

Určování parametrů elektroakustických měničů – reproduktory

Ondřej Šika

Obsah

1	Zadání	4
2	Teoretický úvod	4
2.1	Zvuk	4
2.2	Základní parametry zvuku	4
2.2.1	Rychlost zvuku	4
2.2.2	Hladina akustického tlaku	5
2.2.3	Intenzita zvuku	5
2.3	Elektroakustické měniče	5
2.3.1	Elektrodynamický měnič	5
2.3.2	Elektromagnetický měnič	5
2.3.3	Magnetostrikční měnič	6
2.3.4	Elektrostatický měnič	6
2.3.5	Piezoelektrický měnič	6
2.3.6	Odporový měnič	6
2.4	Elektrodynamický reproduktor	6
2.5	Základní parametry reproduktorů	7
2.5.1	Jmenovitá impedance	7
2.5.2	Směrová charakteristika	7
2.5.3	Frekvenční charakteristika	8
2.5.4	Účinnost reproduktoru	8
2.6	Reprodukční soustavy	8
2.6.1	Ozvučnice	8
3	Schéma zapojení	8
4	Postup měření	9
5	Naměřené a vypočtené hodnoty	10
5.1	Impedanční charakteristika	10
5.1.1	Hlubkový reproduktor	10
5.1.2	Výškový reproduktor	10
5.2	Amplitudová frekvenční charakteristika T5-OF	10
5.3	Směrová charakteristika reproduktoru T5-OF	10
6	Výpočty	11
6.1	Impedance	11
6.2	Vstupní impedance reproduktoru T5-OF	11
6.3	Ověření hodnoty L_p změřené ve vzdálenosti 2m	11
6.4	Charakteristická citlivost v 1m/1W	11
6.5	SPL ve vzdálenosti 8m a příkonu 12W	11
7	Grafy	12
7.1	Impedanční charakteristiky	12
7.1.1	Hlubkový reproduktor	12

7.1.2	Výškový reproduktor	13
7.2	Amplitudová frekvenční charakteristika T5-OF	14
7.3	Směrová charakteristika T5-OF	15
8	Použité přístroje	16
9	Závěr	16

1 Zadání

1. Změřte a nakreslete závislost impedance elektrodynamického reproduktoru na kmitočtu. Měření proveďte na hloubkovém i výškovém reproduktoru.
2. U obou typů reproduktorů zjistěte velikost vlastní rezonance jmenovité impedance, hodnoty vyznačte do příslušných grafických závislostí a v závěru porovnejte s údaji výrobce.
3. Změřte vstupní impedanci tlakového reproduktoru T5-OF při frekvenci 1kHz. Naměřenou hodnotu okamžitě po měření zkontrolujte s údajem výrobce.
4. Změřte a nakreslete amplitudovou frekvenční charakteristiku $LP = f(f)$ tlakového reproduktoru T5-OF ve vzdálenosti 1m. Pro frekvenci 1kHz změřte LP (= SPL – hladina akustického tlaku v dB) ve vzdálenosti 1 a 2 metry.
5. Hodnotu LP změřenou ve vzdálenosti 2 m ověřte výpočtem.
6. Z naměřených hodnot vypočítejte charakteristickou citlivost LS (udávanou v dB/W, 1m). Určete hladinu akustického tlaku ve vzdálenosti $l = 8$ m při příkonu reproduktoru $P = 12$ W. (Pro výpočty neuvažujte vliv odraženého zvuku.)
7. Změřte a nakreslete směrovou charakteristiku tlakového reproduktoru T5-OF ve vzdálenosti 1m při dvou různých frekvencích z kmitočtového rozsahu reproduktoru.

2 Teoretický úvod

2.1 Zvuk

Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Frekvence tohoto vlnění, které je člověk schopen vnímat, jsou značně individuální a leží v intervalu přibližně 16 Hz až 20 000 Hz. Mechanické vlnění mimo tento frekvenční rozsah sluchový vjem nevyvolává, přesto se někdy také označuje jako zvuk.

2.2 Základní parametry zvuku

2.2.1 Rychlost zvuku

Rychlost zvuku není konstantní, závisí na teplotě prostředí, vlhkosti, a dalších fyzikálních parametrech. Závislost rychlosti zvuku ve vzduchu lze matematicky zapsat:

$$v = (331,82 + 0,61t)ms^{-1}$$

kde v je rychlost zvuku, t je teplota ve stupních Celsia.

2.2.2 Hladina akustického tlaku

Protože slyšitelný rozsah vjemů přesahuje sedm dekadických řádů hodnot této veličiny, užívá se pro ni logaritmického vyjádření v jednotkách decibel:

$$L_P = 20 * \log \frac{p}{p_0}$$

kde p_0 je smluvní vztažná hodnota akustického tlaku, označovaná často jako práh slyšení: $p_0 = 2 * 10^{-5} Pa$ Dynamika lidského sluchu - od prahu slyšení po práh bolesti - je 120 až 125 dB. Při vysokých intenzitách může dojít k poškození sluchu.

2.2.3 Intenzita zvuku

I je definována jako zvuková energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času, tedy akustický výkon na jednotku plochy:

$$I = \frac{E}{S * t}$$

Hladina intenzity zvuku L je veličina udávající intenzitu zvuku v jednotkách decibel:

$$L = 10 * \log \frac{I}{I_0}$$

kde I_0 je smluvní vztažná hodnota intenzity: $I_0 = 10^{-12} W m^{-2}$

2.3 Elektroakustické měniče

Zachytávají zvukové vlny, které mění na vlny elektrické (časově proměnný elektrický proud) a naopak.

V případě převodu zvukového vlnění na elektrické střídavé proudy nazýváme takový měnič mikrofonom, v případě převodu střídavých proudů na akustické vlny hovoříme o reproduktoru.

2.3.1 Elektrodynamický měnič

Jeho činnost je založena na principu vzájemného působení dvou magnetických polí. Jedno je tvořeno permanentním magnetem, druhé je vytvářeno vodičem. Pracuje-li měnič jako vysílač, pak vodičem prochází signální proud, vyvolá v něm magnetické pole a vodič se dá do pohybu. V případě, že je měnič přijímačem, převede se akustický signál na pohyb vodiče, následkem kterého se ve vodiči indukuje napětí.

2.3.2 Elektromagnetický měnič

Pracuje na principu elektromagnetu. Pracuje-li měnič jako přijímač, indukuje se v cívice napětí, pracuje-li jako vysílač, využívá síly, která vznikne v kotvě při průchodu proudem závitů cívkou.

2.3.3 Magnetostrikční měnič

Využívá vlastností některých feromagnetických látek deformovat se v magnetickém poli. Síla deformující materiál je přímo úměrná proudu, kterým se budí magnetické pole. Obrácený jev sice existuje, avšak nevyužívá se. Tyto měniče se používají v oblasti ultrazvuku.

2.3.4 Elektrostatický měnič

Pracuje na principu deskového kondenzátoru, jehož jedna deska je pohyblivá. Pracuje-li měnič jako přijímač, pak dopadající zvuková vlna mění vzdálenost mezi elektrodami a tím i kapacitu kondenzátoru, pracuje-li jako vysílač, pak přiložené signálové napětí vyvolá změnu směru a velikosti síly, jíž je vychylována pohyblivá deska kondenzátoru.

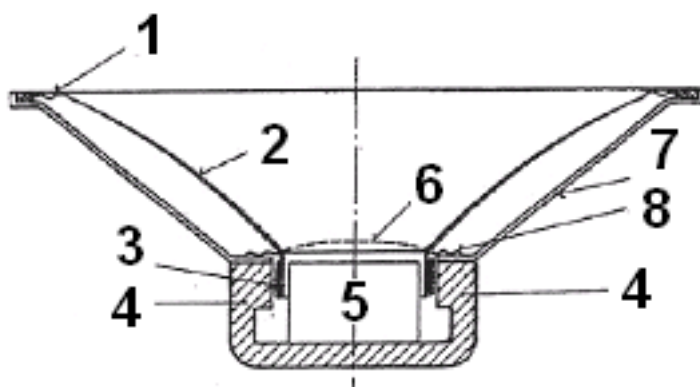
2.3.5 Piezoelektrický měnič

Využívá tzv. piezoelektrický jev, při kterém krystaly některých látek vykazují na svých stěnách elektrický náboj při jejich mechanické deformaci a opačně, pop přiložení náboje se deformují.

2.3.6 Odporový měnič

Používá se pouze u mikrofону, pohyb membrány stlačuje zrnka odporového materiálu a tím jeho odpor mění, měnič mění akustickou energii na elektrickou nepřímo.

2.4 Elektrodynamický reproduktor



1. Upevnění membrány
2. membrána
3. cívka
4. pólový nástavec
5. permanentní magnet
6. uzavření membrány

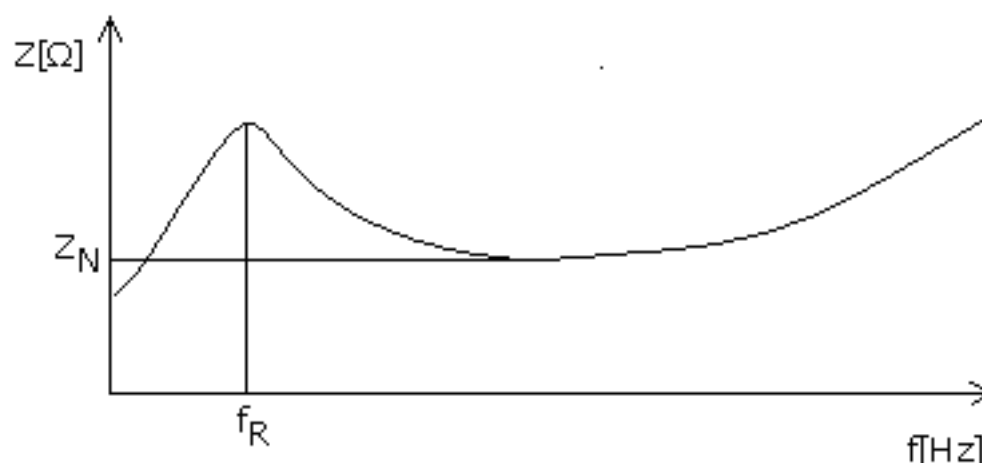
7. rám

8. středící membrána

2.5 Základní parametry reproduktorů

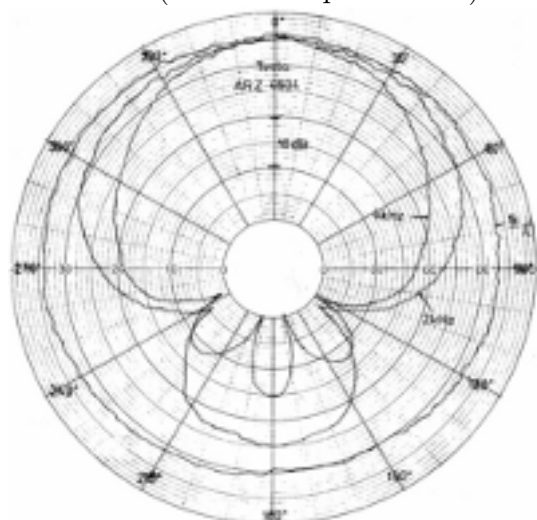
2.5.1 Jmenovitá impedance

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.



2.5.2 Směrová charakteristika

Směrová charakteristika reproduktoru je závislost akustického tlaku před reproduktorem na úhlu, který svírá osa reproduktoru a spojnice reproduktoru a měřícího mikrofону (eventuelně posluchače).



2.5.3 Frekvenční charakteristika

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

2.5.4 Účinnost reproduktoru

Účinnost reproduktoru 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.

2.6 Reproduktrorové soustavy

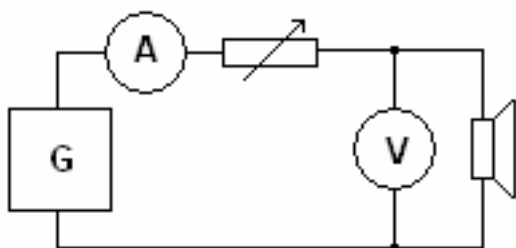
Reproduktrorová soustava je skupina reproduktorů, obvykle umístěná do jedné skříně, zvané ozvučnice. Jako reprosoustava je označována i ozvučovací jednotka pro kina, přestože může obsahovat v ozvučnici jen jeden reproduktor a druhý, se svým vlastním zvukovodem může být umístěn mimo ozvučnici.

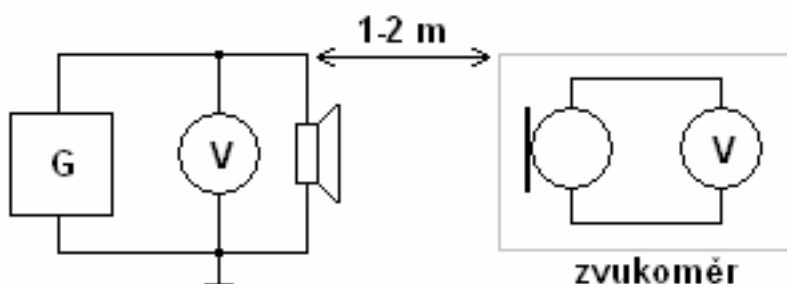
2.6.1 Ozvučnice

Ozvučnice jsou obvykle z materiálů na bázi dřeva - dřevovláknových desek, překližky, MDF, vrstvených materiálů podobného druhu. V leckterých případech se používá i jiný materiál - plasty, tvrzený papír a podobně.

Rozhodující vlastností materiálů je tuhost ozvučnice a její vhodné rozměry, za určitých okolností i odolnost vůči prostředí (instalace v exteriéru) apod.

3 Schéma zapojení





4 Postup měření

Pro měření impedanční charakteristiky použijte VA metodu. K měření použijte generátor s nízkou výstupní impedancí. Napětí měřte nf milivoltmetrem, hodnotu proudu udržujte konstantní. Pokud nemáte k dispozici ampérmetr s dostatečným frekvenčním rozsahem, lze k měření proudu využít i druhý voltmetr (jak?).

Při vlastním měření bedlivě hlídejte hodnotu vlastní rezonance, která se projeví prudkým zvýšením impedance reproduktoru (viz Teoretický úvod). Při nevhodném nastavování frekvence však vlastní rezonanci reproduktoru ani nezaznamenáte. Jmenovitou impedanci reproduktoru získáte v okolí kmitočtu, kde hodnota impedance poklesne na minimum. Směrem k vyšším kmitočtům pak bude impedance opět vzrůstat.

Amplitudovou frekvenční charakteristiku změřte zvukoměrným mikrofonom, který bude umístěn v ose tlakového reproduktoru ve vzdálenosti 1 metr. Zároveň udržujte konstantní příkon reproduktoru.

Směrovou charakteristiku změříte opět zvukoměrem. Toto měření musíte provádět ve zvukotěsné místnosti za naprostého klidu. Reproduktor i zvukoměrný mikrofón jsou ve stejné výšce ve vzdálenosti 1 metr od sebe. Na reproduktoru udržujte konstantní napětí a postupně otáčejte zvukoměrným mikrofonom po 30°. Úrovně změřené zvukoměrem zaznamenávejte do tabulky. Toto měření proveďte pro dva kmitočty – podle kmitočtové charakteristiky měřeného typu reproduktoru. Z naměřených hodnot sestrojte polární diagramy.

5 Naměřené a vypočtené hodnoty

5.1 Impedanční charakteristika

5.1.1 Hloubkový reproduktor

konstantní $I_1 = 6mA$

F [Hz]	10	20	30	40	60	80	100	200
U_2 [V]	0.054	0.057	0.059	0.063	0.096	0.179	0.091	0.058
Z [Ω]	9	9.5	9.83	10.5	16	29.83	15.17	9.67
F [Hz]	400	600	800	1000	2000	3000	4000	5000
U_2 [V]	0.061	0.061	0.070	0.073	0.076	0.700	0.620	0.510
Z [Ω]	10.17	10.17	11.67	12.17	12.67	116.67	103.33	85

5.1.2 Výškový reproduktor

konstantní $I_1 = 6mA$

f [Hz]	500	700	1000	1100	1160	1200	1300	1400
U_2 [V]	0.05	0.06	0.08	0.11	0.13	0.13	0.1	0.08
Z [Ω]	9	9.33	13.67	19	21.83	21.67	16	12.83
f [Hz]	1600	2000	3000	5000	10000			
U_2 [V]	0.06	0.05	0.04	0.02	0.06			
Z [Ω]	9.33	8	6.67	3.67	10			

5.2 Amplitudová frekvenční charakteristika T5-OF

konstantní $l_1 = 1m$

f [Hz]	350	400	500	700	1000	1200	1400	1700
L_P [dB]	70	83	81	83.5	88	88	90	85.5
f [Hz]	2000	2200	2400	2700	3000	3500	4000	4500
L_P [dB]	75.5	71	67.5	74	77	84.5	75	58

konstantní $l_1 = 2m$

f [Hz]	1000
L_P [dB]	78

5.3 Směrová charakteristika reproduktoru T5-OF

konstantní $l = 1m$, $U = 2.3V$, $I = 5.33mA$

α [°]	0	30	60	90	120	150	180	210
L_{P1kHz} [dB]	87.4	82.1	74.7	62.8	66.3	66.1	69.6	62
L_{P2kHz} [dB]	74.5	63.5	50.5	52	58.3	43.2	40	37.5
α [°]	240	270	300	330	360			
L_{P1kHz} [dB]	69	69.4	78.8	80.2	87.4			
L_{P2kHz} [dB]	42	37.5	57	61	74.5			

6 Výpočty

6.1 Impedance

$$Z = \frac{U_2}{I} = \frac{0.096}{0,006} = 16\Omega$$

6.2 Vstupní impedance reproduktoru T5-OF

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{2,3}{0,00533} = 431,52\Omega$$

6.3 Ověření hodnoty L_p změřené ve vzdálenosti 2m

$$L_{P2} = L_{P1} - 20 * \log \frac{l_2}{l_1} = 88 - 20 * \log \frac{2}{1} = 88 - 6,02 = 81,98dB$$

6.4 Charakteristická citlivost v 1m/1W

$$P_1 = U * I = 2.3 * 0.00533 = 0.01225W$$

$$L_s = L_{P2} = L_{P1} - 10 * \log \frac{P_1}{P_2} = 88 - 10 * \log \frac{0.01225}{1} = 107,12dB/W$$

6.5 SPL ve vzdálenosti 8m a příkonu 12W

$$L_{P1} = L_s - 20 * \log \frac{l_2}{l_1} = 107,12 - 20 * \log \frac{8}{1} = 89,06dB$$

$$L_{P2} = L_{P1} - 10 * \log \frac{P_1}{P_2} = 89.06 - 10 * \log \frac{0.01225}{12} = 118,97dB$$

7 Grafy

7.1 Impedanční charakteristiky

7.1.1 Hlubkový reproduktor

7.1.2 Výškový reproduktor

7.2 Amplitudová frekvenční charakteristika T5-OF

7.3 Směrová charakteristika T5-OF

8 Použité přístroje

- přípravek s reproduktory
- multimetr: E19, e20, 34
- rezistor: c2-24-472, 3206-1t6f-517
- generátor: 7-14a-c2179
- zvukoměr
- T5-OF

9 Závěr

Charakteristiky vyšly podle očekávání z teoretického úvodu. Velikost rezonanční frekvence basového reproduktoru byla 80Hz. Reproduktor při ní měl 35Ω . Jmenovitá impedance byla 16Ω . U výškového reproduktoru jsme změřili 21.83Ω při rezonanci ve frekvenci 1160Hz. Jmenovitá impedance je $6,67\Omega$. Jmenovytá impedance T5-OF je 431Ω , což už nesplňuje impedanci 600Ω s 25% tolerancí, udávanou výrobcem. Resonanční frekvence se mění usazením reproduktoru do ozvučnice.