

Senzorové systémy v CIM

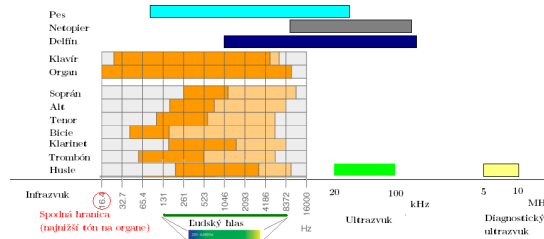
Ing. Richard Balogh

Akustické systémy

? 3. 2013



Akustické systémy



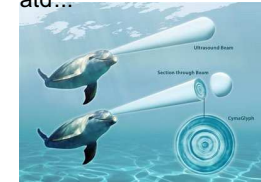
Zameranie na **ultrazvuk (UZ)**, vyššia f (40kHz + 10MHz) Prečo?
 • UZ frekvencie sa ľahšie smerujú a detekujú
 • menšia λ → vyššia presnosť (100 kHz → $\lambda = 3,43$ mm)
 • vysielacie a prijímače - prijateľnejšie rozmery
 • systémy nerušia ľudský sluch

Metódy:
 • známa rýchlosť šírenia zvuku c
 • geometria šírenia.

Akustické systémy – využitie

Využitie:

- 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...



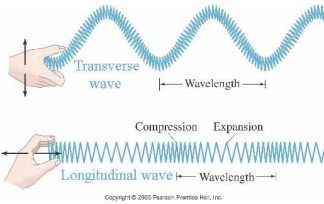
Základné pojmy

Zvuk (sound, Schall, Звук)

Šírenie mechanických kmitov hmotných častíc prostredia okolo rovnovážnej polohy

Typy vln:

- priestorové (objemové)
 - priečne
 - pozdĺžne
- Povrchové Akustické Vlny
 - priečne
 - pozdĺžne



Plyny a kvapaliny – len pozdĺžne vlny

Ultrazvukové (UZ) vlny

- plyny od 20 + 40 kHz do 300 + 400 kHz
- kvapaliny a tuhé telesá rádovo MHz
- PAV 10-ky MHz.

Akustické veličiny

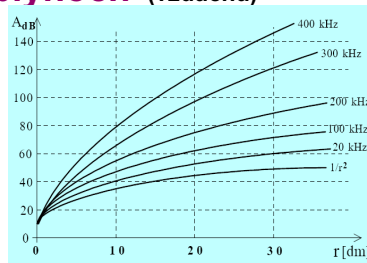
veľičina	jednotka	popis	vzťahy
akustický tlak p sound pressure	[Pa]	rozdiel medzi okamžitým tlakom prostredia a jeho tlakom pri šírení zvuku	
akustická rýchlosť v sound particle velocity	[m/s]	rýchlosť pohybu častíc – porovnaj s c	$v = \xi / t$
rýchlosť šírenia c sound velocity	[m/s]	rýchlosť šírenia zvukovej vlny v prostredí	závisí od teploty a vlhkosti
akustická impedancia Z acoustic impedance	[Pa.s.m ⁻¹]	komplexná veličina vyjadrená podielom tlaku na danej ploche a rýchlosti	$Z = \frac{p}{v} = \rho c$
intenzita zvuku I sound intensity	[W/m ²] [dB]	charakterizuje prenos akustického výkonu P	$I = p \cdot v = P/A$
akustický výkon P sound power	[W]	výkon vyžarovaný alebo prenášaný prostredníctvom akustického vlnenia	$P = E / t$
vlnová dĺžka λ wavelength	[m]	pre rýchlosť c v danom prostredí	$\lambda = c / f$



Šírenie UZ v plynoch (vzduchu)

Útlm UZ vln

intenzita klesá $\approx 1/x^2$ – reálne viac.



koefficient útlmu

- α [1/m] alebo
- α_{dB} [dB/m] → ($A_{dB} = \alpha_{dB} \cdot r$)

kont. budenie – harmonický signál – pokles amplitúdy
 imp. budenie – obdĺžnik (impulzy) – klesá strmosť hrán

Šírenie UZ v plynoch (vzduchu)

Rýchlosť šírenia c

upravená rovnica (vzduch, platí pre $f < 100$ MHz)

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

ϑ - teplota (plynu) [°C] a
 δ - relatívna vlhkosť (plynu) [%].

Priklad:

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

Poznámka:

c vo vzduchu je cca 1234 km/hod = 1 MACH (letecký termin)

Akustické meniče



- geometria
- elektrické parametre
- akustické parametre (ich vzťah k elektrickým)
- recipročná činnosť - jeden menič vysiela i prijíma

Reálne systémy:

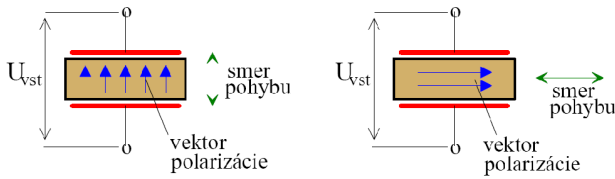
- **piezoelektrické** (ako permanentný magnet v e.)
- **kondenzátorové** (elektrostatické)
- **elektrický výboj** - najmä iskra ako vysielač

Akustické parametre:

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

Piezelektrické meniče

piezoelectric transducer



piezelektrický jav
piezokeramika, (prírodné materiály)

Výroba:
suroviny, mletie, zmiešanie, lisovanie,
vypálenie, **polarizácia**

Piezelektrické meniče

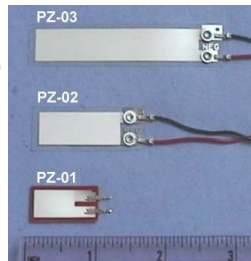
Tvary piezomeničov



Materiály:
Piezokeramika
Vyžarovanie do vzduchu

fólia z **PVdF** (polyvinylidenfluorid)
polarizovaný polymér,
použitie ako piezokeramika

Vlnový odpor ρ_c (resp. Z) [$\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$]:
vzduch @ 20°C $4,13\cdot 10^2$
voda @ 20°C $1,48\cdot 10^6$
PVdF fólia $3,30\cdot 10^6$
piezokeramika $3,00\cdot 10^7$

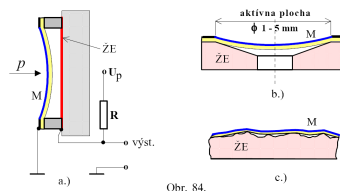


Kondenzátorové meniče

vysielače: elektrostatické sily
prijímače (mikrofóny): dopad zvuku → zmena C

ŽE – živá elektróda
M – membrána
Up – pol. napätie (50 – 300 V)

pre UZ frekvencie:
– malé rozmery
– tenké membrány
(pokovený plast 1 + 20 μm)

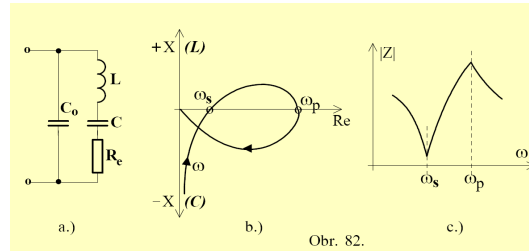


Obr. 84.

– polarizovaný plast typu **elektret** – netreba polarizačné napätie
– *sell systém* - pre plochu viacnásobný (84b)
– zdrsená elektróda (84c)

Piezelektrické meniče

ekvivalentná schéma



rezonančný obvod – náhradné parametre:

C_0 – statická kapacita ($\sim \text{nF}$) C – úmerná mech. poddajnosti
 L – úmerná hmotnosti R_e – mechanické straty
 ω_s – sériová rezonancia ω_p – paralelná rezonancia

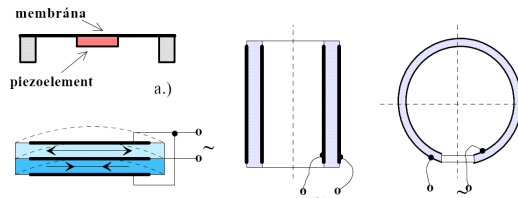
Piezelektrické meniče

Tvary piezomeničov



- platnička, disk → x membrána
Sawyerovo dvojča (opačné vektory polarizácie)
- dutý valec → x/y, valcová vlna
- dutá guľa → guľová vlnoplocha, priestorové merania

recipročný režim možný a využívaný (sonda)



Kondenzátorové meniče



Využitie Si (aj ako membrána)

Príklad:

Vytvorená Si membrána 0,8 x 0,8 mm, h = 150 nm,
Al pokovenie 100 nm. V ďalšej časti Si substrátu je elektronika.

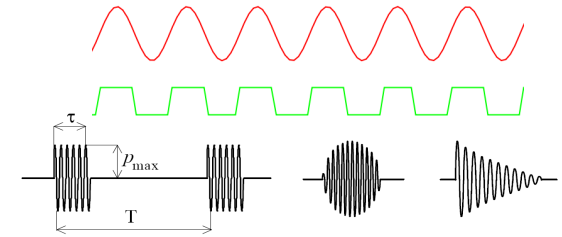
Budenie meničov: $\sim 10 \div 100 \text{ V}$.

Meniče sú širokopásmové, $f_{\text{medz}} 50 \div 300 \text{ kHz}$

recipročný režim možný a využívaný

Piezelektrické meniče

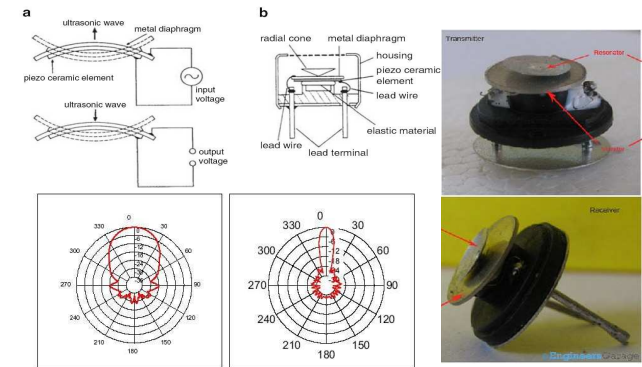
budenie vysielča



- kontinuálny signál
– harmonický, alebo obdĺžnik 30 + 200 V
- rádiový impulz
- impulzné budenie - jeden impulz

Piezelektrické meniče

Tvary piezomeničov



Elektrický výboj

ako vysieláč UZ vln



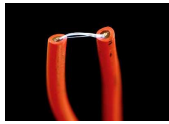
Elektrická iskra

– **výboj medzi elektródami**
prierazné napätie

- + veľká intenzita zvuku
strmá nábežná hrana
široké frekv. spektrum, od počuteľných do cca 500 kHz
kvázibodový zdroj zvuku
- iskra - zdroj porúch, nutné sú odrušenia (tínenia)
dráha iskry je náhodná - menšia presnosť
výbušné prostredia !!!

Elektrický výboj

Iskra



Realizácia:

statický zdroj - potrebné V_n ($8 \div 10$ kV), menej vhodný

impulzný zdroj - V_n impulzný transformátor obr. 85.

* C sa nabíja z + cez $R_{nab.}$ ($50 \div 300$ V)

* štart otvorí T_y a C je vybíjaný do primáru $T_r.vn$

* $N_2 \gg N_1$

→ $U_{výst.}$ je vysoké (impulz)

* nabíja sa "nabíjacia linka" (koaxiálny kábel) s kapacitou C_L

* U medzi elektródami rastie

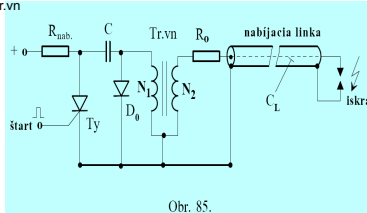
→ ionizačný proces

* U prekročí elektrickú pevnosť vzduchu

→ kanálový výboj

* energia z nabíjacej linky

$W_L = 1/2 C_L \cdot U^2$



Obr. 85.

Tlejivý výboj

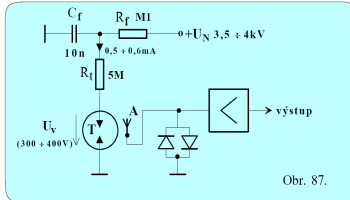
ako prijímač

výboj je medzi dvoma zahrotenými elektródami

• prúd pri atm. tlaku musí byť obmedzený odporom (na $10^{-5} \div 1$ A), inak vzniká iskra

- pretekajúci prúd závisí od tlaku

- riešenie s "anténou" A.



Obr. 87.

Poznámka:

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

Elektrický výboj

Iskra

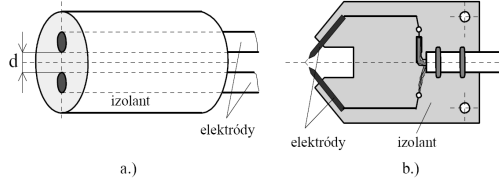
Optimálna medzera medzi elektródami je $0,3 \pm 0,6$ mm

(intenzita a presnosť polohy iskry)

Vlastné meniče – žiariče

a.) s výbojom po povrchu

b.) medzi hrotmi

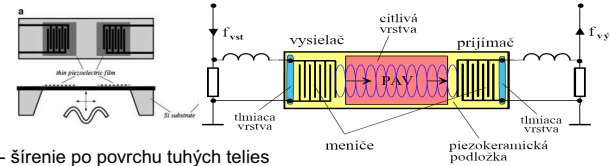


a.)

b.)

PAV: Povrchová akustická vlna

SAW: Surface acoustic wave "Rayleighiho vlny"



- šírenie po povrchu tuhých telies

- c je vysoká ⇒ vysoké f (desiatky MHz)

- filtre, analyzátory plynov, vlhkomery

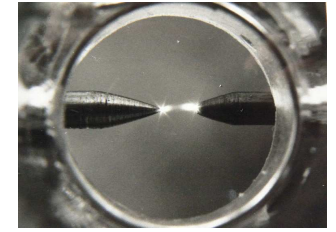
- budenie - interdigitálne meniče = hrebeňové elektródy na piezokeramickej podložke – PZT keramika, t.j. $Pb(ZrTi)O_3$

- rozmery a charakter meničov → základná f (napr. pre 30 MHz šírka 25 Xm, medzery 25 Xm)

Senzor - dva interdigitálne meniče, medzi nimi je aktívna (selektívna) vrstva

Tlejivý výboj

ako prijímač UZ vln



stabilný výboj,

definovaný pre $I = 10^{-5} \div 1$ A (nízke tlaky-trubice)

parametre výboja závisia od p (aj akustický p)

elektrické parametre vieme vyhodnotiť

Vlastnosti:

- malé rozmery - bodový prijímač

- bez hmotných pohyblivých častí - vysoká medzná f

- recipročný režim práce

- komplikované napájanie - konšt. = U_N cca 4 kV

- výbušné prostredie

- nestabilita výboja : (citlivosť, vlastné kmitanie)