

10. ANALÝZA PROSTREDIA

Do analýzy prostredia sa rátajú:

- ♦ meranie teploty
- ♦ meranie tlaku
- ♦ meranie vlhkosti
- ♦ analýza plynov
- ♦ identifikácia a meranie žiarenia
- ♦ snímanie magnetických polí

10.1. Meranie teploty

Podľa pripojenia k meranému objektu máme :

- kontaktné meranie - mechanický dotyk s meraným objektom - teplomery
- bezkontaktné meranie - pyrometre, (pyrodetektory) snímajú žiarenie

Pre kontaktné metódy sú teda podľa tabuľky (prvých 5) použiteľné :

- dilatačné teplomery - *plynové, kvapalinové, tuhé látky (bimetal)*
- termočlánky - *Peltierov jav, kovové (presnejšie), polovodičové (citlivejšie)*
- odporové teplomery - patria zatiaľ medzi najpresnejšie a najstabilnejšie
- termistory a polovodičové - jednoduché, citlivé, menej stabilné, menej presné, nelineárna charakteristika

Poznámka: *Ortuť mrzne pri - 38,83 °C, bod varu je 356,73 °C, merný odpor 0,909 Ω.mm²/m. (Cu 0,0183, Al 0,0298). Problematický kov - výpary, plomby (kremácia).*

Dilatačné teplomery - prevod na elektrický výstup (ortuť, kontakty, dvojhodnotový)

Ostatné majú elektrický výstup *aktívny, resp. pasívny.*

Typ snímania	Rozsah [°C]
dilatačné - tyče	0 ÷ 1000
dilatačné - dvojkovy	- 130 ÷ 450
termočlánky	- 200 ÷ 1800
odporové (Pt, Ni)	- 250 ÷ 1000
termistory (a iné polovodičové)	- 200 ÷ 1000
pyrometre	- 40 ÷ 3500
termovízia	- 20 ÷ 1000

10.1.1. Termoelektrické javy

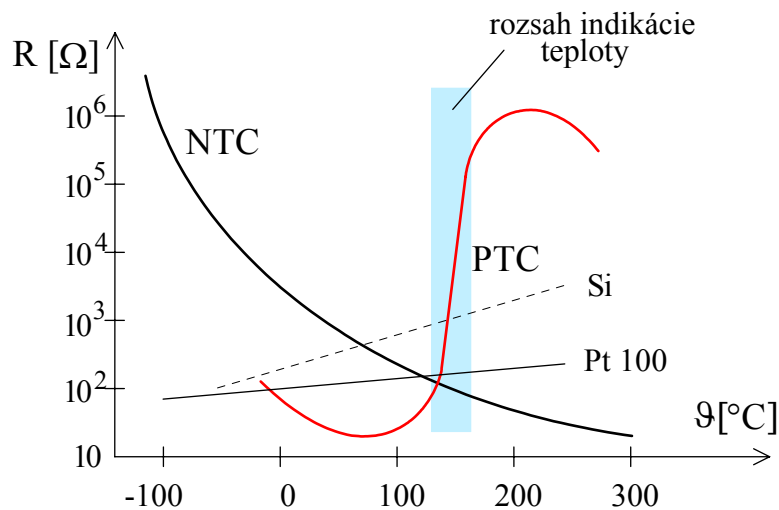
Polovodičové snímače teploty (mikroelektr. princípy)

Používajú sa tri princípy :

- polykryštalické - termistory
- monokryštalické - teplotná závislosť odporu polovodičov
- monokryštalické - teplotná závislosť napätia na PN prechode
- odpor tenkých vrstiev

Termistory

- pozistory (PTC) - R stúpa s teplotou
- negastory (NTC) - R klesá s teplotou



Obr.105.

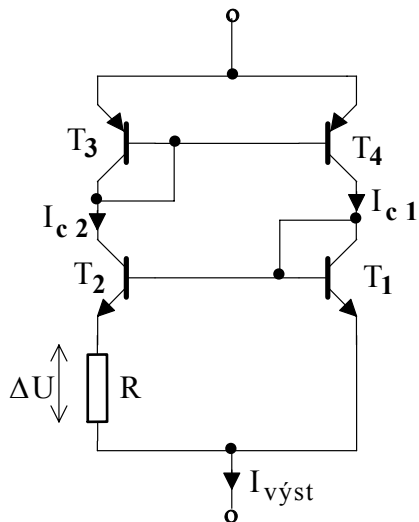
Odpor polovodičov

- odpor je teplotne závislý
- prevodová charakteristika je približne parabola
- teplotný rozsah je asi $-50 \div +150^{\circ}\text{C}$.
- teplotný koeficient je okolo $0,7$ [%/K]. Odpor je $2\text{ k}\Omega$ pri 25°C

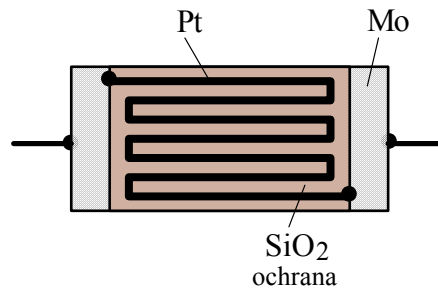
Teplotná závislosť napätia na PN prechode

- úbytok napätia na PN prechode je teplotne závislý (v priepustnom smere)
- tranzistor v diódovom zapojení (báza je spojená s kolektorom)

Princíp je na obr. 106a.



a.)



Pt stopa :

šírka 0,33 mm
dĺžka 76 mm
hrúbka 180 nm

b.)

Obr. 106.

Prúd I_{c2} je úmerný ΔU , preto je tiež úmerný T (teplota v [K]). V tomto symetrickom zapojení je tiež I_{c1} úmerný T . Výstupný prúd $I = I_{c2} + I_{c1}$ musí byť tiež potom úmerný T . Tranzistory T_1 , T_2 sú senzory, T_3 , T_4 sú pridané pre symetriu. Úbytok ΔU na odpore R je :

$$\Delta U = \frac{kT}{e} \ln(r) \quad \text{kde} \quad r = \frac{I_{c1}}{I_{c2}} ; \quad \text{predpoklad:} \quad U_{prech} = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

K dispozícii je teda prúd $I = I_{c2} + I_{c1} \rightarrow$ dvojpól, prúd je úmerný teplote T

K dispozícii je napätie $\Delta U \rightarrow$ "trojpoľ", napätie je úmerné teplote T

Príklad: **AD592** (starší AD590) prúdový výstup (2 vodič.)

presnosť 0,5 °C
linearita 0,15 °C
rozsah - 25 ÷ + 105 °C
 U_{NAP} 4 - 30 V
Výst. prúd 1µA / °C

LM 35 napäťový výstup (3 vodič.)

presnosť < 0,4 °C
linearita < 0,18 °C
rozsah - 60 ÷ + 180 °C
 U_{NAP} 4 - 30 (max 35) V
Výstup 10 mV / °C

Odpor tenkých vrstiev (Na obr. 106b je Pt vrstva v tvare meandra na skle)

- ♦ kovové, alebo polovodičové vrstvy
- ♦ malá časová konštanta (malá hmota)
- ♦ lineárny v rozsahu - 200 ÷ + 100 °C

10.2. Meranie žiarenia (tepelného)

Využitie sú dva druhy javov :

- pyroelektrický jav
- priamy (pravý) termoelektrický jav

10.2.1. Pyroelektrický jav

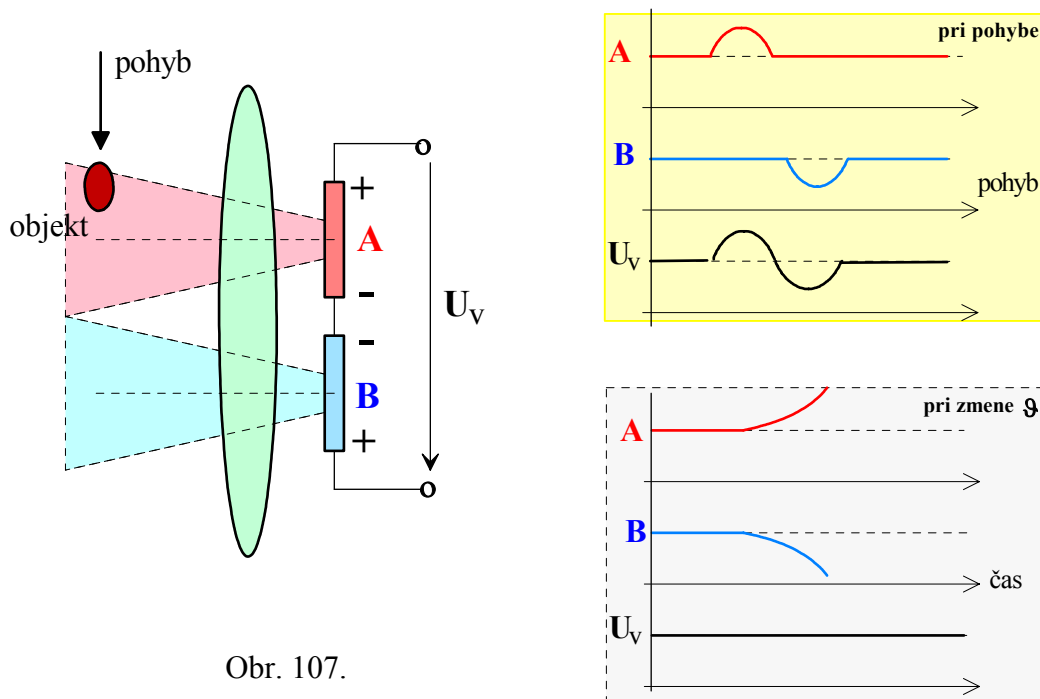
- vyskytuje sa v kryštalických materiáloch
- vznik elektrického náboja pri pôsobení teploty (zmena spontánnej polarizácie → vznik náboja)
- jav dynamický, pri ustálenom stave náboj mizne
- výst impedancia vysoká (10^{12} až $10^{14} \Omega$)
- duálne senzory - dva v jednom púzdre (vedľa seba, zóny citlivosti posunuté, elektricky proti sebe, registrujú pohyb - prechod z jednej zóny do druhej)

Využitie je na snímanie žiarenia v IR pásme ($\lambda \cong 10 \mu\text{m}$). Senzory sú známe ako:

- *pyroelektrické senzory*
- *termovízne kamery - pyrovidikony*

Príklad: Firma INFRATEC ponúka 4 pyroelektrické detektory s predradenými optickými filtermi v jednom púzdre TO - 8 pre pásmo $1 \div 50 \mu\text{m}$. Vhodné sú na detekciu plynov CH, CO, CO₂, NO_x, keď tieto absorbujú so spojitého spektra svoje selektívne vlnové dĺžky, na ktoré sú naladené filtre.

Príklad na činnosť duálneho senzora a teplotnú kompenzáciu je na obr. 107.



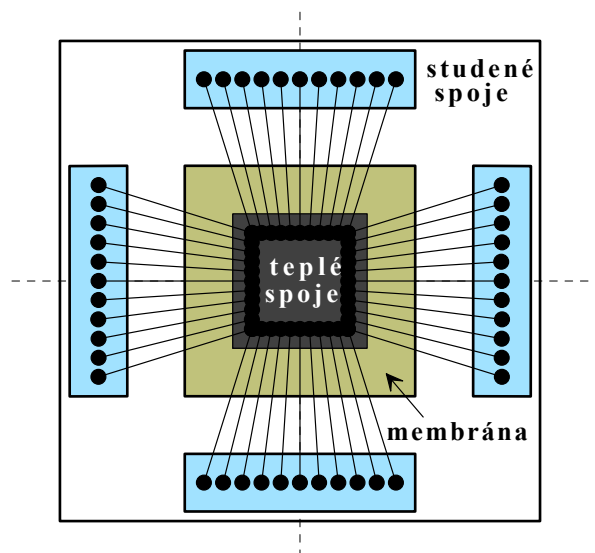
Obr. 107.

Optika

- ♦ sklené šošovky menej často (horšia priepustnosť pre IR)
- ♦ plastové šošovky rôzne lomené (fresnelove)
- ♦ zrkadlá - lepšie spektr. vlastnosti (lomené, stupňovité, každé má svoje ohnisko)
- ♦ "čierné zrkadlo" - IR (10 μm) **odráža dobre, viditeľné absorbuje**

10.2.2. Priamy termoelektrický jav

- ♦ princíp termočlánkov - snímanie žiarenia (obr. 108)
- ♦ klasické drôty sú nahradené tenkými vrstvami
- ♦ pospájaním sa vytvoria termočlánky
- ♦ teplé konce sú v strede senzora, na malej ploche - membráne (čierna, matná)
- ♦ meria sa teplota tejto plochy
- ♦ žiarenie je koncentrované na stred membrány optikou
- ♦ studené konce sú udržiavané na konštantnej teplote
- ♦ senzor je základná súčiastka pre radiačné pyrometre



membrána:

rozмеры
2 x 2 mm, h = 1 μm

obsahuje
60 termočlánkov

stred je čierny, matný
pre dobrú absorbciu
žiarenia

Obr. 108.

10.3. Pyrometre

- meranie teploty pyrometrami - bezdotyková metóda
- metóda je použiteľná v rozsahu teplôt - 40 ÷ 3500 $^{\circ}\text{C}$
- sníma sa žiarenie, ktoré vystupuje z meraného telesa

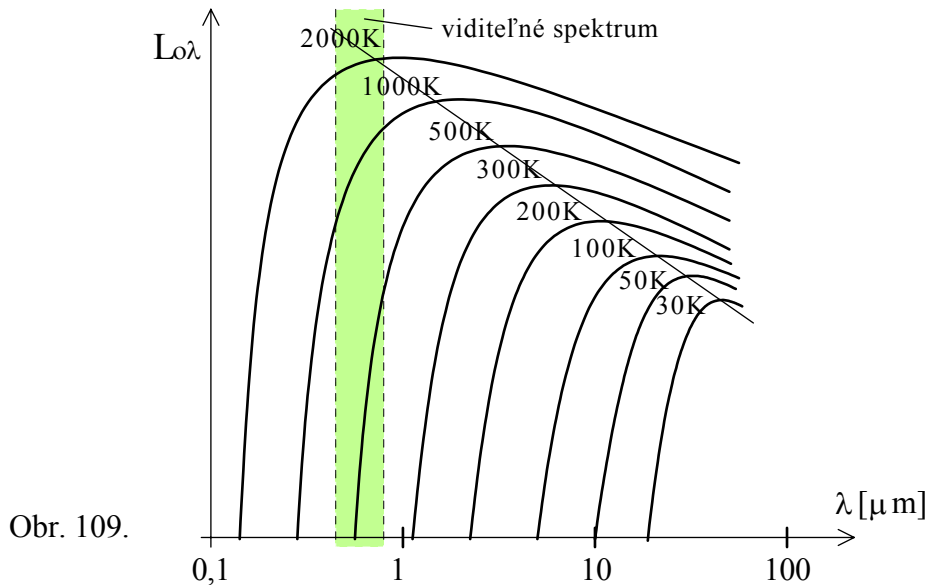
Planckov zákon pre monochromatické žiarenie absolútne čierneho telesa (AČT) platí:

$$M_{0\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

kde : $M_{0\lambda}$ - intenzita vyžarovania
 c_1, c_2 - vyžarovacie konštanty
 λ - vlnová dĺžka žiarenia

T - absolútna teplota

Závislosť žiarenia (jasu) $L_{o\lambda}$ od teploty, resp. vlnovej dĺžky je na obr. 109.



Priebehy platia pre tzv. absolútne čierne teleso AČT.

- môžeme využiť zmenu intenzity (jasu), alebo farby (vln. dĺžky)
- reálne telesá sa líšia od AČT
- prevod medzi reálnymi a AČT udáva emisný súčiniteľ ϵ
- je to číslo, závislé od vlnovej dĺžky žiarenia λ
- zistenie a uplatnenie je náročné
- meranie pyrometrami (s vyššou presnosťou) nepatrí medzi jednoduché metódy

Druhy pyrometrov

Podľa využitia spektra:

- **spektrálne** - využívajú iba veľmi úzku časť spektra, prakticky monochromatické žiarenie, pričom sa mení podľa teploty jas L
- **úzkopásmové** - pracujú v obmedzenom pásme vlnových dĺžok, reagujú väčšmi na zmenu jas L, čiastočne na zmenu vlnovej dĺžky (farby)
- **širokopásmové** - snímajú žiarenie v celom spektrálnom rozsahu, spracúvajú teda celkové žiarenie vychádzajúce z telesa, hovorí sa im tiež radiačné

Podľa meracej metódy to môžu byť:

- **intenzitné** - meria sa intenzita vyžarovania
 - v celom spektre - *radiačné*
 - pri určitej λ – *spektrálne pyrometre*

- porovnávacie - tieto môžu byť:
 - jasové - porovnávajú jas telesa s jasom pomocného zdroja
 - farbové - zisťuje sa porovnávaním spektrálne zloženie meraného žiarenia (obsah rôznych λ - farieb)

Poznámka: Pri spektrálnych (ale intenzitného typu), ktoré sú dosť rýchle, ($\tau \cong 1$ ms) sú snímače žiarenia fotodetektory a výber spektra sa robí pomocou filtrov, pričom spektrum nesmie zasahovať do oblasti absorpcie v CO_2 a vodných parách.

10.3.1. Pyrometre intenzitné radiačné

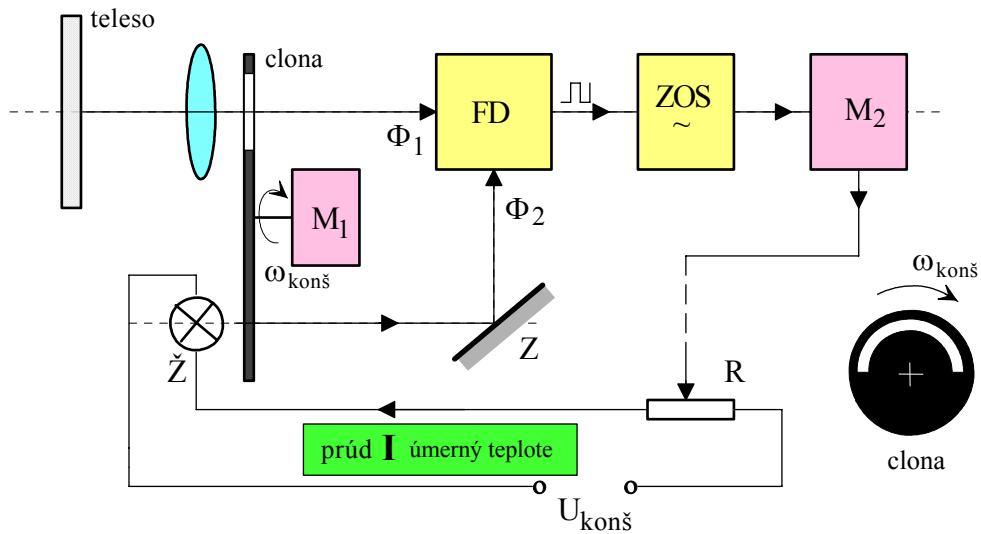
- detekujú až 90 % emitovaného žiarenia (v určitom danom uhle)
- optika - šošovky, zrkadlá
- detektor - termočlánok (mikroelektronický typ)
- na stred sa optikou sústreďuje žiarenie
- zrkadlá výhodnejšie - odraz menej závisí od λ → širší merací rozsah, nízke teploty
- problém - utesnenie vnútorných častí

Príklad:	šošovkový	zrkadlový
rozsah merania	100 ÷ 2000 °C	– 100 ÷ 2000 °C
presnosť	+ 1%	+ 1%
doba merania	0,005 ÷ 5 s	0,005 ÷ 5 s
cena		drahší

10.3.2. Pyrometre porovnávacie

Jasový pyrometer na celkové žiarenie je na obr. 110.

- ♦ žiarenie sa sústreďuje na fotodetektor (FD)
- ♦ žiarenie je modulované - prechod počas polovice otáčky
- ♦ druhá polovica otáčky - na FD žiarenie z pomocného zdroja (žiarovky)
- ♦ ak sa toky Φ_1 a Φ_2 nerovnajú, na FD vzniká striedavá zložka signálu
- ♦ motor M_2 dostáva napätie a nastaví odpor R na rovnosť tokov Φ_1 a Φ_2

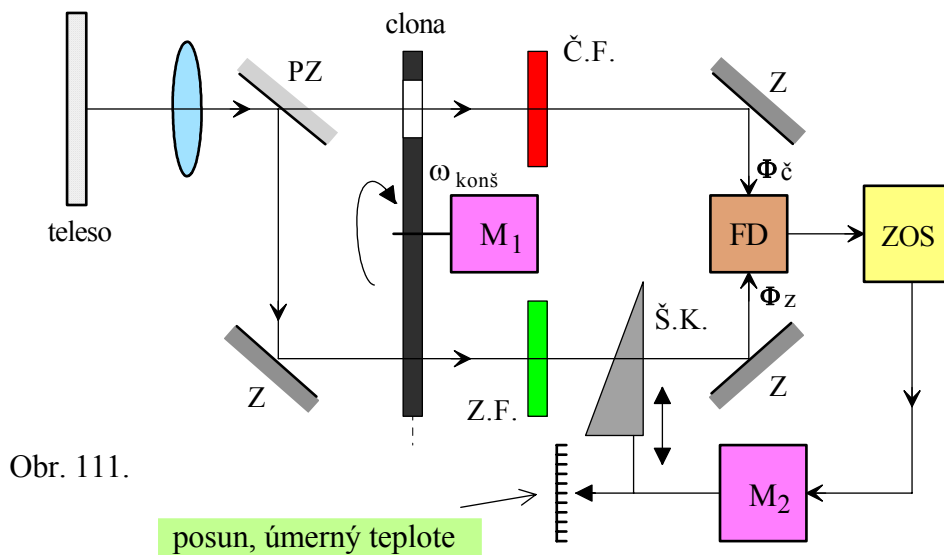


Obr. 110.

Reakčná (meracia) doba sú jednotky [s]. **Výstup je prúd cez žiarovku I.**

Poznámka: V jednoduchom (ručnom) prevedení sa priamo opticky - okom porovnáva jas vlákna s jasom meraného prostredia (napr. pece). Vyváženie je vtedy, keď vlákno splynie \Rightarrow "zmizne". Výstupný signál je v oboch prípadoch prúd do žiarovky.

Farbový pyrometer je na obr. 111.



Obr. 111.

- žiarenie sa rozdelí na dva lúče (polopriepustné zrkadlo PZ a zrkadlo Z)
- jeden lúč prechádza červeným filtrom (ČF), druhý zeleným (ZF)
- "zelený" lúč je ešte ovplyvnený (zoslabený) šedým klinom (ŠK)

- pri stúpaní teploty sa λ posúva ku kratším dĺžkam, stúpa podiel "zelenej" zložky
- aby nevznikala ~ zložka pre motor M2 (ktorá ho otáča), treba zelenú zložku zoslabiť
- motor M2 posúva šedý klin dovtedy, kým má ~ zložku z FD
- **reálny šedý klin - kruhový tvar s rastúcou hrúbkou**

Posun šedého klinu je úmerný teplote, snímačom polohy sa dá previesť na el. signál.

- meranie tu nezávisí od emisného súčiniteľa - presnosť
- sníma sa opäť celkové žiarenie
- rozsah 500 ÷ 2500 °C, doba merania je rádovo jednotky [s], chyba $\delta = \pm 1 \%$
- farbový pyrometer je drahší ako iné typy
- žiarenie z neprístupných miest - svetlovod

10.4. Termovízia

- snímanie teplotného obrazu
- najčastejšie v IR (infrared) oblasti - termovízna kamera

Snímanie v IR oblasti :

- predradením filtra sa vyberie iba IR časť spektra, žiarenie pôsobí na "normálny" systém
- výhodnejšie je použiť priamo snímač s maximom citlivosti v IR oblasti
- CCD snímače (riadkové, maticové)
- menší počet pixelov ($10^2 - 10^5$) a iný materiál čipu, vhodný pre detekciu IR žiarenia
- termovízny obraz - **pseudofarby priradené počítačom** (modrá - chladná, červená - teplá)

Z obrazu je potom možné rýchlo zistiť :

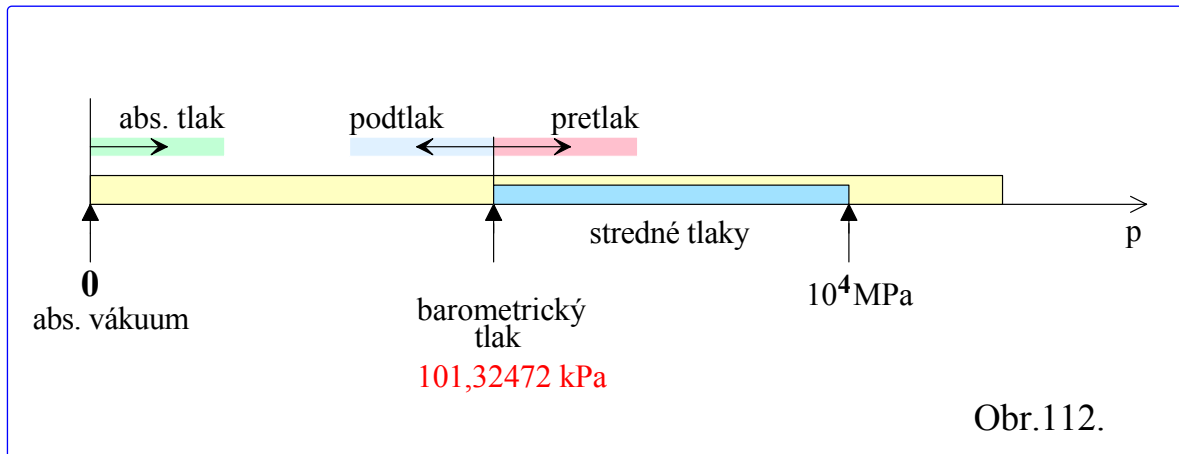
- minimálnu a maximálnu teplotu
- izotermy
- tzv. teplotný profil

Teplotný rozsah: -40 ÷ 2000 °C s rozlíšením 0,1 °C

Príklad parametrov:

parameter	novšie typy	7825 SW
zorné pole	320 x 240	12 x 12
minim. vzdialenosť	0,3m	0,7
obrazov za sekundu	30 - 60	25
senzor	bolometer	InSb
počet pixelov	76800	100
rozsah "šedej" [°C]	- 40 ÷ 500 (2000)	- 20 ÷ 900
rozlíšenie [°C]	0,1	0,1
teplota okolia [°C]	- 20 ÷ 55	- 15 ÷ 55
hmotnosť [kg]	2,3	1,6
spektrál. rozsah [μm]	7,5 ÷ 13	2 ÷ 5,6

10.5. Meranie tlakov



Jednotky : Pascal [Pa] [N/m^2]

(tech.) atmosféra kp/cm^2 , kg/cm^2 , ($1 \text{ atm} \cong 100 \text{ kPa}$)

atm. tlak : $101,324 \text{ kPa} = 1013,24 \text{ hPa} = 760 \text{ torr} = 760 \text{ mm Hg} = 10 \text{ m H}_2\text{O} = 1$

Obecne: **tlak** → **deformačný člen** → **elektrické vyhodnotenie deformácie**

Deformačné členy :

- membrána : - tenká, meria sa priehyb (poloha)
 - tuhá, votknutá, meria sa mech. napätie (tenzometre)
 - zvlnená, pevný stred, meria sa priehyb (poloha)
- vlnovec - viacnásobná zvlnená membrána, meria sa posun (poloha)
- deformačné trubice :
 - jednoduchá, meria sa predĺženie, (poloha)
 - nesúmerná, meria sa ohyb, (poloha)
 - Bourdonova, meria sa pohyb koncového bodu (prevod na otočný pohyb)

Prevod na elektrický signál :

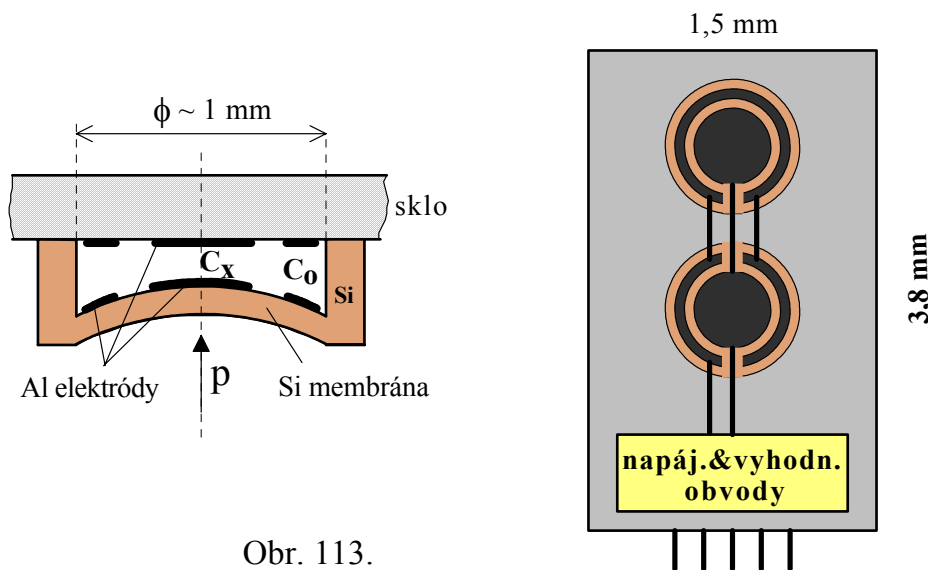
- ♦ pre snímanie **mech. napätia - tenzometre** (kovové, polovodičové, piezorezistívne)
- ♦ pre snímanie **priehybu (polohy)** :
 - kapacitné
 - indukčné
 - fotoelektrické

10.5.1. Mikroelektronické koštruktie

Kapacitné systémy

- kremík je využitý i na mechanické pružné časti
- kremík, podobne ako sklo, je pri mikrorozmeroch pružný
- meranie tlakov, resp. akustických tlakov - mikrofóny

Príklad je na obr. 113.



Obr. 113.

- teória membrán - max. citlivosť (zmena C_x) je pre plochu elektród 36 % z membrány
- časť medzikružia - referenčná kapacita C_o
- výsledok - diferenciálne vyhodnotenie a kompenzácia vplyvov okolia
- zvýšenie citlivosti - spojené dva jednoduché systémy
- na tom istom substráte sú napájacie a vyhodnocovacie obvody
- vývody sú potom iba : kostra, jednosmerné napájanie a výstupný signál.

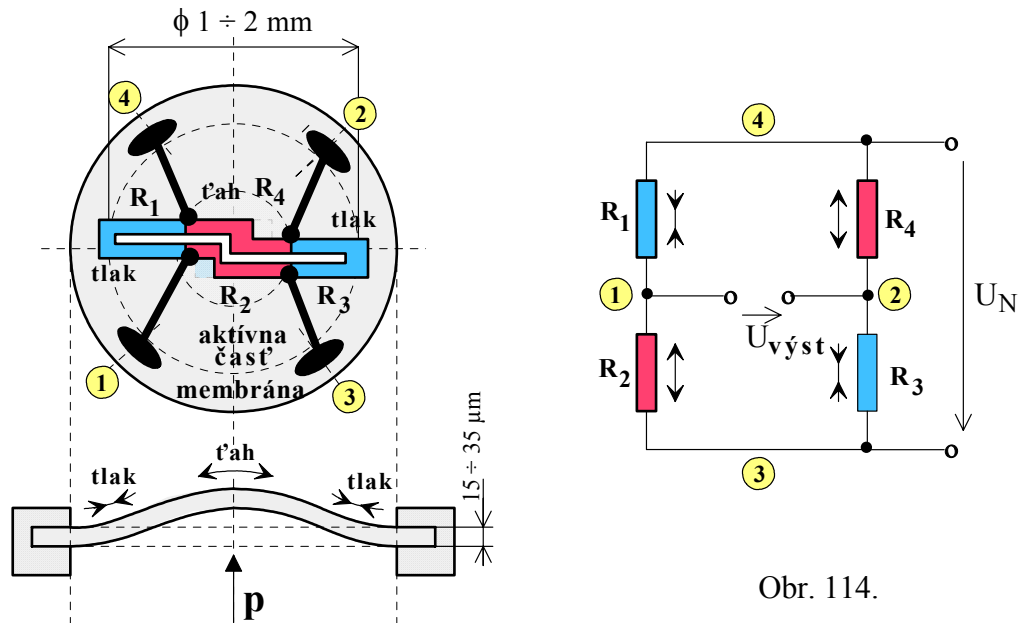
Príklad parametrov :

- rozsah tlakov $0 \div 0,04 \text{ MPa}$
- približná citlivosť $1 \mu\text{V/V.Pa}$
(Volt [V] v menovateli je pomocné napájanie v štruktúre senzora)
- frekvenčný rozsah do 5 MHz (s chybou $\delta < 5 \%$)

Piezorezistívny jav

- ♦ odpor polovodičov sa mení i mechanickým namáhaním
- ♦ jav je použiteľný i pre statické merania, citlivosť je vysoká
- ♦ vplyv teploty je vyšší, ako u kovov
- ♦ mostíku - citlivosť je vyššia, vplyv teploty je menší (prvky na tej istej teplote)

Monoliticky vyrobený systém - tuhá membrána, je na obr. 114.



Obr. 114.

- na membráne sú 4 odpory $R_1 - R_4$
- membrána je upevnená v ráme - votknutá membrána
- pri pôsobení tlaku P sa objavia zóny ťahu a tlaku
- odpory sú v mostíku - 4 uzly
- umiestnené do rôznych namáhání - zvýšenie citlivosti

Príklad parametrov (firma Kulite) :

- | | |
|---|---|
| ➤ priemer : $\phi = 0,8 \div 4 \text{ mm}$ | ➤ presnosť : $0,5 \div 1 \%$ |
| ➤ hmota membr.: $0,1 \div 0,6 \text{ g}$ | ➤ teplot. rozsah : $- 55 \div + 120 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| ➤ rozsah : $0,03 \div 3,5 \text{ MPa}$ | ➤ napájanie : $5 \div 15 \text{ V}$ |
| ➤ f_{res} : $0,1 \div 1,6 \text{ MHz}$ | ➤ výstup : $40 \div 100 \text{ mV}$ |

10.6. Snímanie vlhkosti látok

Meranie vlhkosti pórovitých látok

- meranie elektrickej vodivosti (odporu) látok
- vlhkosť v póroch \rightarrow vodivosť (betón, drevo, obilie, papier, sypké hmoty.....)

Obecne je:

$$R = \frac{A_\phi}{\phi^n}$$

kde : R - elektrický odpor

A_ϕ - konštanta snímača (rozmery, materiál, atď..)

ϕ - relatívna vlhkosť

n - závisí od druhu a štruktúry látky

- snímače sú veľmi citlivé, značná teplotná chyba
- meria sa striedavým prúdom (polarizácia)

10.7. Meranie vlhkosti plynov

Meranie absolútnej a relatívnej vlhkosti.

Absolútna vlhkosť f_a (H_{abs}) obsah vodných pár m_v v objeme plynu V .

$$f_a = \frac{m_v}{V} \quad \left[\text{g/m}^3 \right]$$

Relatívna vlhkosť f_r (H_{rel}) (častejšie φ , alebo δ) - pomerné zastúpenie vodných pár, závislá od teploty.

$$\delta = \frac{f_a}{f_{a\max}} \cdot 100 \quad [\%]$$

Rosný bod. Je to teplota, kedy $\delta = 100\%$ \rightarrow kondenzácia (úmerné abs. vlhkosti)

10.7.1. Meranie prevodom na inú veličinu

Prevod vlhkosti na elektrickú vodivosť (hygroskopické soli, kyseliny) (**rel**)

- ♦ najznámejšie látky sú LiCl, ZnCl₂, H₂SO₄
- ♦ obsah vody v nich závisí od relatívnej vlhkosti okolitého prostredia
- ♦ vlhkosť δ rastie \rightarrow klesá odpor
- ♦ na podložke sú elektródy a medzi nimi je citlivá vrstva, ktorá mení vodivosť
- ♦ silná teplotná závislosť
- ♦ referenčný kanál:
 - konštrukčne taký istý ako merný
 - musí byť na tej istej teplote
 - uzavretý a má konštantnú vlhkosť

Prevod vlhkosti na polohu (**rel**)

- zmena rozmerov pri zmene vlhkosti
- vlasy (ľudské), umelé hmoty. Vlas sa pri zmene δ (0 ÷ 100%) predĺži asi o 2,5 %
- časová stálosť je menšia
- občasná recalibrácia (pri 100 %) - materiál i regeneruje
- prevod na el. signál je cez snímač polohy (potenciometer).

Prevod vlhkosti na teplotu (**rel**)

- ♦ často používaná **psychrometrická metóda**
- ♦ dva teploměry, suchý a mokrý, prúdenie vzduchu
- ♦ suchý teplomer meria teplotu vzduchu ϑ
- ♦ mokrý meria teplotu ϑ_m , $\vartheta_m < \vartheta$
- ♦ metóda je presná, chyba je asi 1 ÷ 2 % , meranie teplôt môže byť R teplomermi

Parciálny tlak vodnej pary v základnej psychrometrickej rovnici je:

$$p_c = p_{m_{\max}} - A_v p_b (\vartheta - \vartheta_m)$$

p_c - parc. tlak vodnej pary

$p_{m_{\max}}$ - tlak nasýtenej pary pri teplote ϑ_m

A_v - psychrometrický súčiniteľ, je konštantný s hodnotou $6,56 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ pre prúdenia, kde $c > 2,5 \text{ m/s}$.

p_b - barometrický tlak

p_{\max} - tlak nasýtenej pary pri teplote ϑ

potom :

$$\delta = \frac{p_c}{p_{\max}}$$

Poznámka: V praxi sa vlhkosť odčítava z tabuliek, vstupné údaje sú teplota vzduchu a rozdiel teplôt $\vartheta - \vartheta_m$.

Prevod vlhkosti na kapacitu (rel)

- niektoré dielektriká vykazujú zmenu kapacity pri zmene **vlhkosti**
- typický predstaviteľ - porézny Al_2O_3 , ktorý mení C i R v paralelnej náhradnej schéme
- voda v póroch → zvýšenie C (ϵ_r vody = 80)
- podobné vlastnosti - polyméry

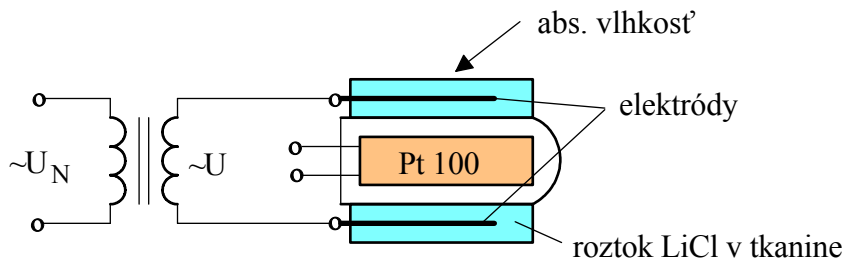
Rozoznávame 2 typy :

- ◆ Alfa - senzor → plynulá zmena kapacity Al_2O_3 (polyméru) od δ [%]
 - základná C 200 pF, 500 pF
 - zmena C 0,6pF / 1% , 1,45 pF / 1%
- ◆ Beta - senzor → prudká zmena C špeciálneho tantalového kondenzátora pri "orosení"

Poznámka: Zosilnený signál reguluje potom ochladzovanie prvku, teda tohoto Beta senzoru na tzv. rosný bod.

10.7.2. Iné spôsoby merania vlhkosti plynov

Elektrolytický vlhkomer (absolútna vlhkosť, obr. 115)



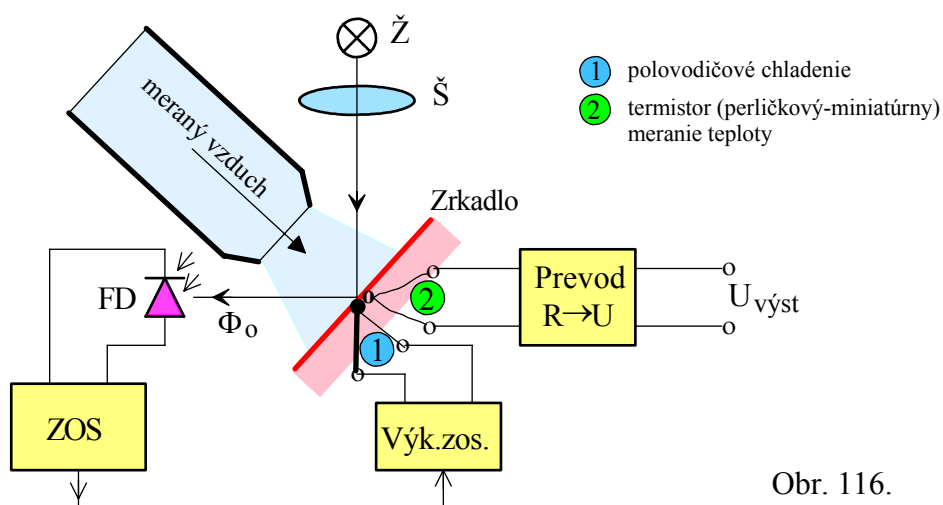
Obr. 115.

- na povrchu je sklenená tkanina, napustená roztokom LiCl
 - do tkaniny zasahujú platínové elektródy, napájané striedavým prúdom
 - prúd zahrieva tkaninu (roztok) - je vodič → tkanina sa vysušuje
 - pri vzniku kryštálov prudko stúpne R, klesne vyhrievací prúd, teplota, vysušovanie.....
 - dej sa ustáli, keď je v rovnováhe vlhkosť tkaniny s vlhkosťou okolia (plynu)
- teplota neprekračuje ani pri vysokých vlhkostiach 60 °C
 - podobné meraniu rosného bodu. Chyba merania je asi 1 %
 - pre relatívnu vlhkosť treba merať ešte teplotu vzduchu

Zisťovanie rosného bodu (abs)

- ♦ patrí tiež medzi hygrometrické metódy
- ♦ podchladenie → kondenzácia vodných pár na nejakom objekte
- ♦ polovodičové chladenie
- ♦ počiatok kondenzácie → opticky, vodivostne, kapacitne
- ♦ teplota "kondenzácie" → teplomer

Princíp optického systému je na obr. 116.



Obr. 116.

Vodivostná identifikácia rosenia

- využije sa prudké zvýšenie vodivosti pri orosení (kvapky)
- medzi hrebeňovými elektródami je vhodná látka
- chladený je potom priestor elektród

*Kapacitná identifikácia rosenia - **Beta senzor***

Infračervené vlhkomery (abs)

- využívajú absorpciu IR žiarenia vo vodnej pare
- spektrálne absorpčné pásy majú $\lambda = 1,45$ a $1,93 \mu\text{m}$
- zdroj - podžeravená wolfrámová žiarovka
- presné vlnové dĺžky pomocou filtra
- selektované žiarenie prechádza meraným prostredím a dopadá na fotodetektor
- zoslabenie žiarenia je úmerné koncentrácii vodných pár
- zlepšenie presnosti → referenčný kanál v tom istom prostredí (teplote)
- λ v ref. kanáli je mimo abs. pásem ($1,45$ a $1,93 \mu\text{m}$) a je v oblasti $1,2 \mu\text{m}$ a $1,7 \mu\text{m}$
- ref. kanál reaguje na ostatné parametre okrem H_2O → dajú sa odčítať
- chyba je potom $0,1 \div 1 \%$