

## 5. AKUSTICKÉ SYSTÉMY - ULTRAZVUK

Obecne akustické systémy

Ultrazvuk (UZ) - vyššia  $f$  (40kHz ÷ 10MHz)

Prečo ?

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

Metódy:

- ♦ známa rýchlosť šírenia zvuku  $c$
- ♦ geometria šírenia.

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...

### 5.1. Základné pojmy

#### 5.1.1. Ultrazvukové (UZ) vlny

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

Zvuk - kmitanie hmotných častíc prostredia okolo rovnovážnej polohy

Typy vln :

- ♦ priestorové (objemové) :
  - priečne
  - pozdĺžne
- ♦ povrchové - Povrchové Akustické Vlny (PAV) :
  - priečne
  - pozdĺžne

*Plyny a kvapaliny - len pozdĺžne vlny*

## Základné akustické veličiny

Akustický tlak  $p$  skalár, [Pa].

Akustická rýchlosť  $v$  striedavý vektor, [m/s].

Rýchlosť šírenia  $c$  jednosmerný vektor, [m/s].

Vlnoplochy rovinné a guľové (rovnaká fáza kmitania)

Akustická impedancia  $Z$  vlastnosti prostredia, (merná ak. imp.  $z$ )

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

$\rho \cdot c$  vlnový odpor prostredia

Intenzita zvuku  $I$  :  $I = p \cdot v$  [W/m<sup>2</sup>; Pa; m/s]

$v$  [dB]  $I_{\text{dB}} = 10 \log (I / I_0)$  kde  $I_0 = 10^{-12}$  [W/m<sup>2</sup>] je sluchový prah

akustický tlak v dB :

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

Akustický výkon (prenášaný v smere šírenia) :

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

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  $I > 3 \div 5 \text{ W}/\text{cm}^2$  (okolo 160 ÷ 170 dB).

Vlnová dĺžka  $\lambda$  [m].

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

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  $\lambda$ .

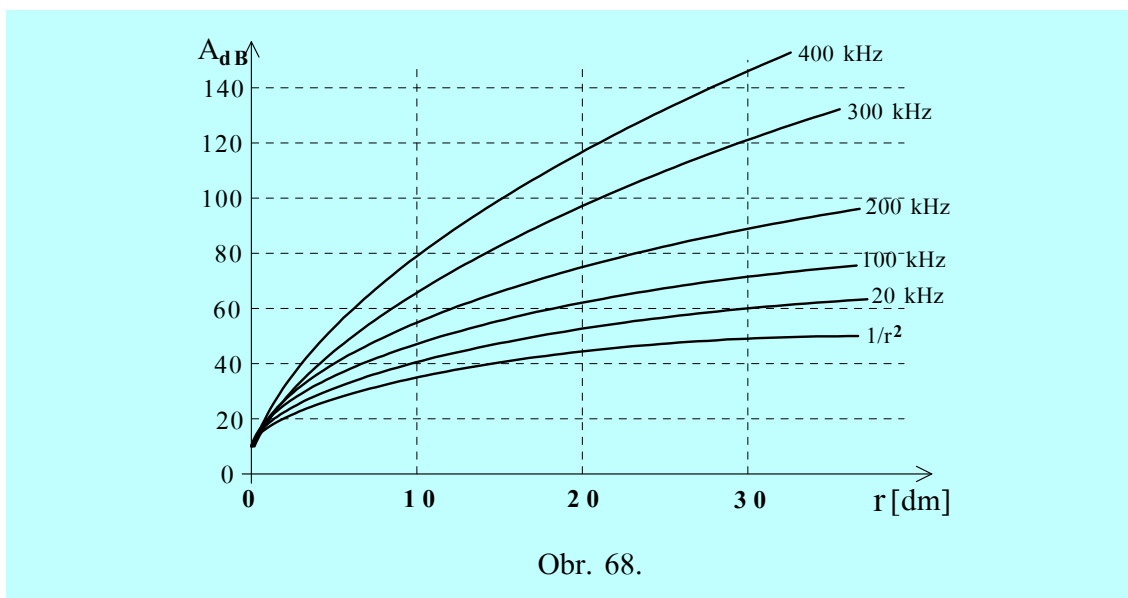
### 5.1.2. Šírenie UZ v plynoch (vzduchu)

- útlm UZ vln
- rýchlosť šírenia  $c$

#### Útlm UZ vln

Intenzita klesá podľa  $1/x^2$ . Reálne viac.

Koeficient útlmu  $\alpha$  [1/m] alebo  $\alpha_{dB}$  [dB/m]  $\rightarrow (A_{dB} = \alpha_{dB} \cdot r)$



Obr. 68.

harmonický signál - pokles amplitúdy  
obdĺžnik (impulzy) - klesá strmosť hrán

#### Rýchlosť šírenia UZ vln

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

$$c = 331,46 (1 + 1,83 \cdot 10^{-3} \vartheta) (1 + 2,2 \cdot 10^{-4} \delta) \quad (8-2)$$

$\delta$  - relatívna vlhkosť (plynu) [%]

$\vartheta$  - teplota (plynu)

[°C]

*Príklad:*

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

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

## 5.2. Akustické meniče

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

Reálne systémy :

- **piezoelektrické**
- **kondenzátorové (elektrostatické)**
- elektrický výboj - najmä iskra ako vysielač

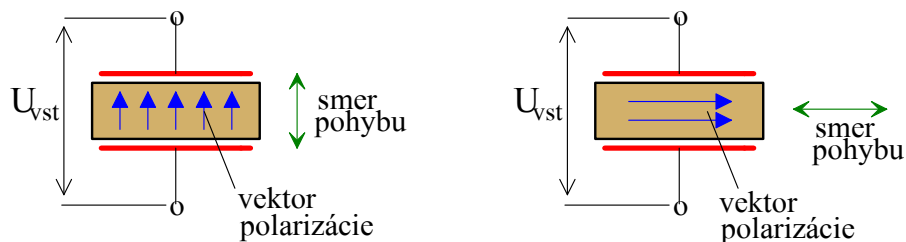
Akustické parametre :

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

### 5.2.1. Piezoelektrické meniče

piezoelektrický jav, piezokeramika, (prírodné materiály)

Výroba: suroviny, mletie, zmiešanie, lisovanie, vypálenie, **polarizovanie**.

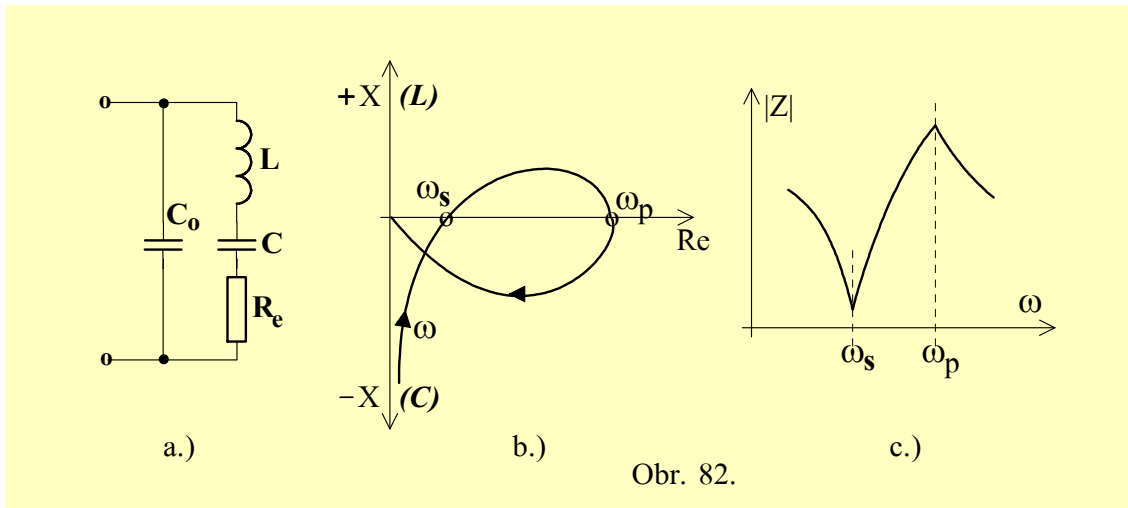


Obr.68-1

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

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

Ekvivalentná el. schéma - rezonančný obvod



Obr. 82.

$C_0$  - statická kapacita

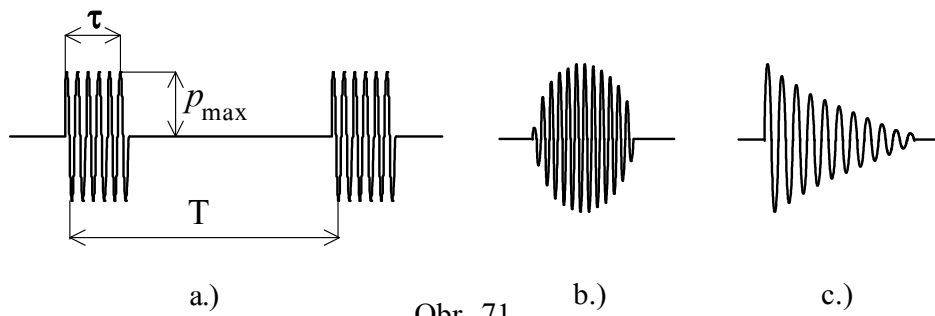
$L$  - indukčnosť je úmerná hmotnosti (zotrvačnosť)

$C$  - kapacita je úmerná mechanickej poddajnosti

$R_e$  - odpor predstavuje mechanické straty

Budenie vysieláčov :

- kontinuálny signál - harmonický, alebo obdĺžnik  $30 \div 200 \text{ V}$
- rádiový impulz (obr.71 a,b)
- impulzné budenie - jeden impulz (obr.71 c)



Obr. 71.

### Vyžarovanie do vzduchu

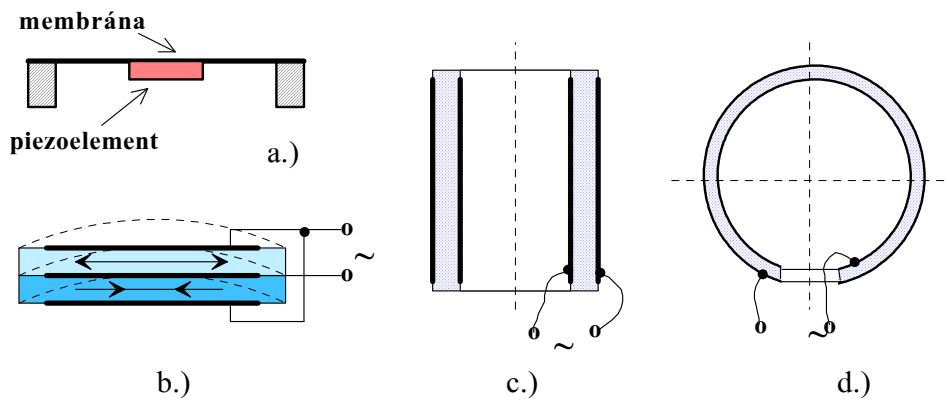
Vlnový odpor  $\rho \cdot c$  (resp. merná akust. impedancia  $z$ ) :

- vzduch pri 20°C  $z \cong 413$  [Pa.s.m<sup>-1</sup>]
- piezokeramika  $z \cong 300 \cdot 10^5$  [Pa.s.m<sup>-1</sup>]

### **PVdF fólia**

"polyvinylidenfluorid", polarizovaný polymér, použitie ako piezokeramika

### **Tvary piezomeničov**

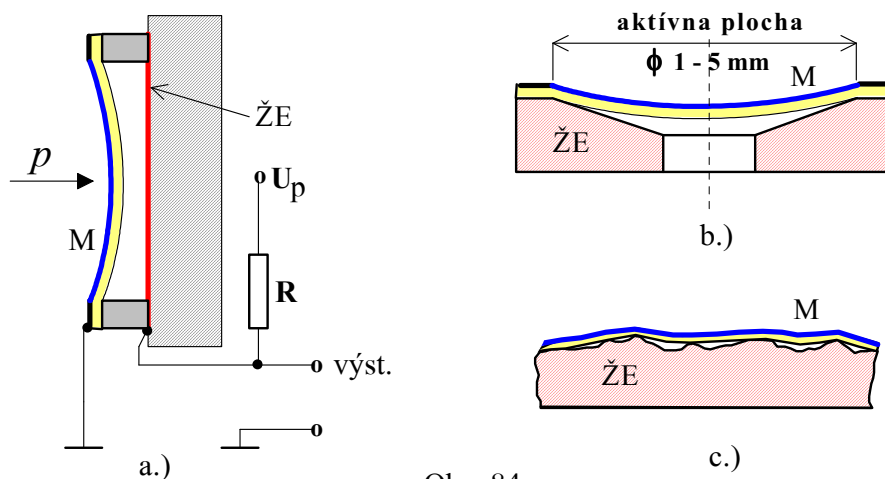


Obr. 83.

*Poznámka: Recipročný režim je možný, obecně sa systém potom nazýva sonda.*

### **5.2.2. Kondenzátorové (elektrostatické) meniče**

- elektrostatické sily - vysielateľ
- dopad zvuku → zmena  $C$  - prijímače (mikrofóny)



Obr. 84.

UZ frekvencie:

- malé rozmery
- tenké membrány (pokovený plast  $1 \div 20 \mu\text{m}$ )
- **Elektret** - netreba polarizačné napätie
- "Sell systém" - pre plochu viacnásobný obr.84b
- Zdrsnená elektróda obr.84c

Využitie Si (i ako membrána)

**Príklad :**

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

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

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

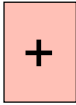
*Poznámka: Recipročný režim možný. Mikrofóny - vysoká citlivosť, veľké  $\Delta f$ . Tvary: rovina, valec, guľa obmedzene (gul'ový vrchlik)*

### 5.2.3. Elektrický výboj

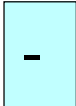
- ♦ iskra - zdroj UZ vln
- ♦ tlejivý výboj - príjem UZ vln

**Elektrická iskra - vysielateľ UZ vln**

Elektrická iskra - **výboj medzi elektródami**



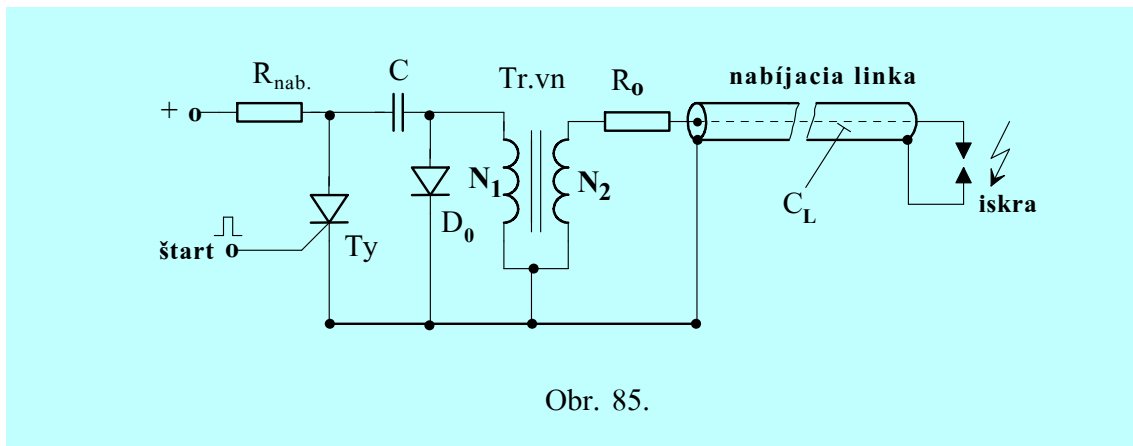
- veľká intenzita zvuku
- strmá nábežná hrana
- široké frekvenčné spektrum, od počuteľných do cca 500 kHz
- kvázibodový zdroj zvuku



- ♦ iskra - zdroj porúch, nutné sú odrušenia (tínenia)
- ♦ dráha iskry je náhodná - menšia presnosť
- ♦ **výbušné prostredia !!!**

Realizácia:

- ♦ statický zdroj - potrebné  $V_n$  ( $8 \div 10$  kV), menej vhodný
- ♦ impulzný zdroj -  $V_n$  impulzný transformátor obr. 85.



Obr. 85.

- ♦ C sa nabíja z  $+$  cez  $R_{nab}$  ( $50 \div 300$  V)
- ♦ štart otvorí Ty a C je vybíjaný do primáru Tr.vn
- ♦  $N_2 \gg N_1 \rightarrow U_{výst}$  je vysoké (impulz)
- ♦ nabíja sa "nabíjacia linka" (koaxiálny kábel) s kapacitou  $C_L$
- ♦ U medzi elektródami rastie  $\rightarrow$  ionizačný proces
- ♦ U prekročí elektrickú pevnosť vzduchu  $\rightarrow$  kanálový výboj
- ♦ energia z nabíjacej linky  $W_L = 1/2 C_L \cdot U_{prierazu}^2$

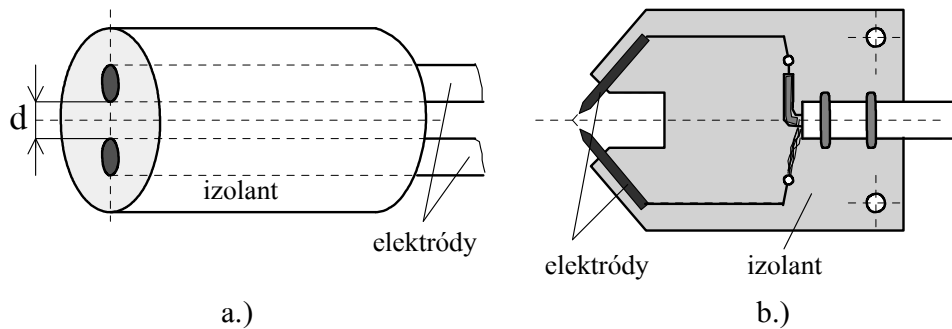


Optimálna medzera medzi elektródami je  $0,3 \div 0,6$  mm (intenzita a presnosť polohy iskry)

### Vlastné meniče - žiariče

a.) s výbojom po povrchu

b.) medzi hrotmi



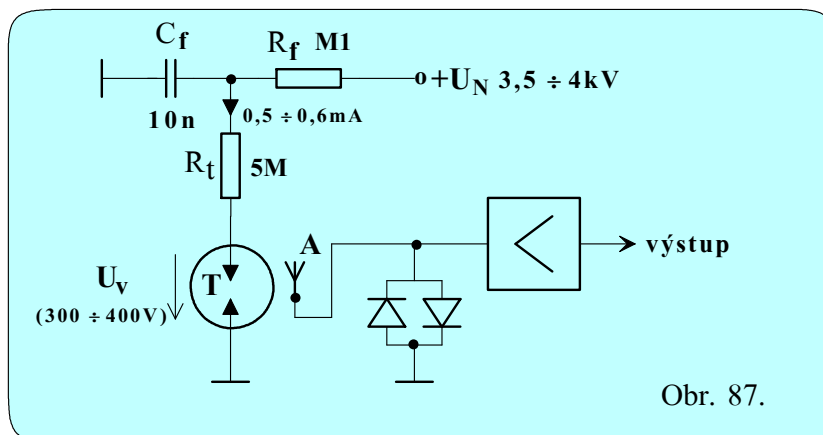
Obr. 86.

### Tlejivý výboj (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)



- výboj je medzi dvomi zahrotenými elektródami
- prúd pri atm. tlaku obmedzený odporom (na  $10^{-5} \div 1$  A), inak vzniká iskra
- pretekajúci prúd závisí od tlaku
- riešenie s "anténou" A.

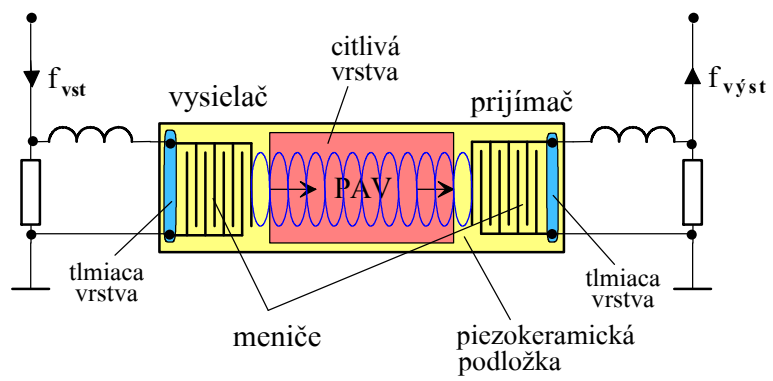
*Poznámka: Nestabilita výboja - vážny problém. Prijímač sa náhodne stáva kmitajúcou sústavou, vydávajúcou zvuk (prskanie), čím je vyradený z činnosti. Toto bráni zatiaľ jeho vážnejšiemu využitiu.*

### 5.3. Povrchové akustické vlny - PAV

(Niekedy nazývané podľa význačného pracovníka "Rayleighiho vlny")

- šíria sa po povrchu tuhých telies
- c je vysoká  $\Rightarrow$  vysoké f (10 - ky MHz)
- filtre, analyzátory plynov, vlhkomery
- budenie - interdigitálne meniče, (hrebeňové elektródy na piezokeramickej podložke)
- rozmery a charakter meničov  $\rightarrow$  základná f (napr. pre 30 MHz šírka 25  $\mu$ m, medzery 25  $\mu$ m)

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



Obr. 91.