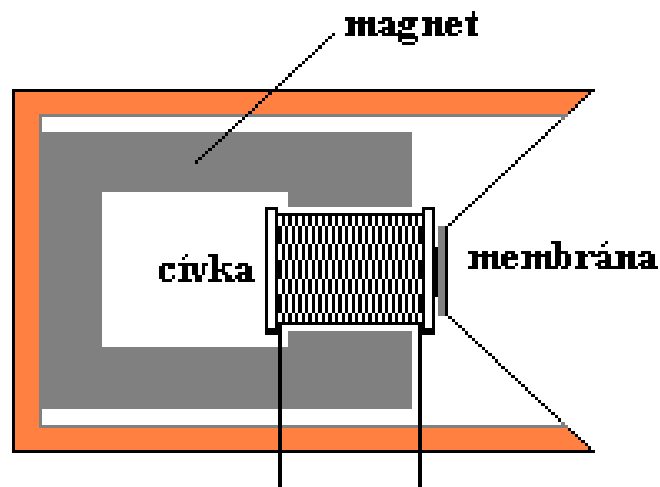
Tyto mikrofony jsou velmi citlivé, ale poměrně značně zkreslují zvuk a mají velký šum. Proto se používají hlavně v telefonních přístrojích nebo v zařízeních, kde příliš nezáleží na věrnosti zvuku.

Elektrodynamický mikrofon

➤ využívá při své činnosti elektromagnetickou indukci.

V magnetické poli trvalého magnetu se pohybuje cívka / příčně zvlněný hliníkový pásek) spojený s pružnou membránou. Kmitání membrány se přenáší na vodič a indukuje se v něm časově proměnné napětí shodného časového průběhu, jaký má akustický signál. Pomocí zesilovače se zvětší amplituda proudu (resp. napětí) a přenáší se do dalších částí sdělovací soustavy.

Elektrodynamický mikrofón



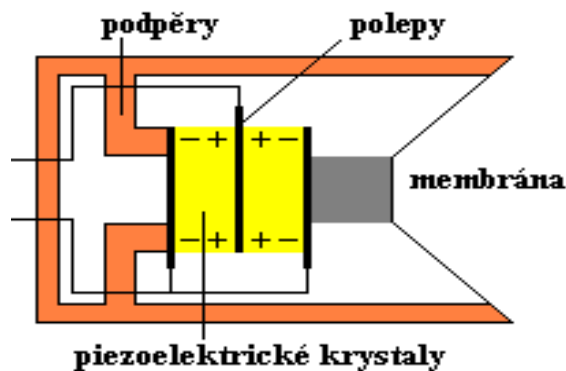
- široké frekvenční pásmo,
- malý zkreslení,
- nízký šum
- robustní konstrukce.

Na obdobném principu pracuje elektrodynamická přenoska gramofonu.

Krystalový mikrofon

Membrána zachycující zvukové vlny přenáší měnící se tlak na piezoelektrické destičky, na jejichž elektrodách (polepech) vzniká různé napětí. To je příčinou elektrického proudu, který se pak zpracovává v

dalších částech zvukové aparatury.

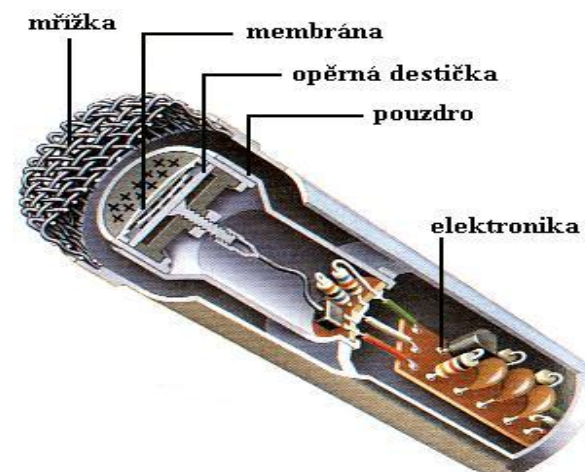


- relativně velká impedanci
- velká citlivost

Elektrostatický mikrofon

Zvukové vlny způsobují chvění membrány, což způsobuje změnu velikosti mezery mezi membránou a opěrnou destičkou. Proto se k destičce přitahuje proměnlivý počet záporných nábojů. Tímto pohybem náboje tak vzniká časově proměnný elektrický proud, jehož časový průběh odpovídá časovému průběhu zvuku dopadajícímu na membránu.

velká výstupní impedance,
vyrovnaná frekvenční
charakteristika,
vysoká citlivost,
malé zkreslení
vysoká stabilita svých vlastností

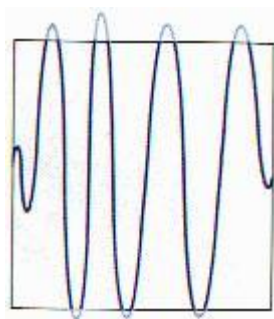


Proto se používají ve studiové technice a pro měřicí účely.

Zesilovače

- Zesilovač zvětšuje amplitudu elektrické vlny, aniž mění její základní tvar.

Jakákoliv změna tvaru vlny se při poslechu projeví zkreslením výsledného zvuku. Jedním z častých zkreslení je tzv. oříznutí, při němž se zesílený signál snaží překonat maximální a minimální napětí, které je zesilovač schopen produkovat. Vrcholky vln jsou v tom případě uříznuty a vycházející zvuk je drsný.



Reproduktory

Reproduktory je možné rozdělit podle způsobu **vyzařování** na dva základní druhy:

1. **přímo vyzařující** - akustická energie je vyzařována kmitající membránou, navazující bezprostředně na prostředí, do něhož je energie přenášena.
2. **nepřímo vyzařující** - mezi kmitající membránu elektroakustického převodníku je vložen zvukovod (nebo zvukovod doplněný pomocnými akustickými obvody) umožňující zvětšení zatížení membrány vyzařovací impedancí.

Podle typu **elektromechanického měniče** je možné reproduktory rozdělit na:

1. **elektrodynamické,**
2. **elektromagnetické,**
3. **piezoelektrické,**
4. **elektrostatické,**
5. **speciální** (tepelné, pneumatické, ...)



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Základní vlastnosti reproduktorů

- ☐ Frekvenční charakteristika
- ☐ Směrová charakteristika
- ☐ Rezonanční frekvence
- ☐ Zkreslení
- ☐ Zatížitelnost
- ☐ Jmenovitá impedance
- ☐ Účinnost
- ☐ Charakteristická citlivost

Frekvenční charakteristika reproduktoru

Jde o závislost hladiny akustického tlaku v určitém bodě před reproduktorem na frekvenci , při konstantním napětí na svorkách reproduktoru.

Udává se většinou pro bod v ose reproduktoru. Pro kvalitní reprodukci by měl být frekvenční rozsah alespoň 30 – 15000 Hz.

Frekvenční charakteristika se měří v dostatečné vzdálenosti od reproduktoru ve volném prostoru (tj. v bezdozvukové místnosti).

Frekvenční charakteristika reproduktoru

V celém akustickém pásmu není možné zajistit uspokojivou reprodukci jedním reproduktorem. Vyhovující přenosové vlastnosti může mít jedině soustava reproduktorů, z nichž každý přenáší jen určité frekvenční pásmo.

Proto se konstruuje reproduktory:

1. **hlubokotónové**
2. **středotónové**
3. **vysokotónové**

Pro méně náročné použití se používají i reproduktory širokopásmové, miniaturní, ...

Pro některé aplikace je výhodné použít reproduktor s omezenou frekvenční charakteristikou, čímž lze dosáhnout např. lepší srozumitelnost řeči.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



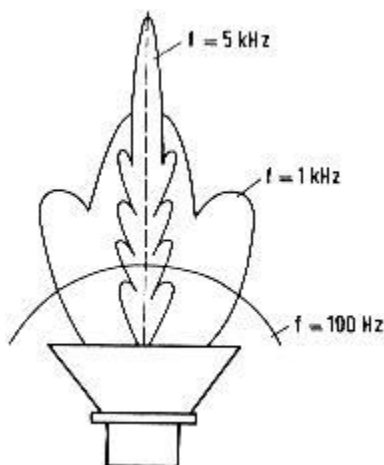
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Směrová charakteristika reproduktoru

je závislost akustického tlaku před reproduktorem na úhlu, který svírá osa reproduktoru a spojnice reproduktoru a posluchače. S rostoucí frekvencí se směrovost velmi rychle zvyšuje (viz obr. 199). Pro frekvence nad je vyzařovací charakteristika již úzce směrová.



Rezonanční frekvence reproduktoru

- je nejnižší frekvence, při níž vykazuje impedance reproduktoru maximální hodnotu.

Udává se jen u přímo vyzařujících reproduktorů a pomocí ní je dána dolní mezní frekvence reproduktoru.

Rezonanční frekvence může být snížena akustickou zátěží (např. umístěním reproduktoru v ozvučnici, ...).

Zkreslení reproduktoru

- **Lineární zkreslení** popisuje frekvenční charakteristika.
Nulové lineární zkreslení znamená ideálně rovnou frekvenční charakteristiku.
- **Nelineární zkreslení** může být:
 1. **harmonické** - nově vzniklé frekvence jsou celočíselným násobkem nebo podílem budící frekvence
 2. **intermodulační** - vzniká při reprodukci více různých frekvencí současně. Přitom vznikají součtové a rozdílové frekvence, které nejsou v harmonickém vztahu k základním tónům. Toto zkreslení je možné značně omezit rozdělením reprodukce do několika pásem.

Zatížitelnost reproduktoru

Trvalá je závislá na schopnosti reproduktoru rozptýlit vzniklé teplo, protože 95 - 99 % dodaného výkonu se přemění na tepelnou energii.

Maximální **špičkový** výkon je především omezen pevností kmitacího systému a jeho maximální možnou výchylkou.

Trvalou zatížitelnost (zdánlivý výkon udávaný ve VA) je možné přibližně určit z průměru kmitací cívky:

1. **Hlubokotónové** - jedno až dvojnásobek průměru kmitací cívky (udaném v milimetrech)
2. **Středotónové** - polovina až průměr kmitací cívky
3. **vysokotónové** - pětina až polovina průměru kmitací cívky



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Jmenovitá impedance reproduktoru

Jmenovitá impedance je nejmenší absolutní hodnota elektrické impedance reproduktoru ve frekvenčním pásmu, pro které je určen.

Jmenovitá impedance by v celém frekvenčním pásmu neměla klesnout o více než 20 % oproti udávané hodnotě.

Účinnost reproduktoru

Účinnost udává poměr vyzářeného akustického výkonu k elektrickému příkonu při optimálním výkonovém přizpůsobení.

Účinnost reproduktoru je velmi malá a pohybuje se v rozmezí 1 - 5 %. Vestavěním reproduktoru do ozvučných skříní se účinnost ještě sníží.

Účinnost nemá většinou velký význam, protože její malou hodnotu lze kompenzovat zvýšením výkonu zesilovače.

Charakteristická citlivost reproduktoru

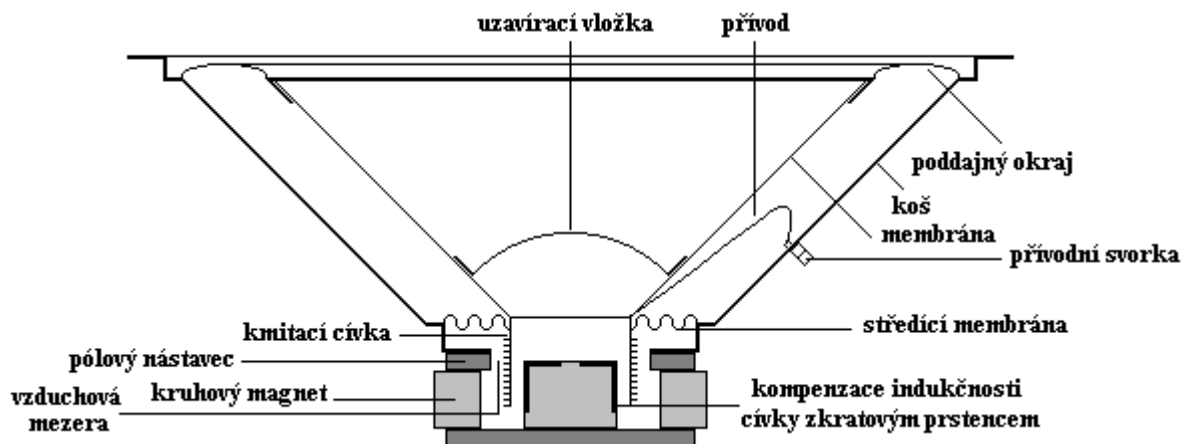
Charakteristická citlivost je průměrná hodnota efektivního akustického tlaku v daném frekvenčním pásmu v ose reproduktoru ve vzdálenosti jeden metr při standardním příkonu 1VA.

Znalost charakteristické citlivosti reproduktoru je důležitá hlavně pro návrh reproduktorových soustav.

Elektrodynamický reproduktor

Nejrozšířenější typ .

Základním principem je silové působení na vodič, kterým protéká elektrický proud, umístěný v magnetickém poli.



Piezoelektrický reproduktor

Využívá se skutečnosti, že u některých materiálů (krystaly, Seignettova sůl, speciální keramika a plasty, ...) vzniká působením elektrického pole mechanické napětí. Toto napětí vyvolává síly, které mechanicky deformují materiál. Vhodným uspořádáním se tato deformace převádí na výchylku kmitacího systému.

Nejrozšířenější piezoelektrické reproduktory využívají keramické měniče. Většinou jsou vyráběny se zvukovody.

Používají se pro reprodukci středních a zvláště pak vysokých frekvencí.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Elektrostatický reproduktor

Funkce je inverzní k funkci elektrostatického mikrofону. Také zde je jedna pevná elektroda a jedna pohyblivá. Tenká membrána je umístěna proti pevné elektrodě izolovaně v malé vzdálenosti. Mezi membránou a pevnou elektrodou je připojeno stejnosměrné polarizační napětí. Pohyb membrány odpovídá změně náboje způsobené přivedeným nízkofrekvenčním signálem. Citlivost závisí na hodnotě předpětí a frekvenční rozsah na ploše membrány.

Elektrostatické reproduktory se používají pro reprodukci vysokých tónů.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



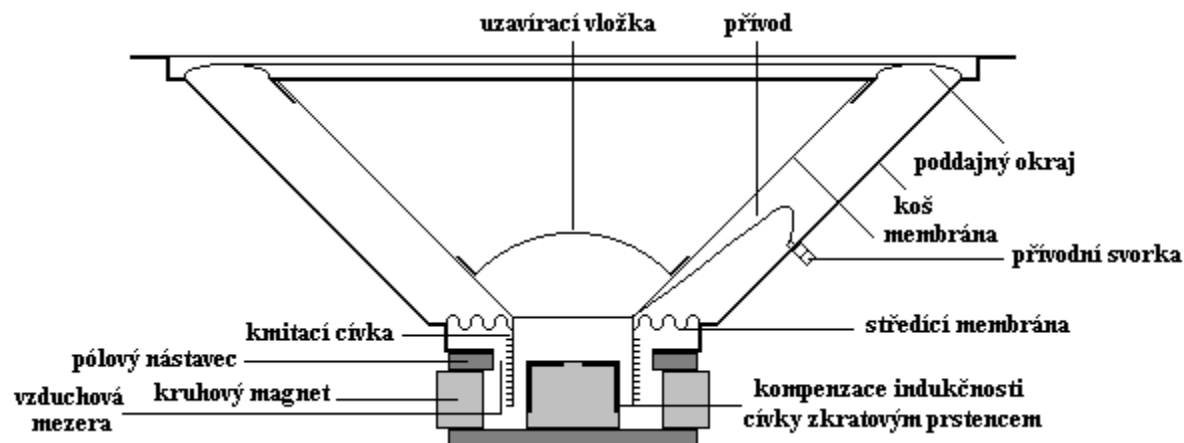
OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Tlakové reproduktory

- patří mezi reproduktory s nepřímým vyzařováním. U nich je membrána spojena s vnějším prostředím zvukovodem. V případě, že je plocha membrány větší než plocha vstupního otvoru do zvukovodu, jedná se o tlakový reproduktor.



Reproduktorové soustavy

Vyhovující reprodukci akustického signálu může zajistit jen soustava reproduktorů, z nichž každý přenáší jen určité pásmo frekvencí, pro které byl navržen. Celé akustické pásmo je rozděleno filtry (tzv. reproduktorové výhybky nebo křížnice) na dílčí úseky pro jednotlivé reproduktory.

Malé a levné reproduktorové soustavy se řeší jako dvoupásmové, větší a kvalitnější pak většinou jako třípásmové. Objevují se ale i soustavy čtyřpásmové. Jednotlivé reproduktory by měly být blízko u sebe, aby tvořily přibližně bodový zdroj zvuku.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Reproduktor HIFI

Tři jednotky pro pokrytí všech frekvencí:

1. **kupolovitý výškový** (*tweeter*) dává znít vysokým tónům o frekvenci až 20 KHz
2. **Střední** obstarává další pásmo frekvencí v rozsahu 0,5 – 4 kHz
3. **Hlubkový** (*woofer*) vydává hluboké tóny; jeho kužel je připojen k cívce, která osciluje v magnetickém poli podle toho, jaký zvuk kolem ní protéká.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

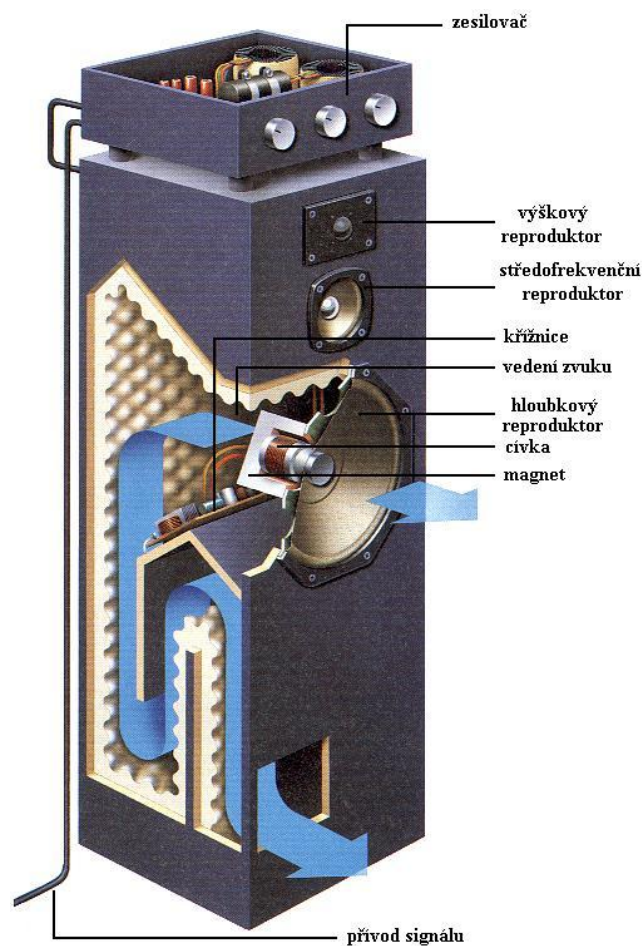


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



UNIVERZITA
OBRANY

Reproduktor HIFI



Literatura

- <http://fyzika.jreichl.com>