

5. AKUSTICKÉ SYSTÉMY - ULTRAZVUK

Obecne môžeme hovoriť o akustických systémoch, teda o využití zvukových vln pre meracie účely. Prevažne sa využíva vyššia frekvencia zvukových vln, siahajúca do oblasti ultrazvuku, približne 40kHz ÷ 10MHz.

Využitie frekvencií ultrazvuku (UZ) má niekoľko dôvodov:

- UZ frekvencie sa ľahšie smerujú a detekujú
- menšia $\lambda \rightarrow$ **vyššia presnosť** (100 kHz $\rightarrow \lambda = 3,43$ mm)
- vysielacie a prijímače majú prijateľnejšie - menšie rozmery
- systémy nerušia ľudský sluch

Metódy:

- ♦ využíva sa známa rýchlosť šírenia zvuku c
- ♦ využíva sa ovplyvnenie, alebo poznanie geometrie šírenia

Prevažná väčšina metód využíva známu rýchlosť šírenia zvuku a geometriu šírenia.

Využitie UZ je v rôznych oboroch, najdôležitejšie sú :

- zistenie prekážok, meranie vzdialeností
- defektoskopia
- meranie prietoku
- medicína - kontrola vnútorných orgánov
- systémy s povrchovými vlnami (PAV, angl. SAW)
- spolupráca s inými obormi - akustooptika, chémia, atď...

5.1. Základné pojmy

5.1.1. Ultrazvukové (UZ) vlny

Zvukové vlny sú obecne kmitania hmotných častíc prostredia okolo rovnovážnej polohy.

O UZ vlnách hovoríme, ak frekvencia je vyššia ako 20 kHz. Dolná hranica je potom 20 ÷ 40 kHz, horná hranica je okolo 300 ÷ 400 kHz pre plyny. Pre kvapaliny a tuhé telesá je hranica vyššia, rádovo MHz. Povrchové akustické vlny (PAV) až 10-ky MHz.

Typy vln :

- ♦ **priestorové** (objemové) - šíria sa v objeme látky, môžu byť:
 - *priečne*, častice kmitajú kolmo na smer šírenia zvuku
 - *pozdlžne*, častice kmitajú v smere šírenia zvuku
- ♦ **povrchové** - Povrchové Akustické Vlny (PAV), šíria sa na rozhraní dvoch odlišných prostredí, môžu byť priečne, i pozdlžne

V plynch a kvapalinách vzhľadom na štruktúru látky vznikajú **len pozdlžne vlny**. Priečne vlny teda vznikajú v tuhých látkach, alebo ako povrchové.

Miesta s rovnakou fázou kmitania sa nazývajú *vlnoplochy*. Základné tvary sú rovinné a guľové. Vo veľkých vzdialenostiach od zdroja i guľové prechádzajú na rovinné.

Základné akustické veličiny

Akustický tlak p - dôsledok pozdĺžnych vln v kvapalinách a plynch - zmena tlaku. Je to skalárna veličina, jednotka je pascal [Pa]. Veľa snímačov reaguje na túto veličinu.

Akustická rýchlosť v - kmitanie častíc okolo rovnovážnej polohy. Je to striedavý vektor, jednotka je [m/s]. (rovnovážna poloha sa však pohybuje rýchlosťou c)

Rýchlosť šírenia c - vyjadruje šírenie zvuku od zdroja v okolitom prostredí. Je to jednosmerný vektor, jednotka je [m/s]. Veľkosť závisí od vlastností materiálu.

Akustická impedancia Z - vyjadruje vlastnosti prostredia, merná akustická impedancia z je na jednotku plochy.

$$z = \frac{p}{v} = \rho \cdot c \quad [\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}]$$

$$\rho \cdot c \quad \text{vlnový odpor prostredia}$$

Intenzita zvuku I : je definovaná ako : $I = p \cdot v$ [W/m²; Pa; m/s]

v [dB] $I_{\text{dB}} = 10 \log (I / I_0)$ kde $I_0 = 10^{-12}$ [W/m²] je sluchový prah

S tým súvisiaci akustický tlak je potom v dB vyjadrený :

$$p_{\text{dB}} = 20 \log p/p_0 \quad \text{kde } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [Pa] je sluchový prah.}$$

Akustický výkon (prenášaný vlnením v smere šírenia) :

$$P_s = I \cdot S \quad [\text{W}; \text{W/m}^2 ; \text{m}^2]$$

Vzťahy a linearita neplatia, ak $p \rightarrow p_{\text{atmosfer}} (\approx 100 \text{ kPa})$ t.j. pri $I > 170 \text{ dB}$

Vplyv UZ na živé organizmy je pozorovateľný, ak $I > 3 \div 5 \text{ W/cm}^2$ (okolo 160 ÷ 170 dB).

Vlnová dĺžka λ [m].

$$\lambda = c / f \quad [\text{m}; \text{m/s}; \text{Hz}]$$

kde: c - rýchlosť šírenia (v danom prostredí)
 f - frekvencia vlnenia

Poznámka: Pri prechode do iného prostredia s inou c sa pri zachovanej frekvencii mení dĺžka vlny λ .

5.1.2. Šírenie UZ v plynch (vzduchu)

Vystupujú tu okrem iných dva hlavné problémy:

- útlm UZ vln
- rýchlosť šírenia c

Útlm UZ vln

Intenzita zvuku klesá so vzdialenosťou x podľa vzťahu $1/x^2$. V reálnych prostrediach (vzduch, kvapalina) je pokles väčší. Pokles vyjadrujeme celkovým koeficientom útlmu α . V jeho hodnote je zahrnutý vplyv viskozity, teploty a molekulárnej relaxácie. Hodnota pre dané prostredie nie je konštantná a závisí od :

- teploty prostredia
- vlhkosti prostredia
- frekvencie vln

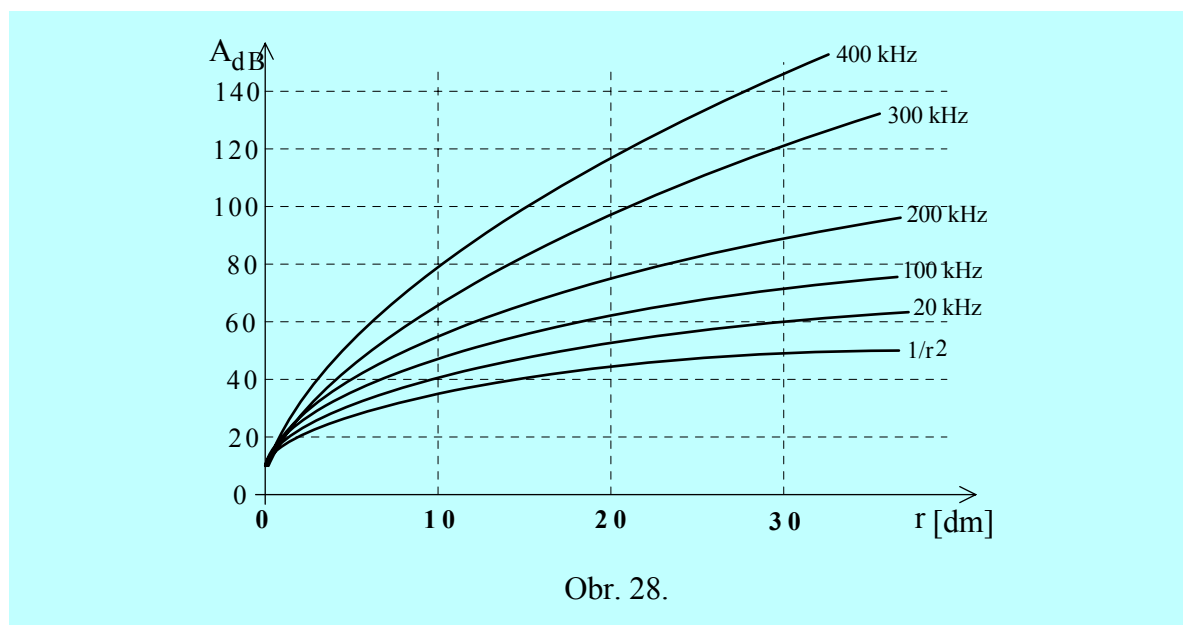
Jednotkou koeficientu α je $[1/m]$ alebo $\alpha_{dB} [dB/m]$. Celkový útlm potom rastie so vzdialenosťou a je rovný :

$$A_{dB} = \alpha_{dB} \cdot r \quad \text{kde : } A_{dB} - \text{celkový útlm v [dB]} \\ \alpha_{dB} - \text{celkový koeficient útlmu v [dB/m]} \\ r - \text{vzdialenosť zdroja a meraného bodu [m]}$$

Iný spôsob vyjadrenia útlmu (ak sú známe akust. tlak p a intenzita I) :

$$A_{dB} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad \text{alebo} \quad A_{dB} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

kde p_0 a I_0 sú hodnoty v mieste zdroja zvuku. Závislosť útlmu od frekvencie a vzdialenosti vo vzduchu je na obr. 28.



Obr. 28.

Tu vidíme, že pre vyššie frekvencie je útlm veľmi vysoký, preto sa v plynch nepoužívajú vyššie frekvencie ako cca 200 kHz.

Pri šírení **harmonického signálu** útlm znamená **pokles amplitúdy** so vzdialenosťou.

Pre **obdĺžnikový priebeh** (impulzné metódy) vyššie frekvencie sú viac tlmené, preto **klesá strmosť nábežnej hrany**.

Rýchlosť šírenia UZ vln

Základná rovnica pre rýchlosť šírenia zvuku c :

$$c = c_0 (1 + \gamma \vartheta) (1 + A_v \delta)$$

c_0 - rýchlosť šírenia zvuku pri 0°C a 0 % relat. vlhkosti ($c_0 = 331,46$ [m/s])

γ - teplotný koeficient rýchlosti šírenia (okolo 0 °C) $\gamma = 1,83 \cdot 10^{-3}$ [°C⁻¹]

A_v - vlhkosťná konštanta (medzi 50 ÷ 200 kHz) $A_v = 2,2 \cdot 10^{-4}$

δ - relatívna vlhkosť (plynu) [%]

ϑ - teplota (plynu) [°C]

upravená rovnica (platná pre frekvencie < 100 MHz) je:

$$c = 331,46 (1 + 1,83 \cdot 10^{-3} \vartheta) (1 + 2,2 \cdot 10^{-4} \delta)$$

Príklad:

Pri meraní $L = 1\text{ m}$ a $\Delta \vartheta = 2$ °C je chyba **3,62 mm**. Pri $\Delta \vartheta = 20$ °C je chyba **35,33 mm** (pre $L = 1\text{ m}$)

Poznámka: "hodinová" c vo vzduchu je cca **1234 km/hod = 1 MACH** (letecký termín)

- 5-1. 1. Aká je rýchlosť šírenia zvuku (UZ) vo vákuu ?
 2. Aké sú asi rýchlosti šírenia v iných látkach ?
 3. Kde sa potom využívajú frekvencie do 10 MHz, keď vo vzduchu je to len do cca 200 - 300 kHz ?

5.2. Akustické meniče

Základné požiadavky na meniče:

- geometrické tvary a rozmery
- elektrické parametre
- akustické parametre a ich vzťah k elektrickým
- recipročná činnosť - jeden menič môže vysielat' i prijímať UZ vlny

Geometrické tvary

Hovoríme o tvare aktívnej plochy, vysielajúcej vlny. Používame tvary :

- ♦ bodový (kvázibodový, priamkový) - typická iskra
- ♦ guľový (pologuľa, guľ. vrchlík)
- ♦ valcový
- ♦ rovinný

Rovinný typ - je použiteľný na snímanie jednej súradnice (vzdialenosť)

Priamkový (valcový) - vhodný pre jednu (x), nutný pre dve ($x - y$) súradnice

Bodový, guľový - vhodný pre $\{x\}$; $\{x - y\}$; nutný pre $\{x - y - z\}$ snímanie

Tvar zvukovej vlny v blízkosti vysielача je taký istý ako jeho povrch. So vzdialenosťou sa postupne mení na guľový a neskôr na rovinný.

Reálne používame systémy :

- piezoelektrické - rovinné, valcové, guľové (všetko recipročné typy)
- kondenzátorové (elektrostatické) - rovinné, kvázibodové, valcové, guľový vrchlík (všetko recipročné typy)
- elektrický výboj - najmä iskra ako vysielач

Akusto - elektrické parametre

Mali by byť dodržané tieto :

- ♦ akustický výkon (tlak) v mieste merania min. 10^{-2} Pa
- ♦ citlivosť prijímača min. 0,1 mV/Pa (bežne 1 ÷ 20 mV/Pa)
- ♦ akustické prispôsobenie - dodržať malý rozdiel akust. impedancií (vln. odporov)

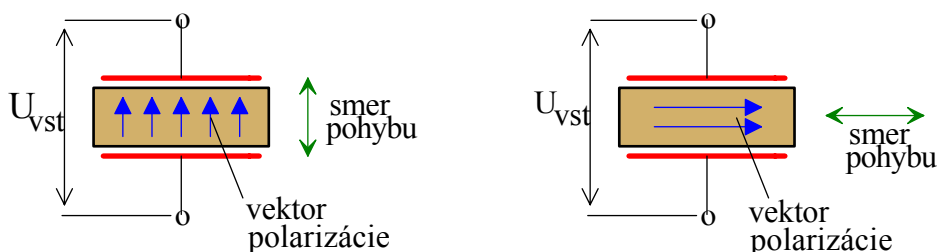
Poznámka: Dodržaním prvej a druhej podmienky získame z prijímača min. 1 μ V výstupný signál, čo sa dá ďalej dobre spracovať.

5.2.1. Piezoelektrické meniče

Využívajú piezoelektrický jav, ako materiál v súčasnosti slúži hlavne piezokeramika. Pri pôsobení sily (akust. tlaku) sa objaví náboj, pri privedení elektr. signálu sa menia rozmery elementu.

Výroba piezokeramiky je podobná výrobe keramiky. Môžeme ju zhrnúť do reťazca : výber surovín, mletie, zmiešanie, lisovanie tvarov, vypálenie, polarizovanie. Suroviny sú na báze Ba a Ti. Elektródy sú naparené (naprášené) strieborné, alebo niklové. Polarizácia prebieha pri zvýšenej teplote (olej) v silnom elektr. poli medzi elektródami pracovnými, alebo len v elektr. poli vonkajšom. Pri pôsobení el. poľa znižujeme teplotu pod Curieho hodnotu, materiál je spolarizovaný. Element sa správa podľa toho, v akom vzťahu je vektor polarizácie s vektorom mechanických zmien (vplyvov). Pri aplikácii namáhania materiálu v smere polarizácie sa na elektródach objaví max. napätie (náboj) . Pri privedení napätia na elektródy sú max mechanické zmeny v smere vektora polarizácie, obr. 29.

Poznámka: Hustota piezokeramiky je $\rho = 2 \div 7,5 \text{ kg/dm}^3$, rýchlosť šírenia $c = 4000 \text{ m/s}$.



Obr.29

Najviac používané sú :

- platnička, disk $\rightarrow X$ (radiálny mód, hrúbkový mód)
- dutý valec $\rightarrow X - Y$
- dutá guľa $\rightarrow$ priestor

Piezoelement reprezentuje **rezonančný obvod**. Ekvivalentná el. schéma je na obr. 30a.

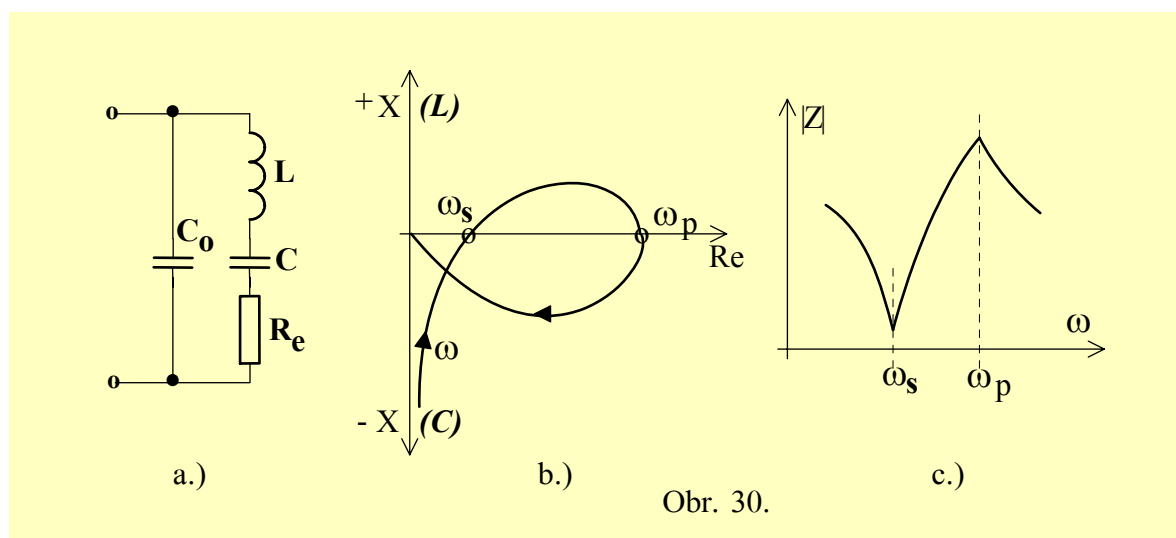
V schéme máme :

C_0 - statická kapacita medzi elektródami

L - indukčnosť predstavuje zotrvačnosť a je úmerná hmotnosti

C - kapacita je úmerná mechanickej poddajnosti

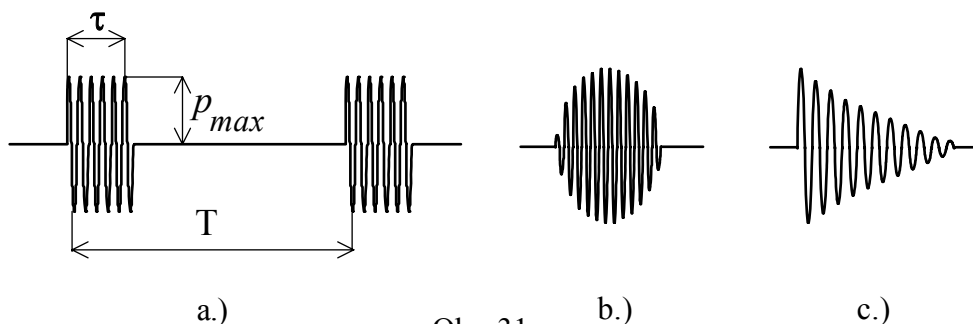
R_e - odpor predstavuje mechanické straty



Na obr.30 b,c, sú frekvenčné charakteristiky vo fázovej rovine a v log. súradniciach. X je reaktancia vysielača (+ je indukčná, - je kapacitná), R_e je reálna zložka impedancie. Bod ω_s predstavuje sériovú rezonanciu, ω_p paralelnú rezonanciu. Sériovú rezonanciu využívame pri vysielačoch, keď získavame max. akustický výst. signál. Paralelná rezonancia je vhodná pre prijímače, keď získavame max. elektr. signál na výstupe.

Pre budenie vysielačov používame :

- kontinuálny signál - harmonický, alebo obdĺžnik na sériovej rezonančnej frekvencii elementu, amplitúda $30 \div 200$ V
- rádiový impulz (obr. 31a,b), kde nosná f je rezonančná f (sériová) daného prvku
- impulzné budenie - jeden impulz (z impulz. transformátora) je pripojený na element, akustický výstup je podľa obr. 31c.



Obr. 31.

Vyžarovanie do vzduchu

Piezovysielače dobre pracujú do tuhých telies a kvapalín. Vzduch a plyny sú príliš "mäkké" prostredia. Vlnový odpor $\rho \cdot c$ (resp. merná akust. impedancia z) je pre :

- vzduch pri 20°C $z \cong 413$ [Pa.s.m⁻¹]
- piezokeramiku $z \cong 30 \cdot 10^6$ [Pa.s.m⁻¹]
- PVdF fóliu $z \cong 3,3 \cdot 10^6$ [Pa.s.m⁻¹]
- vodu pri 20°C $z \cong 1,48 \cdot 10^6$ [Pa.s.m⁻¹]

Pre vzduch sa teda jedná o značné akustické neprispôsobenie - o 5 rádo. Dôsledok je zotrvačnosť, malá strmosť nábežnej hrany pri vysielačoch s impulzným buđením a malý akustický výkon (akust. tlak) pri kontinuálnom buđení. Pri prijímačoch je to nižšia citlivosť, i keď sa neprispôsobenie neprejavuje tak silne, ako u vysielačov. Pre rovinné typy je možné akustické prispôsobenie, napr. membránou. Generovaná vlna je potom rovinná, len pre meranie jednej súradnice.

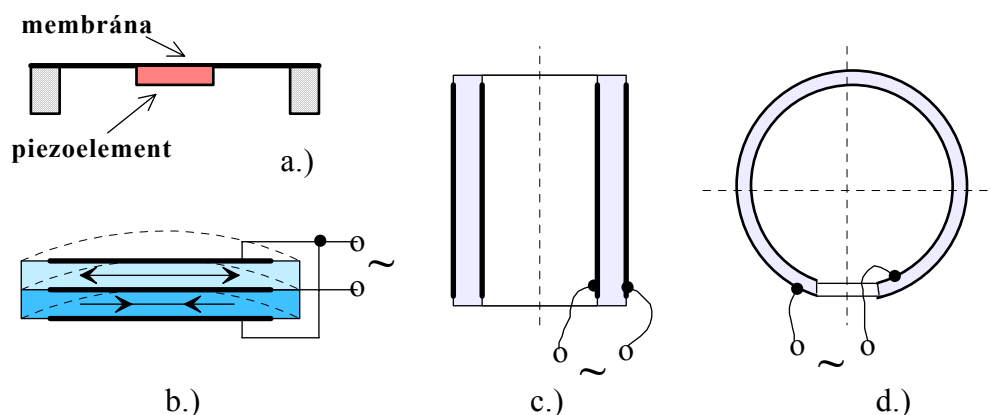
PVdF fólia

Je to skrátenejší názov pre "polyvinylidenfluorid", jeden typ zo skupiny polarizovaných polymérov. Je to plastová fólia, podobná teflonu, má ale piezoelektrické vlastnosti. Po nanosení elektród ju použijeme ako piezokeramiku. Výhody oproti piezokeramike :

- ♦ je možné vytvoriť rôzne aktívne povrchy (napnutím na patričnú plochu)
- ♦ akustická impedancia pre vzduch je o rád výhodnejšia

Tvary piezomeničov

Niekoľko typov piezokeramických meničov je na obr. 32.



Obr. 32.

Na obr. a.) je rovinný typ s membránou. Membrána je z kovu, piezoelement je nalepený. Dobrá kombinácia pre jednoduché systémy, napr. rôzne "pípadlá" v hodinách, počítačoch, pre počuteľné frekvencie.

Na obr. b.) je tzv. "Sawyerove dvojča". Vznikne stmelením dvoch materiálov s opačným vektorom polarizácie. Pri pripojení napätia určitej polarizácie sa horný napr. predĺži, spodný skráti. Vznikne efekt, ako pri bimetali a sústava sa prehne, chová sa ako membrána.

Na obr. c.) je dutý valec s elektródami na vnútornej a vonkajšej ploche. Polarizácia a kmity sú v smere polomeru, vzniká valcová vlna.

Na obr. d.) je dutá guľa s elektródami na vnútornej a vonkajšej ploche. Polarizácia a kmity sú v smere polomeru, vzniká guľová vlna.

Poznámka: Recipročný režim meničov je možný a býva často využitý, obecné sa systém potom nazýva sonda.

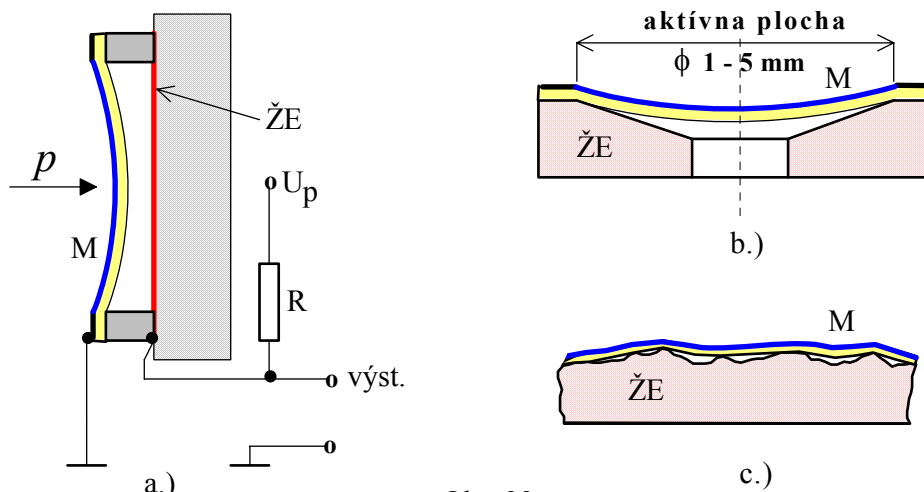
- 5-2. 1. Od čoho závisí rezonančná frekvencia piezoobvodu ?
2. Akú kvalitu Q a teda selektivitu má piezokeramický rezonančný obvod ?
3. Ako sa dá dosiahnuť veľmi vysoká rezonančná frekvencia, napr. MHz pre použitie v tuhých telesách, resp. PAV ?
4. Od čoho závisí akustický výkon vysielača a ako sa dá zvýšiť ?

5.2.2. Kondenzátorové (elektrostatické) meniče

Využívajú pôsobenie elektrostatických síl pri vysielačoch a zmenu kapacity pri prijímačoch (mikrofónoch). Základné princípy sú na obr. 33.

Na obr. a.) je jednoduchý kapacitný systém. **ŽE** je tzv. "živá elektróda", na ktorej je signál (voči zemi). Membrána **M** je plastová pokovená, alebo priamo z kovu, je spojená s kostrou kvôli tieneniu. Systém má polarizačné napätie ($50 \div 300$ V) cez odpor R [$M\Omega$].

Ak akustický tlak p pôsobí na membránu, kapacita medzi **ŽE** a **M** sa mení, vyhodnotenie je systémom s konštantným nábojom. Pri pripojení striedavého el. signálu na svorku "výst." membrána kmitá v rytme tohoto signálu.



Obr. 33.

Pre UZ frekvencie používame iné konštrukcie. Rozmery systémov musia byť veľmi malé a membrány veľmi tenké. Materiál membrán je plast (styroflex = polystyrén, mylar = polyetyléntereftalát...) s pokoveným povrchom (Al, Au, Ag). Ak je plast typu *elektret*, netreba polarizačné napätie, on je sám polarizovaný a indukuje náboj. Hrúbky sú $1 \div 20 \mu\text{m}$. Pre nižšie f bývajú i kovové membrány (Ni, Ti, Cr, špec. technológie). Povrch živej elektródy pozostáva z niekoľkých malých systémov. Na obr. b.) je tzv. "sell systém". Ak ho použijeme samostatne, dostaneme kvázibodový menič s vyžarovaním (príjmom) do polpriestoru. aktívna plocha je potom malá, priemer okolo $1 \div 2 \text{ mm}$. Viac systémov v rovine s jednou membránou predstavuje *plošný menič*.

Systém na obr. c.) má ŽE zdrsnenú, napr. pieskovaním. Vytvorí sa množstvo miniatúrnych systémov, pracujúcich súčasne. Veľká citlivosť a malá zotrvačnosť je vhodná na detekciu čela UZ vlny. Môže byť i ako kvázibodový mikrofón.

Nové technológie sú založené na využití kremíka. Pre malé rozmery je pružný, môže slúžiť i ako membrána.

Príklad :

Vytvorená Si membrána $0,8 \times 0,8 \text{ mm}$, $h = 150 \text{ nm}$, Al pokovenie 100 nm . V ďalšej časti Si substrátu je elektronika.

Budiaci striedavý signál pre vysielače je $10 \div 100 \text{ V}$. Meniče sú širokopásmové, horná medzná f závisí od tvaru ŽE a membrány (materiál a hrúbka). Vlastná mechanická rezonančná frekvencia je $50 \div 300 \text{ kHz}$. Používajú sa pod touto frekvenciou.

Poznámka: Recipročný režim meničov je možný. Zvlášť výhodné vlastnosti majú mikrofóny - vysokú citlivosť, veľký frekvenčný rozsah. Rovinný a valcový tvar je možný, guľový len obmedzene - guľový vrchlík.

- 5-3. 1. Čím sa líšia kovové a plastové membrány ?
2. Aké sú požiadavky na zosilňovač ku kondenzátorovému mikrofónu ?
3. Vyššie polarizačné napätie znamená vyššiu citlivosť - čím je limitované?

5.2.3. Elektrický výboj

V UZ systémoch sú využiteľné dva druhy výboja :

- elektrická iskra ako zdroj UZ vln
- tlejivý výboj na príjem UZ vln

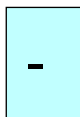
Spojením oboch systémov do jedného celku sa dá získať recipročný menič.

Elektrická iskra - vysielateľ UZ vln

Elektrická iskra je nestály výboj medzi dvoma elektródami, keď napätie prekročí elektrickú pevnosť vzduchu. Pri prieraze pretečie v krátkom čase ($\sim 1 \mu\text{s}$) medzi elektródami prúd vysokej intenzity ($>100 \text{ A}$). Tepelným rozpínaním kanálu v tomto čase vzniká zvuk. Ak napätie medzi elektródami s časom rastie rýchlo, vzniká tzv. kanálový prieraz. Výboj vtedy vzniká pri vyššom napätí, ako mu prislúcha zo statických pomerov. Kanál je viac vodivý a výboj je mohutnejší. Dôsledok je intenzívny zvuk so strmou nábežnou hranou. Charakteristické vlastnosti sú :

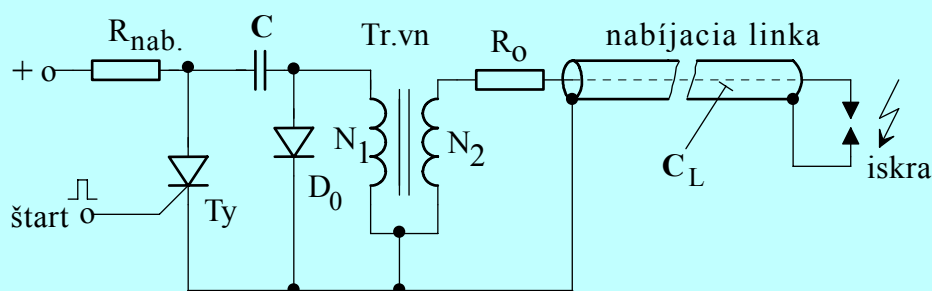


- veľká intenzita zvuku
- strmá nábežná hrana
- široké frekvenčné spektrum, od počuteľných do cca 500 kHz
- kvázibodový zdroj zvuku
- generovanie zvuku je pomerne jednoduché



- ♦ iskra predstavuje zdroj porúch, nutné sú odrušenia (tínenia)
- ♦ dráha iskry medzi hrotmi je náhodná - menšia presnosť
- ♦ **nepoužiteľné pre výbušné prostredia**

Na napájanie je potrebné vysoké napätie. Môžeme ho získať zo statického, alebo impulzného zdroja. Výhodnejší je impulzný zdroj, najmä pre kanálový prieraz. Potrebujeme min. $8 \div 10 \text{ kV}$. Najjednoduchší je impulzný transformátor, kde primár je napájaný výbojom kondenzátora. Princíp je na obr. 34.



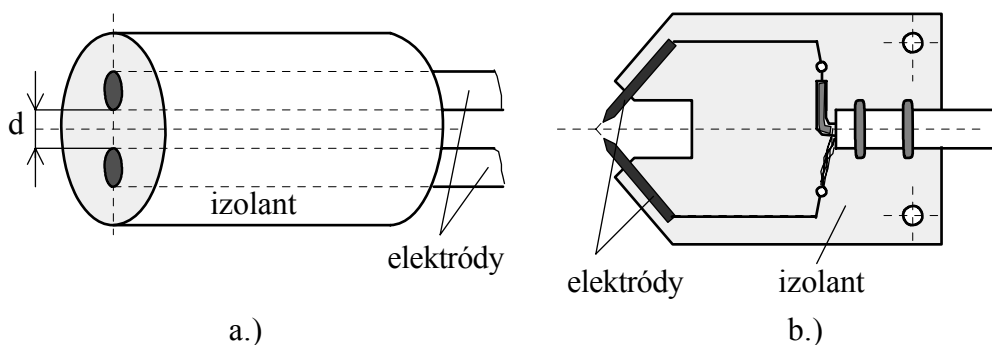
Obr. 34.

Kondenzátor C sa nabíja z $+$ pólu cez $R_{nab.}$. Rozsah napätia je $50 \div 300 \text{ V}$, závisí od požadovanej energie. Impulz štart otvorí tyristor Ty a kondenzátor C je vybíjaný do primáru vn transformátora $Tr.vn$. Sekundár má oveľa viac závitov ako primár, preto výstupné napätie je vysoké a má charakter impulzu. Toto napätie nabíja "nabíjaciú linku" (koaxiálny kábel) s kapacitou C_L . Napätie medzi elektródami rastie, začína ionizačný proces a výstavba vodivého kanálu. Po vytvorení kanálu vznikne výboj pri vyššom napätí ako je elektrická pevnosť vzduchu, dôsledok je kanálový výboj. Výboj vtedy čerpá energiu z nabíjacej linky. Jej hodnota je približne $W_L = 1/2 C_L \cdot U_{prierazu}^2$. Optimálna medzera medzi elektródami z hľadiska intenzity zvuku a presnosti polohy iskry (zdroja zvuku) je $0,3 \div 0,6 \text{ mm}$. Napájací koaxiálny kábel je súčasne nabíjacia linka s kapacitou $\sim 100\text{pF/m}$.

Vlastné meniče - žiariče

Ako vlastný menič používame dve elektródy upevnené vo vhodnom držiaku. Základné typy sú na obr. 35.

- a.) s výbojom po povrchu
- b.) medzi hrotmi



Obr. 35.

Obr. a.) predstavuje výboj po povrchu izolantu. Výboj smeruje priamo po rozhraní medzi vzduchom a držiakom. Tým je dosť presne určená jedna zložka jeho dráhy. Po opotrebovaní

sa elektródy spolu s držiakom zbrúsia do roviny. Materiál izolantu musí byť odolný voči el. iskre (oblúku) a jeho mechanickým deštrukciám.

Na obr. b.) je systém, kde výboj vzniká medzi dvomi zahrotenými elektródami vo vzduchu. Tento systém môže mať rôzne modifikácie pre rôzne spôsoby merania. Materiál elektród musí byť odolný voči teplote, použiteľný je wolfrám (W), alebo molybdén (Mo). Životnosť je okolo 10^5 iskier, potom treba elektródy dobrúsiť.

Kombináciou kondenzátorového mikrofónu a iskrového zdroja zvuku získame dosah v priestore (guľová všesmerová vlna) do $10 \div 15$ m.

Tlejivý výboj (prijímač UZ vln)

Tlejivý výboj je stabilný výboj, definovaný v rozsahu prúdov $10^{-5} \div 1$ A. Jeho hlavná pracovná oblasť sú nízke tlaky (trubice). Ak tlak prostredia rastie a blíži sa k atmosférickému (~ 101 kPa), výboj sa zúži a skráti sa tzv. katódový priestor. Parametre výboja (elektrické) závisia od tlaku a jeho zmien. Reaguje teda i na akustický tlak. Zmenu elektrických parametrov vieme vyhodnotiť. Vlastnosti výbojového prijímača :

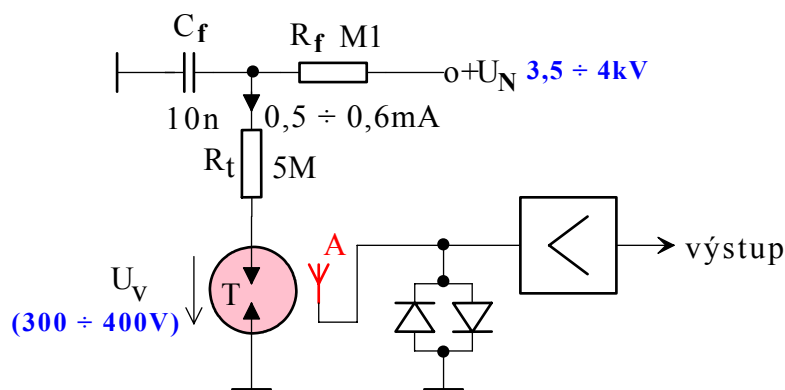
výhody :

- malé rozmery - bodový prijímač
- bez hmotných pohyblivých častí - vysoká medzná f
- recipročný režim práce

medzi nevýhody patria:

- ♦ komplikované napájanie - okolo 4 kV konštantné jednosmer. napätie
- ♦ nepoužiteľnosť vo výbušnom prostredí
- ♦ nestabilita výboja : - zmena parametrov (citlivosť)
- vyradenie z činnosti (vlastné kmitanie)

Výboj vzniká medzi dvomi zahrotenými elektródami pre lepšie definovanie v priestore. Pre aplikácie pri atmosférickom tlaku musí byť prúd obmedzený do uvedeného rozsahu ($10^{-5} \div 1$ A) odporom, inak by vznikla iskra. Odpor má hodnotu $5 \div 10$ M Ω , musí byť vyskonapäťový, pre vyššie zaťaženie. Princíp prijímača s vyhodnotením zmeny elektrických parametrov pomocou "anténky" je na obr. 36. Parametre tlejivého výboja, najmä pretekajúci prúd, závisia od tlaku. Zmenu prúdu môžeme snímať ako napätie z malého odporu medzi kostrou a spodnou elektródou. Treba však uvážiť, že je tu potom galvanické prepojenie do obvodu s napätím 4 kV ! To pre zosilňovač a bezpečnosť nie je príliš vhodné.



Obr. 36.

Lepšie, galvanicky oddelené, je riešenie s "anténou" A na obr.36 . Je to malá elektróda, umiestnená v blízkosti výboja. Môže mať napr. tvar kruhu. Táto sníma (kapacitne) elektrické zmeny výboja v závislosti na zmene tlaku (i akustického).

V recipročnom režime medzi hrotmi vznikne najskôr iskra, ako zdroj zvuku, potom napätie klesne na hodnotu, potrebnú pre tlejivý výboj (300 ÷ 400V). Systém je v režime prijímača.

Zhrnutie:

- výboj prebieha medzi dvomi zahrotenými elektródami
- prúd pri atm. tlaku je obmedzený odporom (na $10^{-5} \div 1A$), inak vzniká iskra
- pretekajúci prúd závisí od okolitého tlaku - teda i akustického
- galvanické a bezpečnostné oddelenie → riešenie s "anténou" A.

Poznámka: Nestabilita výboja je vážny problém. Prijímač sa náhodne stáva kmitajúcou sústavou, vydávajúcou zvuk (prskanie), čím je vyradený z činnosti. Toto bráni zatiaľ jeho vážnejšiemu využitiu.

- 5-4. 1. Aká je asi elektrická prierná pevnosť vzduchu ?
2. Aký charakter má iskra z hľadiska presnosti ?
3. Aké problémy spôsobuje výboj (mechanické, elektrické, iné) ?

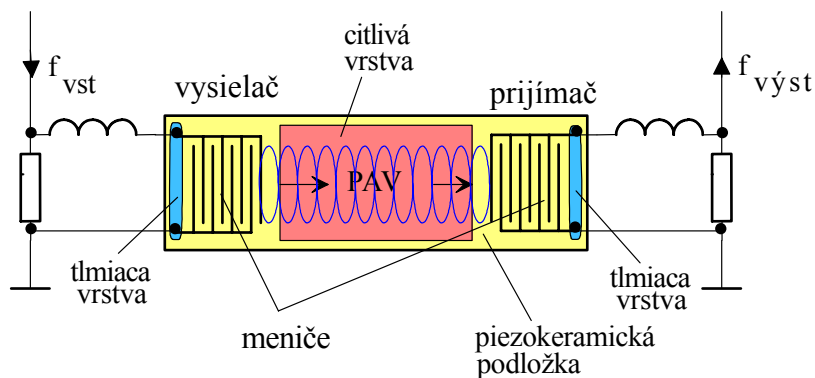
5.3. Povrchové akustické vlny - PAV

(Niekdý nazývané podľa významného pracovníka "Rayleighiho vlny", anglický názov SAW - surface acoustic waves)

Šíria sa po povrchu tuhých telies, rýchlosť šírenia (km/s) je podstatne vyššia ako v plynch, je možné použiť vysoké frekvencie, až do MHz. Používajú sa vo filtroch, analyzátoroch plynov, na snímanie bodu z obrazovky, atď. Ako meniče sa používajú tzv. "interdigitálne meniče". Na piezokeramickej podložke sú nanosené hrebeňové elektródy, obr.37. Frekvencia závisí od tvaru a rozmerov elektród a býva desiatky MHz. Napr. pre 30 MHz je šírka pásov 25 μm , medzery 25 μm .

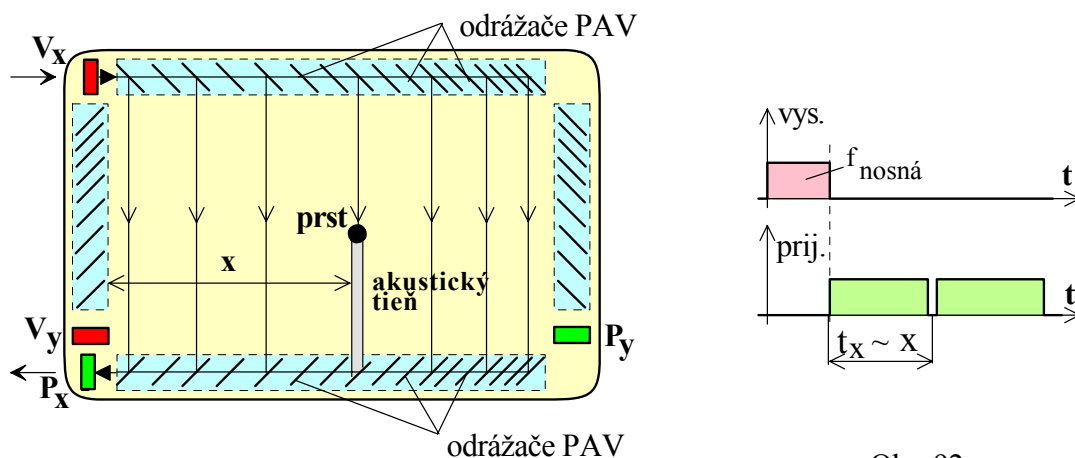
Senzor na snímanie vlastností plynov (vlhkosť, zloženie...)

Senzor tvoria dva interdigitálne meniče, medzi nimi je aktívna (selektívna) vrstva. Všetky prvky sú na piezokeramickej podložke. Bližšie v iných kapitolách.



Obr. 91.

Príklad bezkontaktného zadávania bodu na obrazovke mäkkým predmetom, napr. prstom, je na obr. 92.



Obr. 92.

Na obr. je zvýraznené snímanie súradnice x . Vysielač V_x vysiela PAV cez sústavu odrážačov, ktoré otočením o 90° nasmerujú PAV na pracovnú plochu. Druhá sústava odrážačov (zasa otočením o 90°) nasmeruje PAV na prijímač P_x . Odrážače sa so vzdialenosťou postupne zhusťujú, aby sa vyrovnal úbytok intenzity zvuku. Časové priebehy sú na obr. vpravo. Vysielač je napájaný impulzom s nosnou f . Dĺžka impulzu je taká, aby skončil, keď príde prvá vlna (po najkratšej dráhe) na prijímač. Na prijímači dostaneme potom časovo rozťahnutý impulz z dlhších dráh, pričom každému času odpovedá určitá dráha. Dĺžku dráhy určuje $2x + \text{zvislá časť}$. Max. čas predstavuje max. x (najdlhšiu dráhu). Ak teda časť vlnenia odtienime (prstom), v tomto čase (t_x) je pokles amplitúdy prijímača. Čas poklesu je úmerný

x. Druhá súradnica je vytvorená podobným spôsobom. Systém, na rozdiel od odporového, nepodlieha opotrebeniu. Použiteľné sú mäkké predmety, ktoré absorbujú UZ vlny.