

5. AKUSTICKÉ SYSTÉMY - ULTRAZVUK

Obecne akustické systémy

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

Prečo ?

- UZ frekvencie sa ľahšie smerujú a detekujú
- menšia λ → vyššia presnosť (100 kHz → $\lambda = 3,43$ mm)
- vysielače a prijímače - 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/m²; Pa; m/s]

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

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

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 .

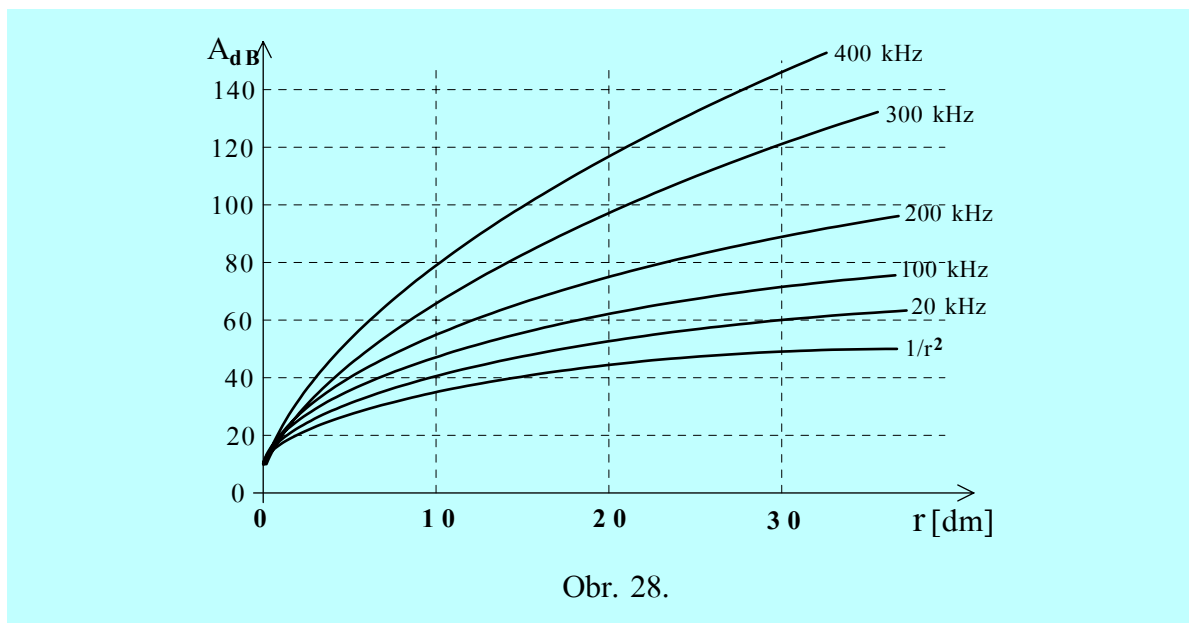
5.1.2. Šírenie UZ v plynoch (vzduchu)

- útlm UZ vln
- rýchlosť šírenia c

Útlm UZ vln

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

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



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

Rýchlosť šírenia UZ vln

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

$$c = 331,46 (1 + 1,83 \cdot 10^{-3} \vartheta) (1 + 2,2 \cdot 10^{-4} \delta) \quad (5 - 2)$$

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

Príklad:

Pri meraní $L = 1m$ a $\Delta 9 2 ^\circ C$, chyba je $3,62 mm$. Pri $\Delta 9 20 ^\circ C$ 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

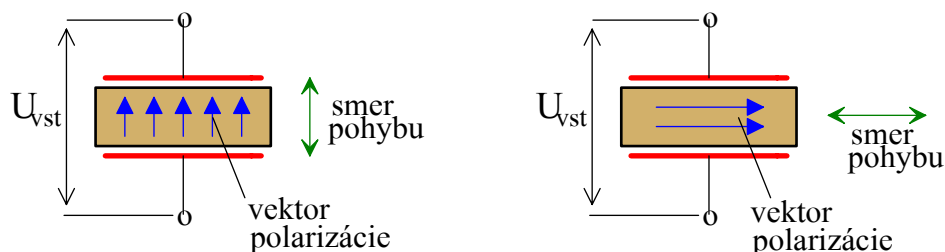
Akustické parametre :

- ♦ 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**.

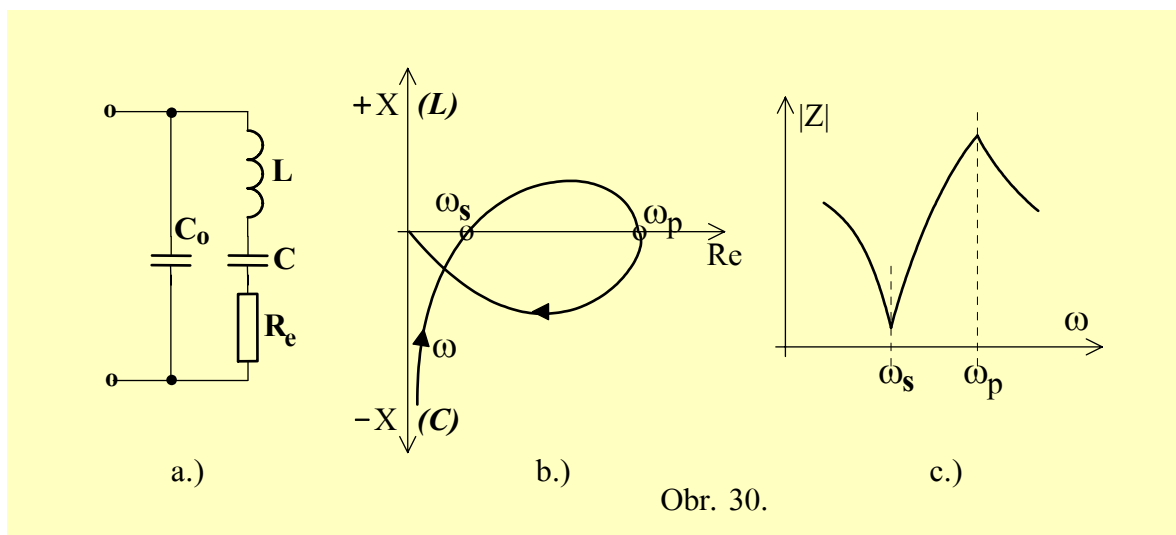


Obr.29

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

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

Ekvivalentná el. schéma - rezonančný obvod



C_0 - statická kapacita

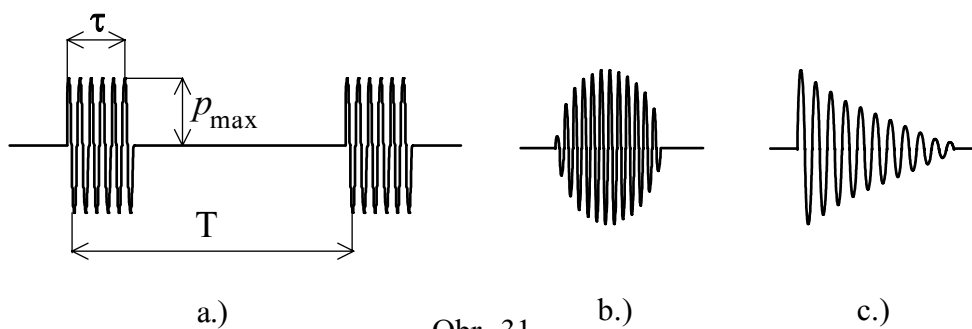
L - indukčnosť je úmerná hmotnosti (zotrvačnosť)

C - kapacita je úmerná mechanickej poddajnosti

R_e - odpor predstavuje mechanicke straty

Budenie vysielačov :

- kontinuálny signál - harmonický, alebo obdĺžnik $30 \div 200$ V
- rádiový impulz (obr.31 a,b)
- impulzné budenie - jeden impulz (obr.31 c)



Vyžarovanie do vzduchu

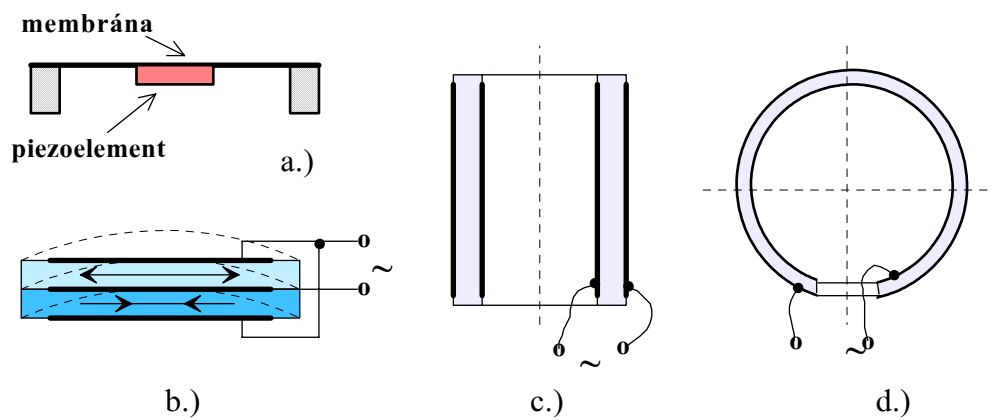
Vlnový odpor $\rho \cdot c$ (resp. merná akust. impedancia z) :

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

PVdF fólia

"polyvinylidenfluorid", polarizovaný polymér, použitie ako piezokeramika

Tvary piezomeničov

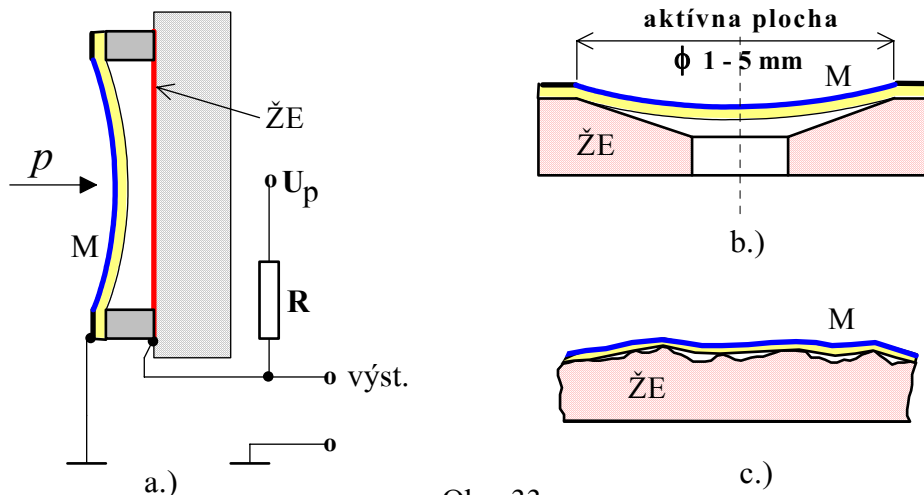


Obr. 32.

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

5.2.2. Kondenzátorové (elektrostatické) meniče

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



Obr. 33.

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 nm . V ďalšej časti Si substrátu je elektronika.

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

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

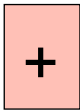
Poznámka: Recipročný režim možný. Mikrofóny - vysoká citlivosť, veľké Δf . Tvary: rovina, valec, guľa obmedzene (guľový vrchlík)

5.2.3. Elektrický výboj

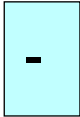
- ♦ iskra - zdroj UZ vln
- ♦ tlejivý výboj - príjem UZ vln

Elektrická iskra - vysielateľ UZ vln

Elektrická iskra - **výboj medzi elektródami**



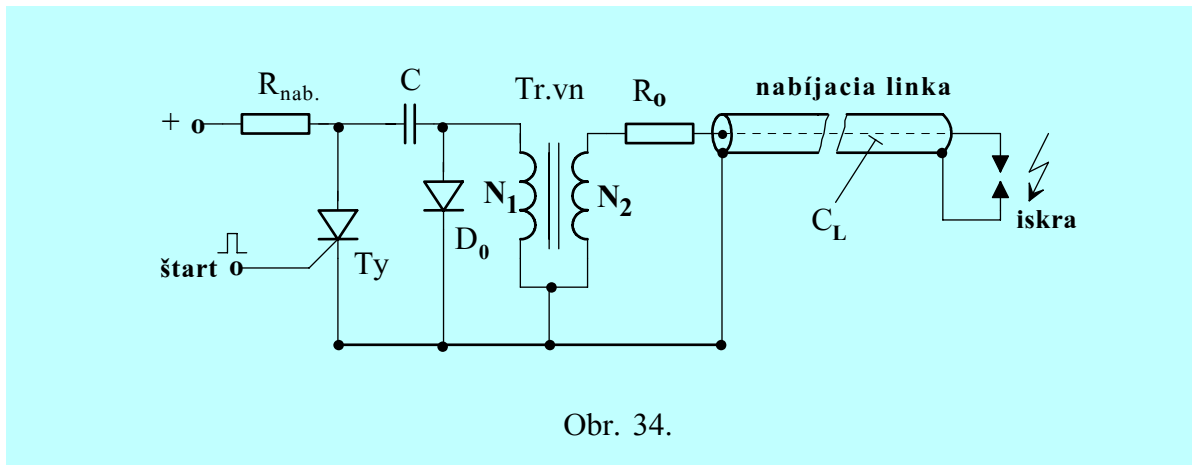
- veľká intenzita zvuku
- strmá nábežná hrana
- široké frekvenčné spektrum, od počutelných do cca 500 kHz
- kvázibodový zdroj zvuku



- ♦ 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. 34.



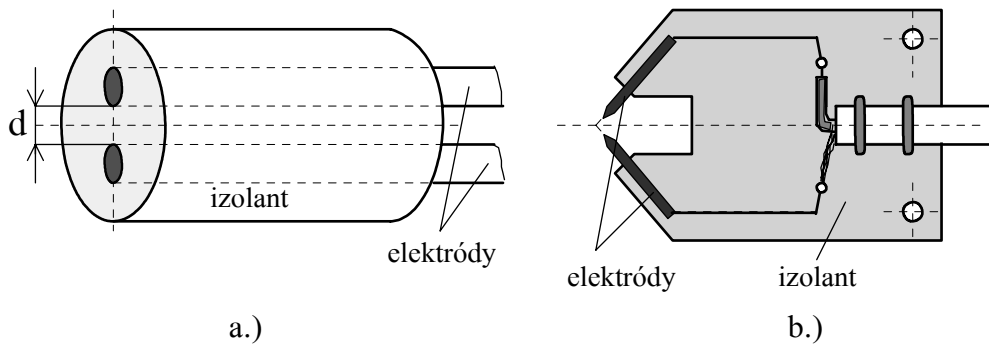
Obr. 34.

- ♦ 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



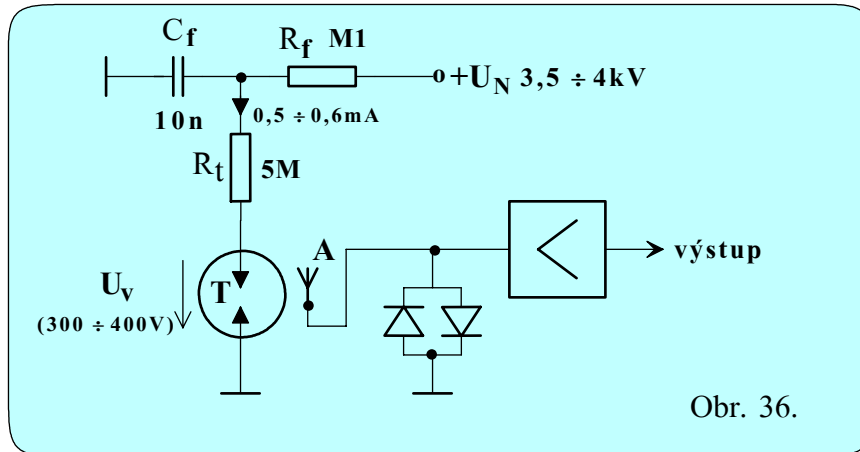
Obr. 35.

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 $10^{-5} \div 1A$), inak vzniká iskra
- pretekajúci prúd závisí od tlaku
- riešenie s "anténou" A.

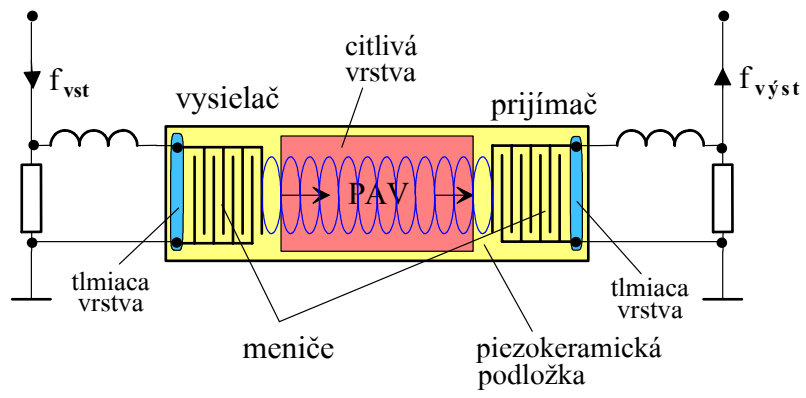
Poznámka: Nestabilita výboja - vážny problém. Prijímač sa náhodne stáva kmitajúcou sústavou, vydávajúcou zvuk (prskanie), čím je vyradený z činnosti. Toto bráni zatiaľ jeho vážnejšiemu využitiu.

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 μm , medzery 25 μm)

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



Obr. 37.