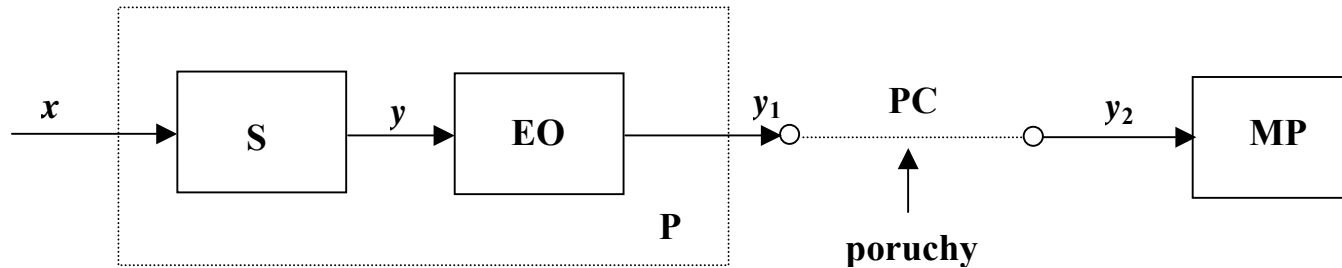


# **Meranie neelektrických veličín (NEV) (1)**

- **neelektrická veličina – fyzikálna veličina mimo elektrickej**
- **hlavná pozornosť – mechanické veličiny, okrajovo – chemické a tepelné veličiny**
- **meranie NEV – uvažujeme len meranie elektrickými metódami**
- **ide o nepriame metódy merania,**  
**výhody:**
  - **možnosť prenosu informácie (elektrický signál) na väčšie vzdialenosti**
  - **možnosť sústredenia (zapamätania) informácie na jednom mieste**
  - **jednoduché zavedenie automatického riadenia**
  - **jednoduchá úprava signálov (suma, rozdiel, integrácia, derivácia)**
  - **možnosť AČ prevodu a číslicového spracovania, prípadne archivácie**

## Meranie NEV (2)

- **bloková schéma meracieho reťazca na meranie NEV**



- $x$  – meraná veličina,  $S$  – snímač,  $y$  – elektrická veličina,  $EO$  – elektrický (elektronický) obvod,  $y_1$  – signál,  $(S+EO)$  - (merací) prevodník – často konštrukčne a funkčne jeden celok,  $PC$  – prenosová cesta – vystavená rušivým vplyvom (zlá izolácia, indukované napätia, zmena odporu s teplotou, ...),  $MP$  – merací prístroj
- obvykle  $y_1 \neq y_2$
- ďalej sa budeme venovať hlavne snímačom  $S$
- ak bude funkčnosť prevodníka  $P$  vyžadovať špeciálny  $EO$ , zmienime sa o ňom

## **Meranie NEV (3)**

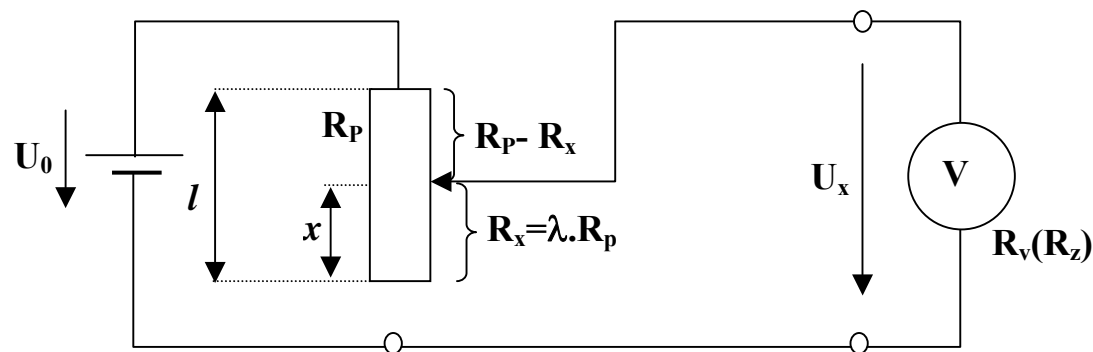
- **snímače môžeme deliť podľa**
  - **typu meranej fyzikálnej veličiny (teplota, poloha, tlak, ...)**
  - **podľa nutnosti (ne)použiť pomocný zdroj elektrickej energie (pasívne a aktívne snímače)**
  - **podľa princípu činnosti, teda výstupnej elektrickej veličiny (aktívne snímače), alebo podľa elektrického parametra, ktorý sa mení zmenou meracej fyzikálnej veličiny (pasívne snímače)**
- **zvolíme si tretí spôsob delenia**

## **Odporové snímače (1)**

- **využívajú zmenu elektrického odporu vyvolenú zmenou meranej veličiny**
- **rôzne fyzikálne princípy – posuv kontaktu po odporovej dráhe, zmena koncentrácie elektrolytu, zmena teploty, deformácia odporového drôtu alebo polovodiča, fotoelektrický jav a pod.**
- **najčastejšie sa zapájajú do DC obvodov – jednoduchšie meranie, ale prídavné chyby (termonapätia, elektrolytický jav, statický náboj, ofset, zosilňovače a pod.)**
- **striedavá veličina tieto javy zväčša automaticky vylúči**

## Odporové snímače (2) – meranie polohy

- iný názov – potenciometrické snímače
- základ – drôtový alebo vrstvomý rezistor s pohyblivým kontaktom – jeho polohu určuje meraná veličina



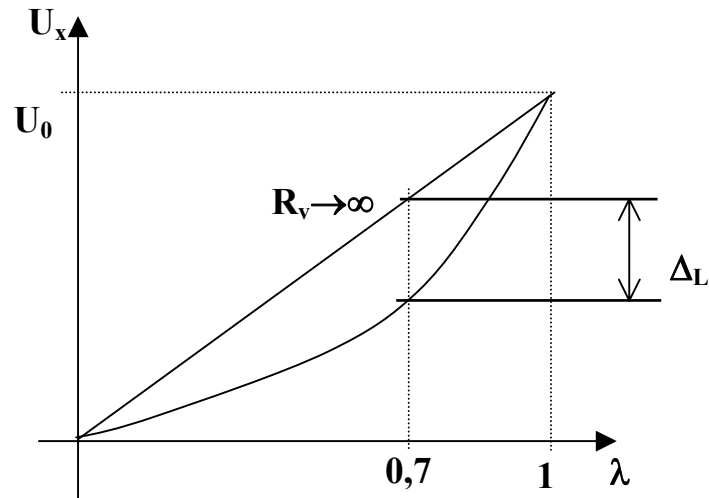
$$R_p - R_x = R_p \cdot (1 - \lambda)$$

- $R_v \rightarrow \infty$ , naprázdno;  $R_x = \frac{x}{l} \cdot R_p$ ;  $\lambda = \frac{x}{l}$ ;  $R_x = \lambda \cdot R_p$ ;  $U_x = \frac{R_x}{R_p} \cdot U_0 = \lambda \cdot U_0$

- $R_v$  (konečná hodnota);  $R'_x = \frac{R_x \cdot R_v}{R_x + R_v} = \frac{\lambda \cdot R_p \cdot R_v}{\lambda \cdot R_p + R_v}$

$$R'_p = R'_x + (1 - \lambda) \cdot R_p; \quad U_x = \frac{R'_x}{R'_p} \cdot U_0 = f(\lambda) \text{ - odmerať je jednoduchšie}$$

## Odporové snímače (3) – meranie polohy



$\Delta_{Lmax}$  je pri  $\lambda \approx 0,7$

$$\Delta_L = f(R_v)$$

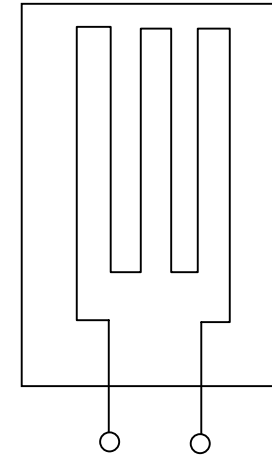
- nevýhody – závislosť na veľkosti napájacieho napätia ( $U_0$ ), nízka spoľahlivosť zavinená znečistením (opotrebovaním) odporovej dráhy
- závislosť od  $U_0$  riešime zapojením potenciometra na pomerový magnetoelektrický prístroj
- použitie – plavákové meranie hladiny kvapaliny v nádobe (palivomer u automobilov)

## Odporové snímače (4) - tenzometre

- meranie deformácie tuhých telies (ohyb, stočenie, sila, tlak a pod.) zmenou dĺžky, prierezu a merného odporu odporového materiálu

- kovové tenzometre – vodič z odporového materiálu usporiadaný do tvaru meandru a fixovaný na špeciálnej podložke (rôzne technológie výroby – fóliové tenzometre – leptanie odporovej dráhy)

$R = \rho \cdot l/S$ ;  $\rho$  merný odpor,  $l$  dĺžka vodiča,  $S$  prierez vodiča



- pri deformácii dochádza k zmene odporu zmenou rozmerov ( $l$ ,  $S$ ) ako aj zmenou  $\rho$
- meranie – tenzometer nalepíme na objekt merania, ktorého deformáciu vyjadríme fyzikálnou veličinou (ohyb, sila ...); sledujeme, určíme zmenu  $R \rightarrow R+\Delta R$
- existujú aj polovodičové tenzometre (Si), nevýhody – teplotná závislosť, nelinerarita

## Odporové snímače (5) - tenzometre

- celková relativná zmena odporu tenzometra  $\Delta R/R$  bude (totálny diferenciál)

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{R} \cdot \left( \frac{\partial R}{\partial \rho} \cdot \Delta \rho + \frac{\partial R}{\partial l} \cdot \Delta l + \frac{\partial R}{\partial S} \cdot \Delta S \right) = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S}; \quad \left( R = \rho \cdot \frac{l}{S} \right)$$

$\frac{\Delta l}{l}$  - relatívna deformácia  $\varepsilon$  (zmena dĺžky)

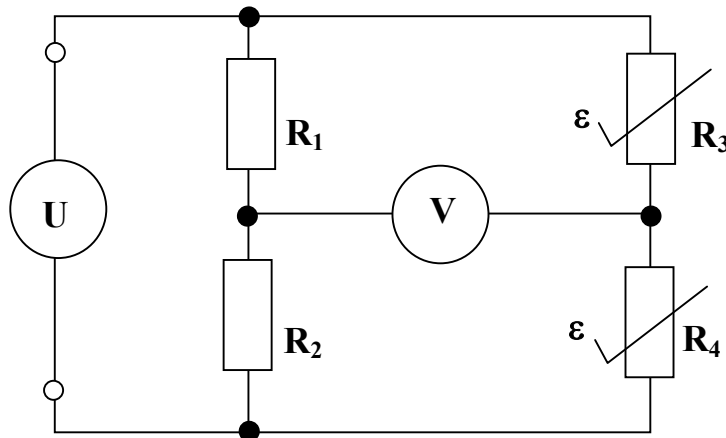
$$\delta_R = \frac{\Delta R}{R} = \left( 1 + \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\frac{\Delta l}{l}} - \frac{\frac{\Delta S}{S}}{\frac{\Delta l}{l}} \right) \cdot \frac{\Delta l}{l} = K \cdot \varepsilon$$

- $K$  je konštanta ak používame tenzometer v oblasti použitých deformácií, pri malých zmenách rozmerov ( $\approx 1\%$ )
- $K$  – citlivosť tenzometra,  $K_{\text{polovodič}} \in \langle 75; 180 \rangle$  ; (konštantám  $K=2,1$ ; manganín  $K = 0,47$ ; platina  $K = 6,0$ ; nikel  $K = -12,1$ )
- ideálna charakteristika  $\delta_R = K \cdot \varepsilon$  je lineárna



## Odporové snímače (6) – tenzometre

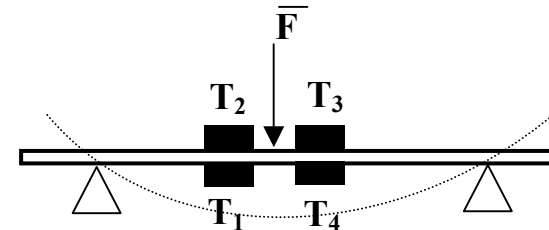
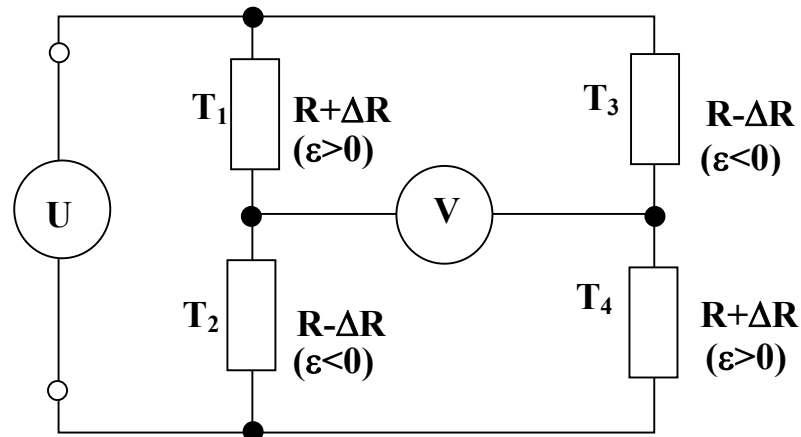
- na vyhodnotenie zmeny odporu tenzometra používame rozvážený Wheatstoneov mostík
- kovové tenzometre – výstupné napätia (v diagonále) sú malé  $\Rightarrow$  rušenie termoelektrickými napätiami  $\Rightarrow$  napájanie mostíka striedavým prúdom
- zmena deformácie (kvôli linearite) len  $\approx 1\%$ , teda aj zmena odporu malá  $\Rightarrow$  zmena odporu vplyvom zmeny teploty môže byť zrovnateľná  $\Rightarrow$  treba to kompenzovať ďalším rovnakým tenzometrom v susednej vetve mostíka (mechanicky nenamáhaným)



$$U_v = U \cdot \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right)$$

## Odporové snímače (7) – tenzometre

- výhodné je upraviť tenzometre tak, aby sa jeden pri mechanickom namáhaní predlžoval a druhý skracoval
  - ide o diferenčné usporiadanie
  - zdvojnásobíme citlivosť
  - znížime nelinearitu
- z hľadiska citlivosti je najvýhodnejší tzv. úplný mostík (vo všetkých vetvách rovnaké tenzometre)
  - citlivosť je 4x väčšia ako s jedným tenzometrom



$$U_v = U \cdot \left( \frac{R + \Delta R}{2R} - \frac{R - \Delta R}{2R} \right) = \frac{\Delta R}{R} \cdot U = K \cdot \epsilon \cdot U$$

## Odporové snímače (8) – odporové teplomery

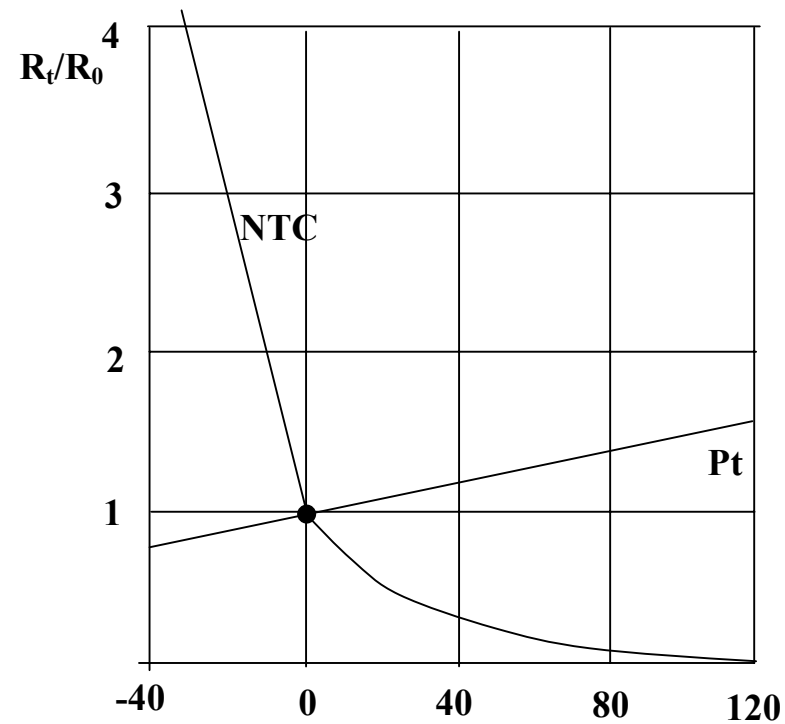
- snímače, ktoré menia odpor zo zmenou teploty
- dve skupiny – kovové a polovodičové (s negatívnym teplotným koeficientom – NTC) odporové teplomery
- kovové – závislosť odporu od teploty je do cca 100°C približne lineárna  $R_t = R_0[1 + \alpha_t(t - t_0)]$ ;  $R_0$  - odpor pri základnej teplote  $t_0$ ,  $R_t$  – odpor pri meranej teplote  $t$  a  $\alpha_t$  – teplotný súčiniteľ odporu
- väčší rozsah teplôt – kvadratická aproximácia  $R_t = R_0[1 + \alpha_t(t - t_0) + \beta_t(t - t_0)^2]$
- kovy podliehajúce oxidácii (Cu, Fe) nie sú vhodné
- ušľachtilé kovy (Pt, Ni, Au, Ag) sa môžu tiež poškodiť (chemikálie, difúzia cudzích látok)  $\Rightarrow$  vkladajú sa do puzdra
- polovodičové (termistory) – väčšia citlivosť, nižšia časová stabilita, menší teplotný rozsah (max 120°C), veľká nelinearita  $R_t = R_0 e^{-B(1/t - 1/t_0)}$   
B - materiálová konštanta (kladná)
- termistory – meranie teploty v chladiči automobila pomerovým magnetoelektrickým prístrojom

## Odporové snímače (9) – odporové teploměry

- ak rozsah merania termistorov je len niekoľko °C, možno závislosť

$R_t = f(t)$  aproximovať priamkou  $R_t = R_0 [1 + \alpha_t (t - t_0)]$ ;  $\alpha_t < 0$

$$|\alpha_{t \text{ polov.}}| = (5 \text{ až } 50) \cdot |\alpha_{t \text{ kov}}|$$

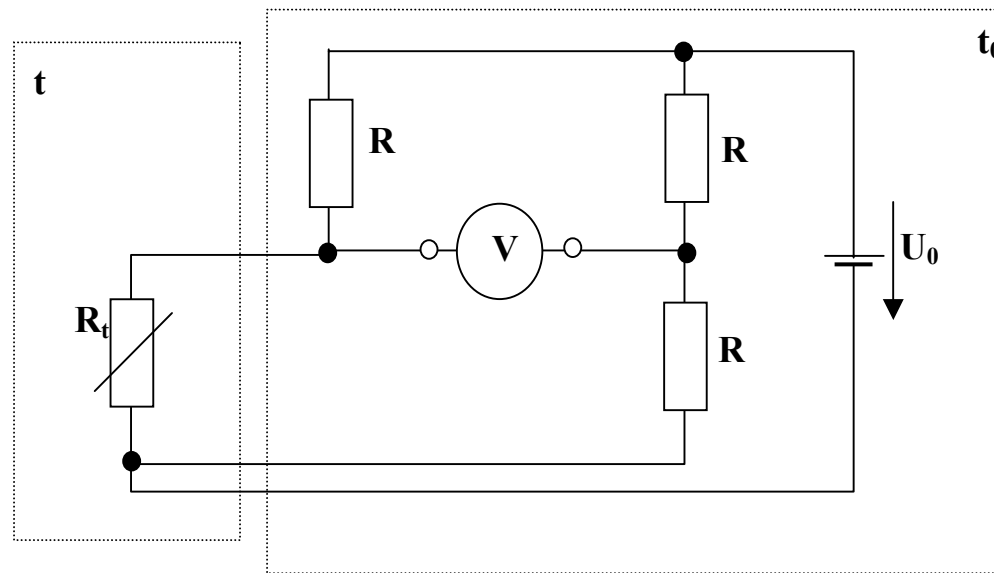


## **Odporové snímače (10) – odporové teplomery**

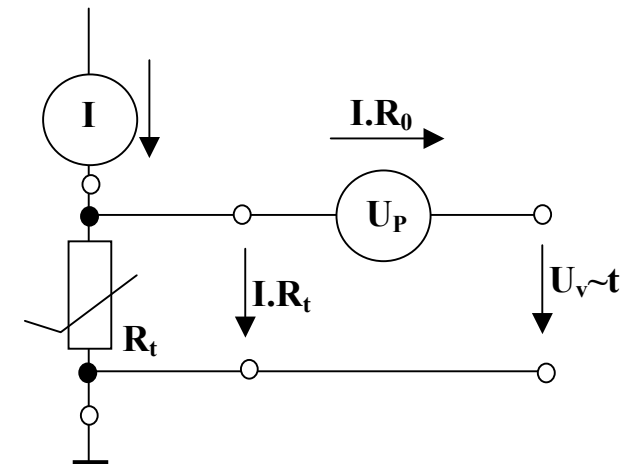
- **v praxi kovové – platinové alebo niklové teplomery Pt 100( $R_0 = 100\Omega$ ), Pt 1000( $R_0 = 1000\Omega$ )**
- **Pt rozsahy od  $-200^\circ\text{C}$  do  $850^\circ\text{C}$ , Ni rozsahy od  $-60^\circ\text{C}$  do  $150^\circ\text{C}$  (teplotné rozsahy sú rozdelené zhruba po  $100^\circ\text{C}$  a na každý rozsah iný teplomer)**
- **zapojenie kovových teplomerov – nevyrovnané Wheatstoneove mostíky. Nedá sa použiť mostík so 4 snímačmi – neexistujú dvojice materiálov s rovnakými teplotnými súčinitel'mi, ale opačnými znamienkami**
- **špecifikom mostíka je, že snímač (teplomer) je v prostredí s meranou teplotou  $t$  a ostatné prvky mostíka sú v prostredí s  $t_0 \Rightarrow$  treba dlhšie vodiče na pripojenie teplomera  $\Rightarrow$  nezanedbateľný odpor vodičov**
- **d'alší problém – termónapätia v spojoch dvoch vodičov**

# Odporové snímače (10) – odporové teplomery

- kompenzácia problémov – 3-vodičovým zapojením

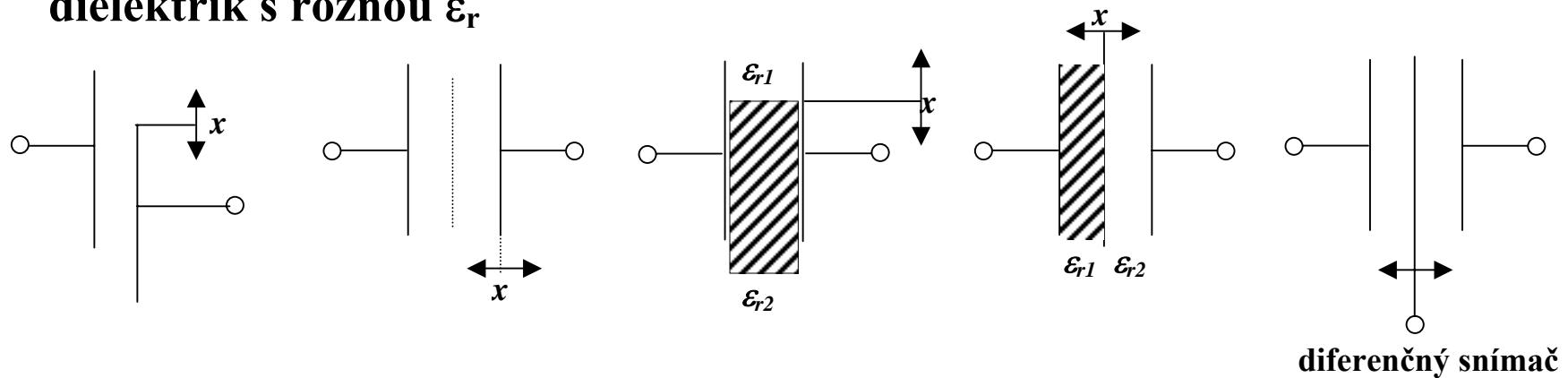


- napájanie odporového teplomera zdrojom  $I$ , ohmova metóda – umožní to 4-svorkové zapojenie, pre  $R_t = R_0$  môžeme kompenzovať úbytok napätia na  $R_t$  pomocným zdrojom  $U_p$



# Kapacitné snímače (1)

- zmena kapacity snímača vyvolaná zmenou meranej veličiny (obvykle lineárny posuv, uhol, ...)
- kapacitný snímač – ideálny kondenzátor (pri zanedbaní vodivosti izolácie a strát v dielektriku)
- tvar snímača – doskový kondenzátor  $C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot S/d$ 
  - súosový valcový kondenzátor  $C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot l / \ln(D_1/D_2)$   
 $l$  – dĺžka valcov;  $D_1, D_2$  priemery vonkajšieho a vnútorného valca)
- zmena kapacity sa dosahuje zmenou: aktívnej plochy elektród, vzdialenosti elektród, plochy dvoch dielektrík s rôznou  $\epsilon_r$ , hrúbky dvoch dielektrík s rôznou  $\epsilon_r$



## Kapacitné snímače (2)

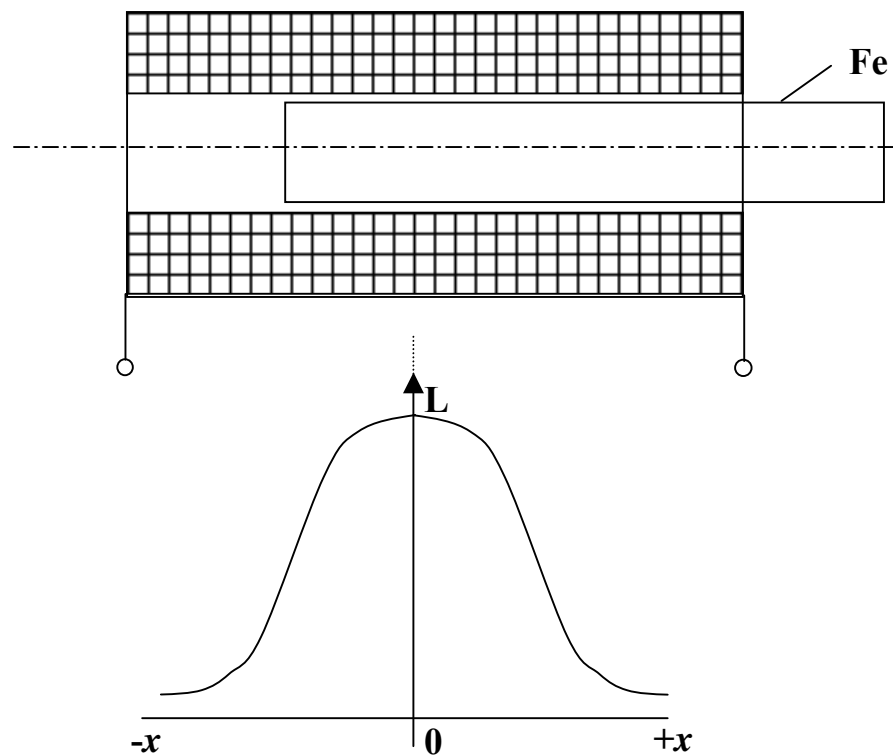
- **diferenčný snímač znižuje rušivé vplyvy (teplota okolia), zlepšuje linearitu**
- **použitie: zmeny polohy (malé), meranie tlaku (zmena vzdialenosti pružnej vodivej membrány od pevných elektród), výška hladiny (palivomer v lietadlách), hrúbka nevodivých fólií ( $\epsilon_r \neq 1$ )**
- **zapojenie: napájanie zdrojom harmonického napätia ( $U = \text{konšt.}$ ,  $f = \text{konšt.}$ ), meraný signál – efektívna hodnota prúdu**  
**Pre diferenciálne snímače použiť striedavé mostíky**



## Indukčnosťné snímače (1)

- princíp – zmena vlastnej (vzájomnej) indukčnosti cievky (cievok) zmenou polohy feromagnetického jadra, alebo časti magnetického obvodu
- zmena indukčnosti ( $L$ )  $\Rightarrow$  zmena impedancie cievky  $Z = R + j \omega L$ ;  
 $\omega L/R = 1 \div 10$ ;
- celková zmena  $Z$  menou  $L$  je malá  $\Rightarrow$  nižšia citlivosť a aj presnosť snímačov
- napájanie snímačov zo zdroja  $AC$  prúdu, konštantná amplitúda a frekvencia
- vhodné sú pre nepriaznivé prostredia (sú bez pohyblivých kontaktov)
- nízka presnosť merania

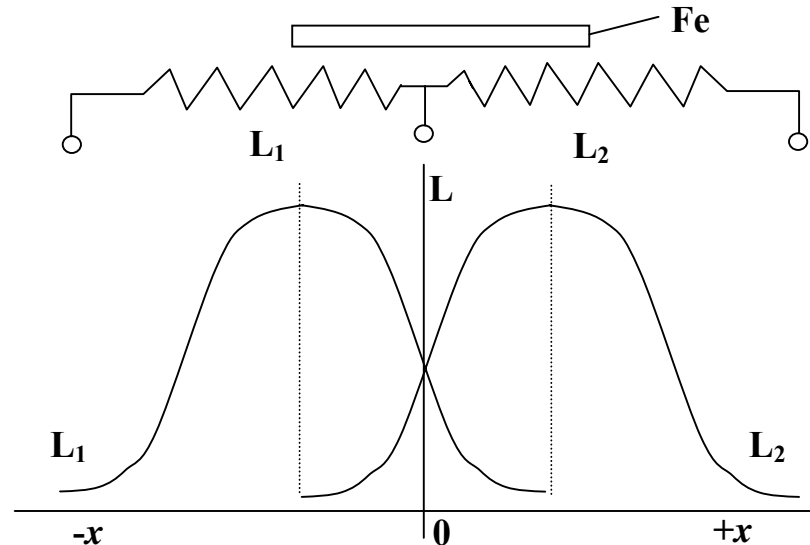
## Indukčné snímače (2) – jednoduché zapojenie



- ak je jadro celé v cievke  $\Rightarrow L$  je max.; posun jadra vľavo alebo vpravo  $\Rightarrow L$  klesá
- nelinearita charakteristiky snímača  $L = f(X)$

## Indukčné snímače (3) - diferenčné zapojenie

- dve cievky v sérii a spoločná pohyblivá časť (jadro)
- pri pohybe jadra indukčnosť jednej cievky klesá a druhej rastie



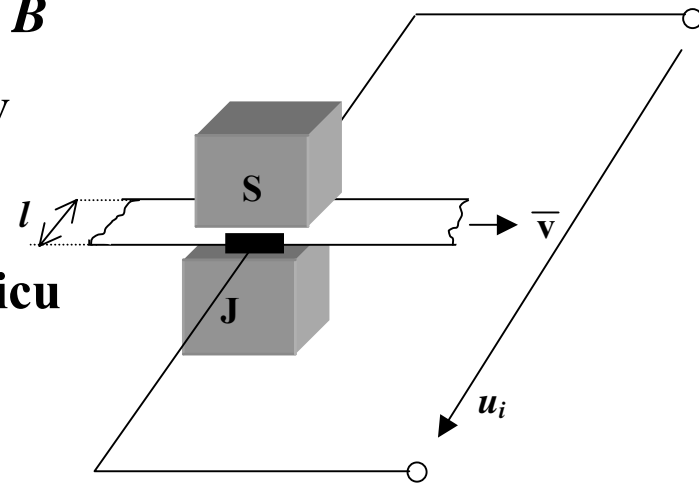
- transformátorové zapojenie – pridá sa tretie vinutie, na ktoré sa pripojí napájací zdroj – galvanické oddelenie napájacieho zdroja od meracieho obvodu
- okrem zmeny  $L_1$  a  $L_2$  sa využíva zmena väzby medzi primárnym a sekundárnym vinutím  $\Rightarrow$  zmena indukovaných napätí ako funkcia zmeny polohy jadra

## **Indukčné snímače (1)**

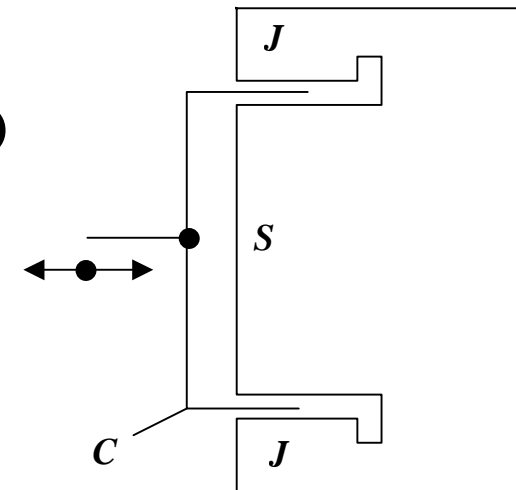
- **indukčnosťné snímače –pasívne (zmena  $L$ )**
- **indukčné snímače – aktívne (generátorické)**
- **Faradayov zákon – indukované napätie sa rovná časovej zmene (derivácii) magnetického toku viazaného vodičom**
- **v aktívnych snímačoch sa využíva vzájomný pohyb vodiča a stacionárneho magnetického poľa permanentného magnetu (PM)**
- **PM sa nepohybuje, ale v jeho magnetickom poli sa pohybuje vodič spojený s meraným objektom**
- **z princípu je zrejmé, že indukčné snímače sa nedajú použiť na meranie statických veličín**
  - **používajú sa na snímanie kmitavého, alebo rotačného pohybu**

## Indukčné snímače (2)

- meranie rýchlosti pri lineárnom pohybe
  - vo vzduchovej medzere PM s indukciou  $B$  sa pohybuje pásový vodič s rýchlosťou  $v$
  - $u_i$  sa sníma trecími kontaktami
  - aplikujeme indukčný zákon na 1 prúdnicu o dĺžke  $l$  kolmú na  $B$ , ale aj na  $v$
$$u_i = B \cdot l \cdot v \Rightarrow v = u_i / (B \cdot l)$$

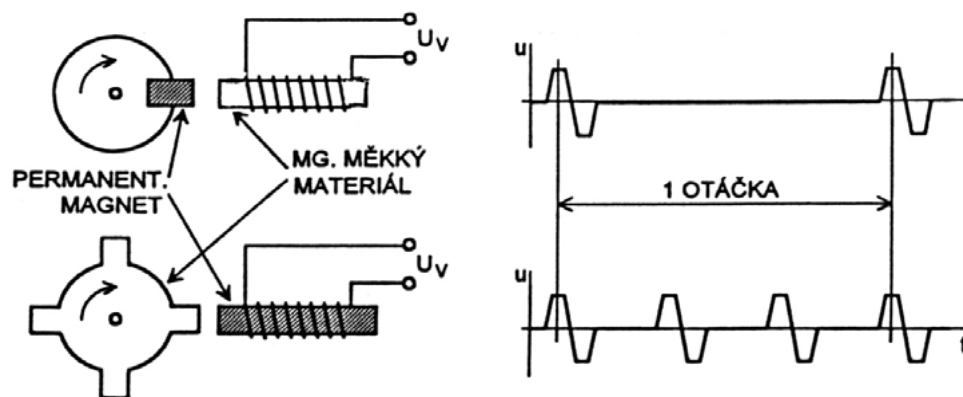


- snímač lineárneho kmitavého pohybu (vibrácií)
  - cievka  $C$  spojená s kmitajúcim objektom
  - meria sa  $u_i$  indukované v  $C$  pri pohybe v magnetickom poli



## Indukčné snímače (3)

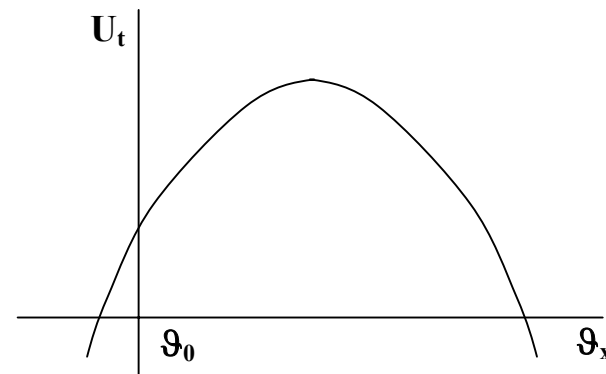
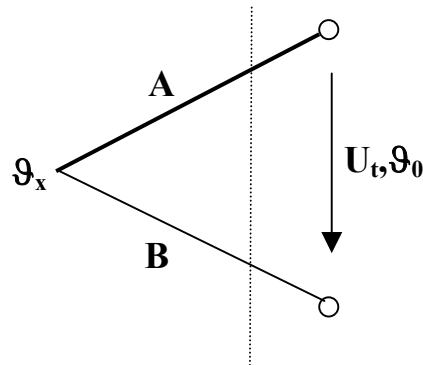
- meranie otáčok – 2 modifikácie
  - na rotujúcu časť sa umiestni PM a zmenou magnetického poľa pri priblížení a vzdialení PM od cievky sa indukuje napät'ový impulz – turbínkové prietokomery
  - rotujúca časť je z magneticky mäkkého materiálu a cievka je navinutá na PM. Zmena toku je vyvolaná zmenou magnetického odporu magnetického obvodu



# Termoelektrické snímače (1)

- termoelektrický jav (r. 1822 Seebeck – nem. fyzik)
- v uzavretom obvode zloženom z dvoch vodičov z rôznych kovov bude pretekať elektrický prúd, ak spoje týchto vodičov budú na rôznych teplotách
- teplota spoja  $\vartheta_x$  (meraná veličina), teplota voľných koncov  $\vartheta_0$  (tam meriame napätie  $U_t$ )

$U_t = a + b \cdot (\vartheta_x - \vartheta_0) + c \cdot (\vartheta_x - \vartheta_0)^2$  – pre širší rozsah teplôt  $a, b, c$  – empiricky určené konštanty, pre každú dvojicu materiálov iné



- v praxi sa využíva lineárna časť (začiatok) charakteristiky  $U_t \doteq k \cdot (\vartheta_x - \vartheta_0)$

## Termoelektrické snímače (2)

- termoelektrické napätia často používaných termočlánkov

Materiál	$U_t$ [mV/100 °C]	Rozsah teplôt [°C]
Fe – konstantan	5,37	-200 až 600
Cu – konstantan	4,25	-200 až 400
NiCr (10% Cr) – Ni	4,04	0 až 900
PtRh (10 % Rh) – Pt	0,64	0 až 1300

(konstantan : 54 % Cu + 45 % Ni + 1 % Mn)

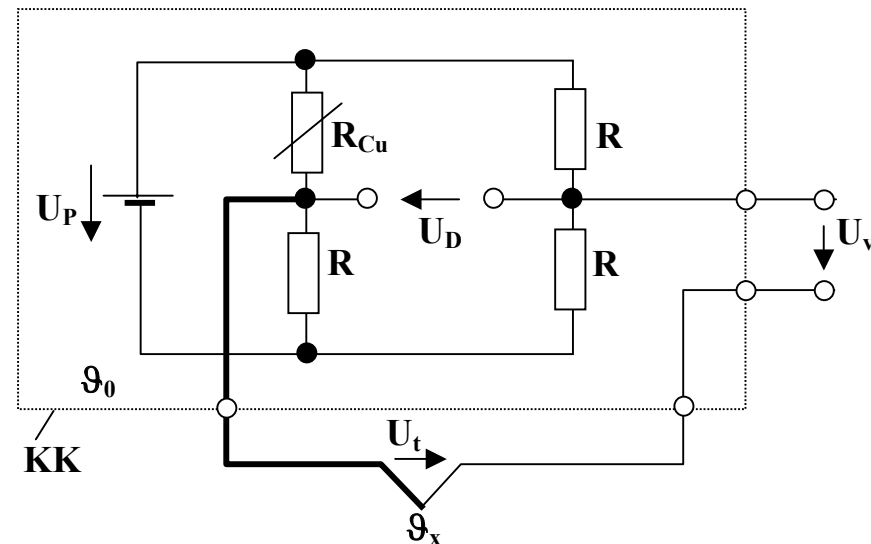
- pri meraní musia byť „drôty“ termočlánkov dostatočne dlhé na pripojenie do meracieho reťazca (pri „nadvájaní“ vzniká ďalší termočlánok)
- vytvoriť dobrý prechod tepla v mieste pracovného spoja, tepelná izolácia mimo pracovného bodu, udržať  $\vartheta_0$  konšt (termostat)





## Termoelektrické snímače (3)

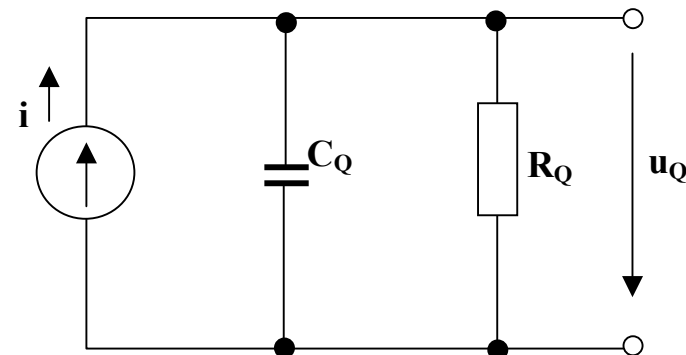
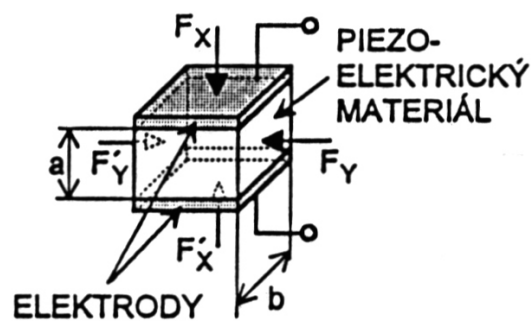
- problémy s kolísaním  $\vartheta_0$  rieši kompenzačné zapojenie (tzv. aktívna kompenzácia) – kompenzačná krabica (KK)
  - snímač teploty okolia je  $R_{Cu}$  (pri zmene teploty rozvažuje Wheastoneov mostík)
  - Wh. mostík je vyvážený pri  $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$  ( $R_{Cu} = R$ ;  $U_D = 0$ )
  - pri  $\vartheta_0 \neq 20^\circ\text{C}$ ,  $U_D \neq 0$   
 $U_D$  sa odčíta (pričíta)  
k  $U_t \Rightarrow U_v \sim \vartheta_x$  (odchýlke od  $20^\circ\text{C}$  bez ohľadu na teplotu okolia)



- miesto  $R_{Cu}$  sa používajú aj rôzne polovodičové snímače teploty okolia

## Piezelektrické snímače (1)

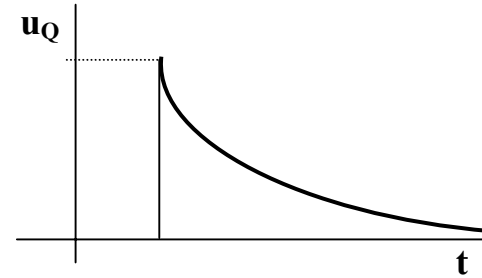
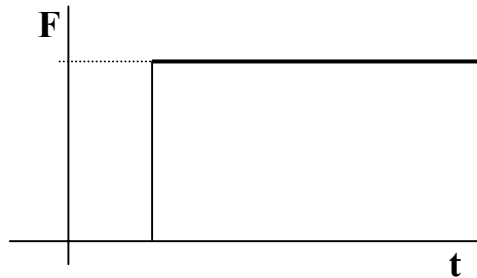
- piezelektrický jav – elektrická polarizácia (vznik náboja) na povrchu kryštalického alebo polykryštalického dielektrika pri mechanickom namáhaní
- využitie v snímačoch na meranie sily, tlaku alebo kmitania
- mechanické napätie môže pôsobiť kolmo na elektródy ( $F_x$ ), rovnobežne s ich rovinou ( $F_y$ ), alebo šmykom
- náboj na elektródach  $Q_x = d_{11} \cdot F_x$  alebo  $Q_y = d_{11} \cdot F_y(b/a)$ ,  $d_{11}$  piezelektrický koeficient
- náhradný obvod snímača  $R_Q$  – zvodový odpor,  $C_Q$  – kapacita snímača,  $i$  – prúd generovaný snímačom  $i = dQ/dt = k \cdot dF/dt$ ,  $k$  – citlivosť senzora v C/N



## Piezoelektrické snímače (2)

- pre praktické účely je výhodnejšie merať napätie  $u_Q$
- prechodová charakteristika snímača – odozva výstupného napätia na

jednotkový skok sily 
$$u_Q(t) = \frac{Q}{C_Q} \cdot e^{-\frac{t}{R_Q \cdot C_Q}}$$



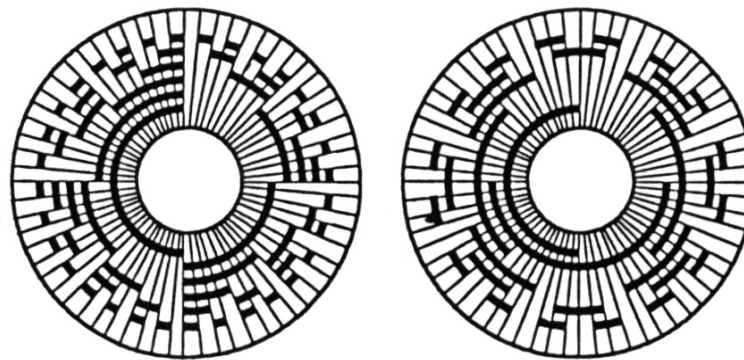
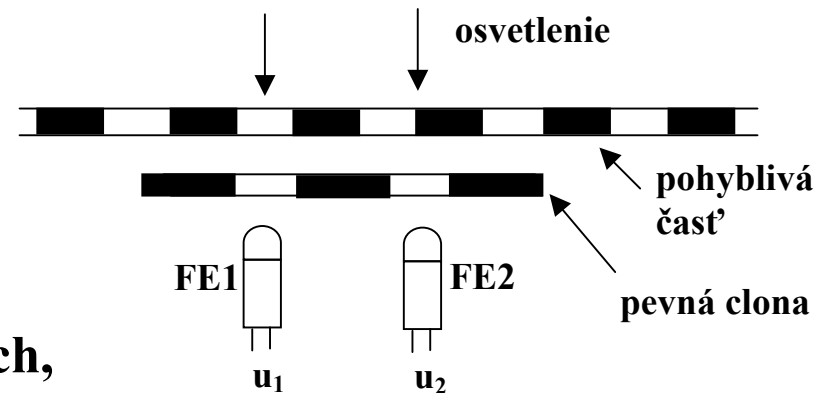
- zo vzťahu vyplýva, že napät'ovú odozvu dostaneme len ak sa sila počas merania mení (teda nie v ustálenom stave)
- pri pripojení snímača do obvodu treba uvažovať aj zvod a kapacitu pripojovacieho koaxiálneho kábla a vstupnú impedanciu meracieho obvodu na výstupe snímača ( $R_i, C_i$ )

## Ostatné typy snímačov (1)

- optoelektronické snímače
  - inkrementálne snímače, meranie polohy v tlačiarňach, zapisovačoch, automatické obrábacie zdroje

Nedostatok – po zapnutí systém treba vynulovať, pri výpadku napájacieho napätia sa stratí informácia o danej polohe

- kódové senzory polohy, počet fotocitlivých prvkov odpovedá počtu bitov snímača, teda aj rozlišovacej schopnosti. (obr. Grayov kód a binárny kód)



## Ostatné typy snímačov (2)

- **snímače s nábojovo viazanou štruktúrou, (CCD – charge – coupled device)**
  - základný fotocitlivý element je kondenzátor (technológia MOS) polarizovaný pomocným napätím  $u_p$
  - v kondenzátore sa hromadia náboje vznikajúce pri dopade fotónov
  - tieto náboje sa presúvajú na výstup pomocou tzv. prvkov s prenosom náboja (CTD – charge – transport device) – prvky sú realizované ako sústava kondenzátorov
- **laserové interferometre a ultrazvukové dialkomery (bezdotykové snímače)**
- **ionizačné komory, Geiger – Müllerove detektory, polovodičové snímače žiarenia – oblasť merania ionizujúceho žiarenia**
  - 
  - 
  -