

Snímače.

Meranie fyzikálnych veličín je jednou z najdôležitejších metód získavania informácií o stave riadeného systému. Ich následné spracovanie a zobrazenie, či už v analógovom alebo digitálnom tvare, slúži ako vstupná veličina do operatívneho, poloautomatizovaného alebo automatizovaného riadenia systému.

Analógové spracovanie signálu je najčastejšie riešené pomocou filtrácie signálu a odstránenia prípadných interferencií a jeho úprava na potrebné úrovne, zrozumiteľné pre riadiaci systém (napr. analógové zobrazovacie prvky pre operatívne riadenie).

Číslicové spracovanie signálu je vždy spojené s diskretizáciou elektrickej veličiny podľa času a podľa veľkosti. Prevodníky AD a DA tvoria základ analógových vstupno/výstupných častí mikrokontrolerov.

Základné parametre AD a DA prevodníkov

- **Rozlišovacia schopnosť** - je daná počtom rozlíšiteľných úrovní analógového signálu. Pre n-bitový prevodník je to 2^n úrovní pre m-miestny prevodník je to 10^m úrovní.
Napríklad:
pre $n=8$ je $2^8=256$ úrovní
pre $m=3$ je $10^3=1000$ úrovní
- **Rozsah prevodníka (FS)** - je daný maximálnou a minimálnou hodnotou veličiny. Označuje sa zvyčajne symbolom FS(Full scale). Napríklad $0 \div 10V, \pm 5V$, a podobne.
- **Krok kvantovania (LSB)** - alebo aj citlivosť prevodníka je najmenšia rozlíšiteľná veľkosť analógovej veličiny, čiže rozdiel susedných hodnôt analógovej veličiny pri ktorých nastáva prechod jedného kódového slova k druhému. Označuje sa LSB (Least Significant Bit)

$$LSB = \frac{FS}{2^n} = \frac{FS}{2^m}$$

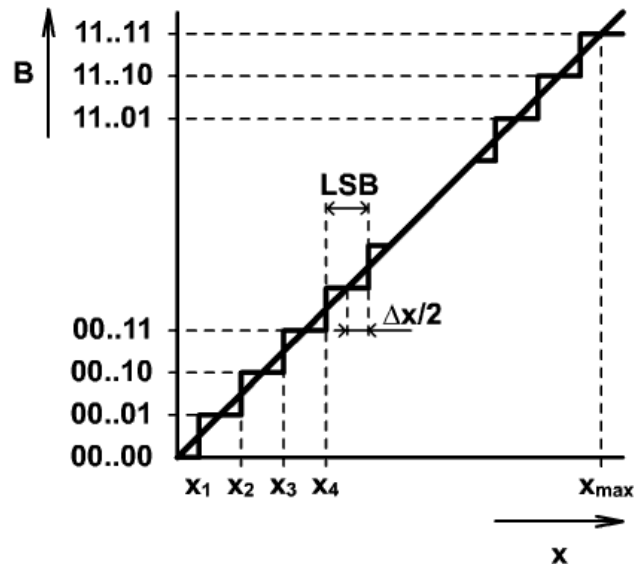
- **Chyba kvantovania** - predstavuje teoreticky maximálny rozdiel medzi hodnotou analógovej veličiny a jej maximálnou hodnotou zodpovedajúcou danému kódovému slovu. Obyčajne je to $LSB/2$.
- **Rýchlosť prevodu** - je určená počtom prevodov, ktoré je schopný prevodník uskutočniť za jednotku času, alebo časom za ktorý vykoná prevodník jeden prevod.

- **Kód prevodníka** - určuje v akom kóde pracuje prevodník. Najčastejšie používané kódy sú:
 - binárny kód (Binary Code)
 - binárny kód s posunutím (Offset Binary Code)
 - inverzný kód (Complement Code)
 - doplnkový kód (Two's Complement Code)
 - binárny dekadický kód (Binary Coded Decimal Digit)Špeciálnu skupinu tvoria nelineárne prevodníky napríklad logaritmické, exponenciálne prevodníky.
- **Presnosť prevodníka** - je daná chybou prevodníka. Pri DA prevodníku je to rozdiel medzi skutočnou hodnotou analógovej veličiny, ktorá prislúcha kódovému slovu. Pri AD prevodníku je to rozdiel medzi teoretickou hodnotou analógovej veličiny zodpovedajúcou výstupnému kódovému slovu a hodnotou vstupnej veličiny. Chybu prevodníka možno vyjadriť v dvoch zložkách:
 - aditívna chyba je časť chyby nezávislá od hodnoty analógového signálu. Je konštantná pre celý rozsah. Spôsobená je chybou nuly (posunutím). Udáva sa násobkom kroku kvantovania alebo ako časť rozsahu prevodníka.
 - multiplikatívna chyba závisí od hodnoty analógového signálu. Je spôsobená chybou zosilnenia analógových častí prevodníka.
- **Stabilita prevodníka** - vyjadruje stálosť vlastností prevodníka pri pôsobení rôznych rušivých vplyvov (teplota, čas). Vyjadruje sa ako zmena relatívnej hodnoty celkovej chyby prevodníka pripadajúca na jednotku zmeny rušenej veličiny.
- **Použitá logika** - určuje s akými typmi logických obvodov prevodník spolupracuje TTL, CMOS, atď.
- **Potlačenie rušivých signálov** - vyjadruje mieru potlačenia rušivých napätí na vstupe prevodníka. Pri AD prevodníku sa udávajú:
 - potlačenie súhlasných napätí
 - potlačenie sériových rušivých signálov. Sériové rušivé napätie pôsobí na vstupné svorky s rovnakou amplitúdou, ale s opačnou fázou.

Analógovo-číslcový prevodník (A/D, ADC)

Prevod analógového signálu na digitálny je využívaný často, keďže signály sa skoro výlučne analyzujú a spracovávajú digitálne. A/D prevodníky nájdeme vo všeobecnosti v bežných produktoch spotrebnej elektroniky, ako sú mobilné telefóny, tablety, počítače, ako aj v priemysle vo forme vstupných kariet PLC, robotických zariadeniach, meracích ústredniach a mnohých ďalších.

Prevodová charakteristika AD prevodníka je zobrazená na Obr. Veličina x_i je diskretná hodnota vstupného signálu (napätie, prúd), B predstavuje výstupnú veličinu AD prevodníka - kód. Na tomto obrázku vidíme, že prevodová charakteristika má stupňovitý priebeh s rovnakým prírastkom. Každý diskretný hodnote analógovej veličiny je priradené rovnaké alebo väčšie kódové slovo.



Druhy bežne používaných ADC:

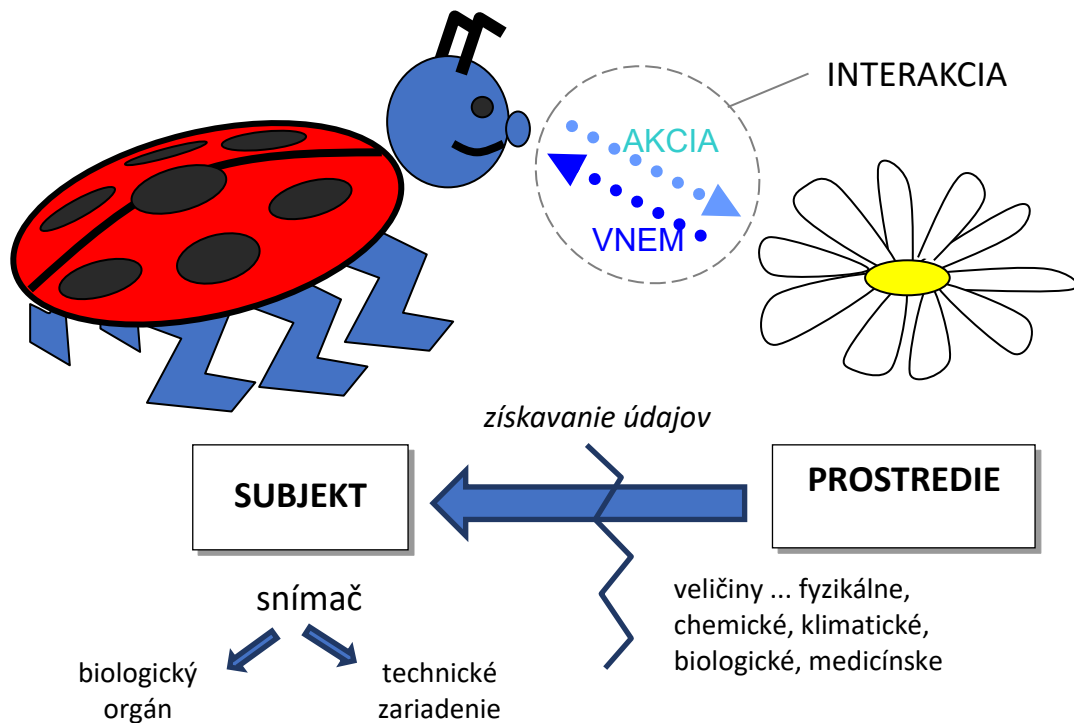
- integračný, s dvojnásobnou integráciou – pomalý ale presný, používaný najmä v meracích prístrojoch
- s postupnou aproximáciou (kombinácia digitálno-analógového prevodníka, komparátora a príslušnej logiky) – stred v cene, rýchlosti aj presnosti
- flash (najrýchlejší, sústava komparátorov a napäťových referencií)

Číslicovo-analógový prevodník (D/A, DAC)

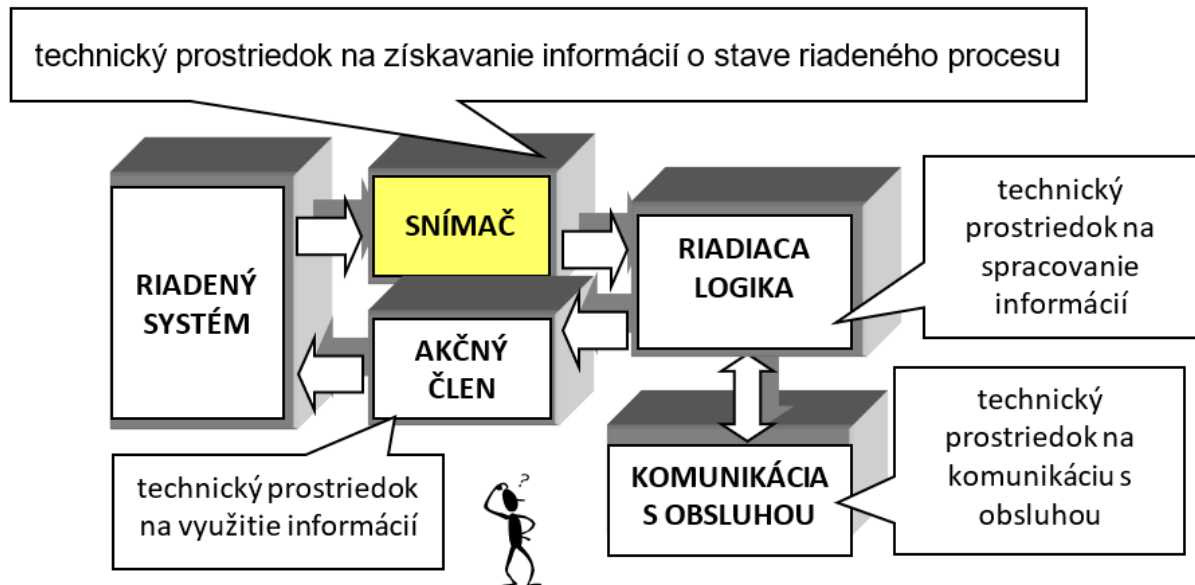
Digitálne - analógové prevodníky, označované aj ako D/A prevodníky alebo DAC, poskytujú rozhranie medzi diskretnými signálmi v digitálnej doméne a spojitými signálmi analógového sveta. D/A prevodník berie digitálnu informáciu (binárna alebo hexadecimálna forma) ako vstup a generuje výstupné napätie alebo prúd, ktorý môže byť použitý pre elektronické riadenie alebo zobrazenie informácií. DAC nájdeme všade tam, kde je potrebné previesť digitálnu informáciu na analógovú, napríklad v mobilných telefónoch, hudobných prehrávačoch, audio technike a podobne.

Senzorová technika

Získavanie údajov nie je matematickou alebo fyzikálnou abstrakciou odvodenou od neorganického materiálu. Pôvodne ide o biologický proces, v rámci ktorého sa každý živý tvor snaží vnímať, merať a vyhodnocovať vonkajšie podnety, aby mohol vykonávať akcie potrebné na svoje prežitie (získanie potravy, získanie partnera, únik pred nebezpečenstvom, a pod.). Každý subjekt, ktorý je vo vzájomnej interakcii s okolitým prostredím, tak získava kvalitatívne a/alebo kvantitatívne údaje o predmete svojho záujmu tým, že vníma a/alebo meria určitú veličinu, ktorá charakterizuje sledovanú vlastnosť. Jednotku styku s prostredím, ktorá bude zabezpečovať vnímanie (snímanie) takýchto veličín, budeme nazývať *snímač*. Vo všeobecnosti tak môže ísť o biologický orgán alebo technické zariadenie.



Podobne ako mnoho iných inžinierskych konceptov aj tento model spätnoväzbového systému je inšpirovaný prírodou, kde snímanie je primárnym vstupom reakčnej (riadacej) slučky. Snímač sa teda používa na kvantitatívne a kvalitatívne zisťovanie fyzikálnych veličín. Existencia tohto cyklu je možná práve vďaka dostupnosti snímačov schopných spájať fyzikálne javy s elektrickými signálmi obsahujúcimi informácie, ktoré môžu byť uložené a spracované počítačmi. Rovnako dostupnosť aktuátorov, ktoré sú schopné premeniť tieto údaje v počítači na skutočnú zmenu sveta okolo nás, umožňuje vytvárať uzavreté slučky, ktoré sú v podstate riadiacimi systémami zameranými na manipuláciu s okolím podľa našich želaní.



Klasifikácia snímačov

Snímače, podobne ako iné obvodoové prvky, môžeme triediť podľa rôznych hľadísk:

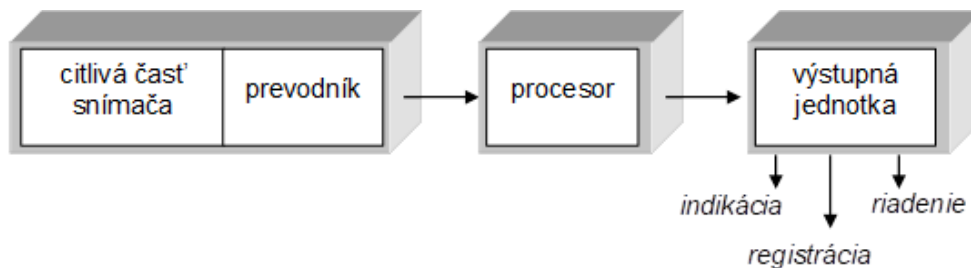
- *podľa meranej veličiny*: snímače teploty, tlaku, prietoku, radiačných veličín (vo viditeľnom, infračervenom a inom spektre), mechanických veličín (dráhy, rýchlosti, zrýchlenia, krútiaceho momentu a pod.), atď. Vybrané fyzikálne veličiny sú uvedené v Prílohe A;
- *podľa fyzikálneho princípu*: snímače odporové, indukčnosťné, indukčné, kapacitné, magnetické, piezoelektrické, piezoodporové, pyroelektrické, optoelektronické, optické vláknové, atď.;
- *klasifikácia podľa energetickej domény*: systematické znázornenie javov snímačov na základe energetických domén zahŕňa definíciu energetických domén a ich priradenie k vstupom a výstupom snímača - z fyzikálneho hľadiska možno rozlíšiť deväť foriem energie: elektromagnetické žiarenie, gravitačná energia, mechanická, tepelná, elektrostatická a elektromagnetická, molekulárna, atómová, nukleárna energia a energia hmoty. Z praktického hľadiska sa používa matica 6x6 vrátane konverzných javov (pozri nasledujúcu tabuľku), **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..**

Diagonálne bunky znázorňujú javy v rámci jedinej domény. Vstupné meniče, resp. citlivé časti snímačov, robia konverziu z neelektrickej na elektrickú doménu (sivý stĺpec) a výstupné meniče, resp. akčné členy robia konverziu z elektrickej domény na inú (sivý riadok). 2-rozmerná reprezentácia býva niekedy rozšírená na 3-rozmernú (do tzv. senzorovej kocky), ktorá však nemá reálny praktický význam.

- *podľa styku s meraným prostredím*: snímače bezdotykové (proximitné) a dotykové (taktilné);
- *podľa technológie výroby*: snímače mechanické, elektromechanické, pneumatické, elektrické, elektronické, elektrochemické, polovodičové, mikroelektronické, monolitické, tenkovrstvové, hrubovrstvové, optoelektronické, a pod.;
- *podľa vplyvu (narušenia) prostredia*: invazívne a neinvazívne;
- *podľa transformácie signálu*: aktívne a pasívne. Vo všeobecnosti prevodníky neelektrickej veličiny na inú neelektrickú veličinu aj prevodníky neelektrickej veličiny na elektrickú veličinu odoberajú energiu potrebnú na svoju činnosť z meraného procesu. Prevodník (resp. snímač), ktorý sa pri pôsobení snímanej veličiny správa ako zdroj energie, sa nazýva aktívny prevodník (resp. aktívny snímač). Prevodník (resp. snímač), v ktorom sa pôsobením meranej veličiny mení niektorý jeho obvodový parameter (v prípade elektrických prevodníkov napríklad odpor, kapacita, indukčnosť) a ktorý treba ďalej transformovať na napäťový, prúdový alebo iný signál, sa nazýva parametrický alebo pasívny prevodník (resp. pasívny snímač). Pasívne prevodníky využívajú časť energie z procesu na zmenu svojich parametrov a ďalšiu transformáciu na výstupný elektrický signál požadovaného typu podmieňuje odber energie z pomocného zdroja.

Merací reťazec

Základnou štruktúrou na získavanie a spracovanie informácií je informačný alebo merací reťazec (kanál), zložený zo vstupnej jednotky, procesora a výstupnej jednotky. Vstupnou jednotkou reťazca je merací snímač. Snímač (citlivá časť meracieho snímača) je v priamom styku s meraným prostredím a ako primárny zdroj informácie meria sledovanú fyzikálnu veličinu a podľa určitého definovaného princípu transformuje informáciu poskytovanú zdrojom informácií na signál, najčastejšie elektrický. Citlivá časť snímača býva doplnená prevodníkom vtedy, ak jej „prirodzený“ výstupný signál nevyhovuje z hľadiska prenosového média použitému spôsobu spracovania signálov. Ako už bolo vyššie uvedené, kombinácia s meracím prevodníkom sa tiež označuje ako merací člen. Snímač je najdôležitejšou časťou informačného alebo meracieho kanála, pretože určuje kvalitu získaného signálu (informačný obsah, presnosť, stabilitu, rýchlosť merania a pod.) a rozhoduje o cene kanála.



Procesor zabezpečuje primárne spracovanie výstupných signálov vstupnej jednotky z hľadiska podmienok prenosu, využitia alebo ďalšieho spracovania signálov (unifikuje úroveň signálov, digitalizuje, a pod.). Unifikácia signálov umožňuje dosiahnuť modularitu systému. Pre prenos informácie medzi jednotlivými časťami automatizovaného systému sú dohodou zavedené určité veľkosti signálov tak, aby sa racionálne mohli vyrábať nákladnejšie členy automatizačného reťazca (regulátory, zapisovače, zobrazovacie členy, a pod.). Ich vstupy a výstupy sú nastavené práve na signály určitej veľkosti pri využití celého rozsahu.

Vo výstupnej jednotke sa spracovaný signál indikuje (napr. vo vizuálnej alebo akustickej podobe), registruje (napr. záznamom do pamäti, na magnetickú pásku, graficky, a pod.) alebo sa použije priamo na riadenie (reguláciu) sledovaného procesu.

Vlastnosti inteligentných snímačov

Inteligentný snímač sa od konvenčných snímačov líši tým, že je schopný plniť dodatočné funkcie v mnohých oblastiach. Môžeme ich zhrnúť nasledovne:

a) **manipulácia s údajmi charakterizujúcimi snímaný proces:**

- zosilnenie a digitalizácia signálov s ich následným softvérovým spracovaním;
- dosiahnutie linearity (základný snímač zvyčajne neposkytuje lineárny signál) - možno použiť tzv. vyhľadávacie tabuľky (angl. *Lookup Tables*), naprogramovateľné pre každý individuálny snímač;

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

- digitálna filtrácia na obmedzenie šumu alebo iných nežiadúcich vplyvov (softvérovo realizované filtre môžu byť oveľa dokonalejšie ako filtre s diskretnou elektronikou);
- kompenzácia účinkov prostredia s cieľom dosiahnutia vyššej presnosti snímania (napr. teplotná kompenzácia);
- pri snímaní rôznych fyzikálnych signálov prítomnosť mikroprocesora uľahčuje násobenie, sčítovanie alebo delenie viacerých signálov.

Uvedené možnosti prinášajú úžitok vo viacerých smeroch:

- privedenie dodatočných signálov do riadiacej jednotky býva nákladné (potreba ďalších snímačov a vodičov či komunikačných liniek), čo použitie inteligentných snímačov eliminuje;
- presnosť signálov je vyššia, pretože informácie sú spracúvané v mieste, kde sú aj snímané - redukujú sa negatívne účinky prenosu na väčšie vzdialenosti (šumy na vedení, rozdiely elektrických potenciálov, a pod.);
- softvér v hlavnom radiči možno zjednodušiť, čo zrýchľuje riadiacu slučku.

b) poskytovanie diagnostických informácií;

Existujú dve oblasti, kde inteligentný snímač zvyšuje hodnotu systému poskytnutím diagnostických informácií:

- zariadenia sú navrhované tak, aby fungovali v špecifických fyzikálnych podmienkach - inteligentný snímač je schopný tieto podmienky monitorovať a informovať aplikáciu, keď dôjde k prekročeniu hraničných hodnôt (napr. proximitný snímač môže vyhodnocovať nielen prítomnosť alebo neprítomnosť cieľového objektu, ale vyhodnocovať aj jeho vzdialenosť a upozorňovať na to, že je príliš blízko alebo príliš ďaleko; podobne optoelektronický snímač je schopný na základe snímaného signálu vyhodnotiť narušenie súososti reflektora alebo znečistenie šošoviek; fotobunka s úzkym zväzkom lúčov môže pri silných vibráciách generovať falošnú informáciu, čomu sa dá zabrániť informovaním nadriadenej úrovne o prekročení vibračných limitov a pod.);
- zmena niektorých vnútorných parametrov (napríklad vplyvom starnutia, znečistenia) môže tiež znamenať zhoršenie presnosti - v tomto prípade inteligentný snímač diagnostikuje vnútorné kritické parametre a informuje o poruchách a chybách.

Obidva typy diagnostických informácií (o stave prostredia a o vnútornom stave snímača) umožňujú vyhlásiť technický poplach, že sa systém a/alebo jeho časť dostávajú do kritického stavu ešte pred tým, ako vznikne skutočná porucha.

c) schopnosť konfigurovateľnosti, napríklad:

- stanovenie, "ako veľa" má byť signál zosilnený;
- stanovenie teplotnej stupnice, v ktorej majú byť vyjadrované hodnoty (napr. Celsius alebo Fahrenheit);
- prepínanie meracích rozsahov;
- programovateľné oneskorenie zapnutia/vypnutia;
- výber stavu normálne zopnutý (N.C.) a normálne rozopnutý (N.O.);

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

- 8- alebo 12-bitová rozlíšiteľnosť; a iné.

Pružná nastavenie konfiguračných parametrov snímača minimalizuje počet rôznych snímačov, ktoré by inak musel používateľ používať alebo skladovať pre potreby výmeny. Vďaka inteligencii snímača je možná jeho optimalizácia a použitie vo viacerých rôznych aplikáciách.

d) **schopnosť uschovávať informácie**, napríklad:

- história zariadenia (napr. počet hodín prevádzky snímača, zaznamenané poruchy);
- konfiguračné nastavenia (aké, kedy, kto, čo);
- sériové číslo, dátum výroby, katalógové údaje, hodnoty parametrov pri záverečnom výrobnom teste.

Všetko je uložené priamo v zariadení a nemusia existovať dodatočné záznamy komplikujúce prístup k informáciám.

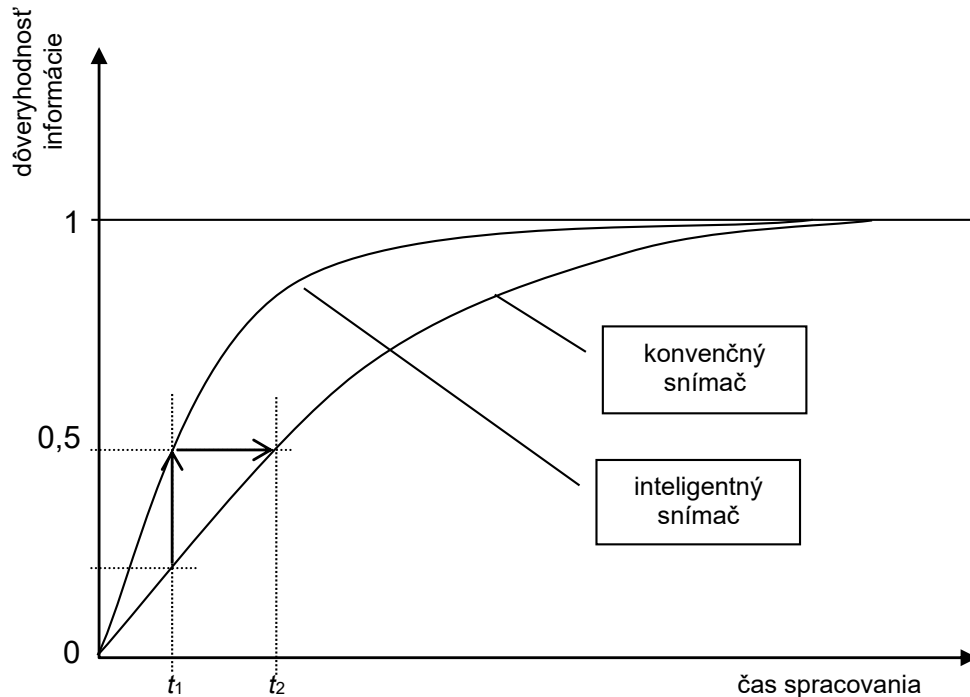
e) **schopnosť digitálnej komunikácie**:

Množstvo informácií generovaných inteligentným snímačom je také vysoké, že nie je možné použiť jeden vodič pre každú z nich, preto je potrebný flexibilný systém sériovej komunikácie. V priemysle možno nájsť dvojbodové (angl. *point-to-point*) spoje aj siete so sériovým prenosom. Trendom je tvorba komunikačných digitálnych sietí. Digitálna sériová komunikácia zvyšuje spoľahlivosť systému, napríklad z titulu vyššej odolnosti voči elektromagnetickému rušeniu. Požadované dáta sú prenášané iba vtedy, keď je príslušná informácia potrebná.

f) **schopnosť adaptívneho správania sa**:

Použitím adaptívnych technológií sa zvyšuje životnosť zariadenia (napr. kompenzovaním zmien parametrov vyvolaných starnutím častí snímača) a oblasť použiteľnosti (automatická adaptácia na rôzne podmienky prostredia). Takisto sa zvyšuje opakovateľnosť a presnosť meraní. Korekcia a kompenzácia už nie sú chápané ako stredné (priemerné) hodnoty, ale uplatňujú sa priamo počas doby merania.

Z nasledujúcej dynamickej prechodovej charakteristiky (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**) vyplýva, že inteligentný snímač je schopný získať v danom čase dôveryhodnejšiu informáciu ako konvenčný, resp. na dosiahnutie rovnako dôveryhodnej informácie potrebuje inteligentný snímač menej času ako konvenčný ($t_1 < t_2$).



V súvislosti so senzorovou technikou existujú diskusie o obsahu pojmov „smart“, „inteligentný“ a iných vo výpočtových systémoch v kontexte umelej inteligencie. Napríklad zdroj **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** porovnáva inteligentné senzorové systémy s inteligenciou hmyzu a na základe toho formuluje 5 základných vlastností inteligentných senzorových systémov:

- prispôsobujú sa prostrediu, optimalizujú detekčný výkon snímačov, spotrebu energie a komunikáciu;
- zaznamenávajú surové nespracované údaje (angl. *Raw Data*) a extrahujú informácie, ktoré sú definované ako miera toho, ako dobre údaje zapadajú do informačných vzorov, či už vopred naprogramovaných alebo naučených;
- sú preprogramovateľné prostredníctvom ich komunikačného portu a umožňujú externý prístup k nespracovaným údajom, programovým premenným a všetkým úrovniam spracovaných údajov;
- dokážu nielen rozpoznať vzory, ale môže tiež predpovedať budúci časový vývoj vzorov a poskytnúť zmysluplné metriky spoľahlivosti takýchto predpovedí;
- ich záznam má určitý stupeň sebauvedomenia prostredníctvom vstavanej kalibrácie, kontroly interného riadenia procesov a opätovného spustenia (reštartu) a meraní „normálnej“ a „abnormálnej“ prevádzky vlastných procesov.

Týchto 5 charakteristík následne slúži ako východiskový bod pri definovaní inteligentného (*smart*) senzorového uzla senzorovej siete integrujúcej veľké počty snímačov do riadiaceho systému za účelom výroby, údržby, monitorovania alebo plánovania. *Smart* snímače tak poskytujú skôr informácie ako surové dáta.

Snimače teploty

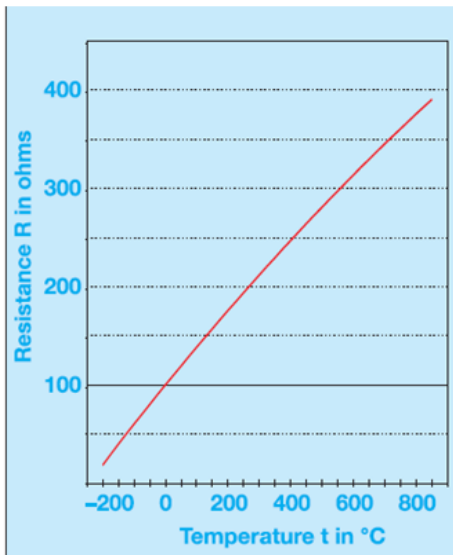
O odporové kovové snímače teploty

O odporové kovové snímače teploty (angl. *Resistance Temperature Detectors, RTDs*) vyhodnocujú zmenu odporu ΔR ako funkciu zmeny teploty $\Delta R = f(\Delta \vartheta)$, kde R je elektrický odpor kovového vodiča a $\Delta \vartheta$ je zmena teploty. Základné požiadavky určujúce rozsah, presnosť a konštrukciu snímača sú nasledovné:

- teplotný koeficient odporu α musí byť maximálny a v čase stály;
- nominálny odpor (odpor pri referenčnej teplote 0 °C) musí byť maximálny.

Poznámka: pri nižších hodnotách nominálneho odporu bude snímačom pretekať podľa Ohmového zákona vyšší prúd a viac tak prispievať k samoohrevu snímača. Vyššie α znamená vyššiu citlivosť.

Typickým reprezentantom a svetovým priemyselným štandardom v tejto skupine snímačov je snímač Pt100 (Obr.). Je tvorený platínovým odporovým drôtom, ktorý má pri teplote 0 °C odpor 100 Ω . Po zohriatí na 100 °C hodnota odporu vzrastie na hodnotu 138.5 Ω .



Obr. Priemyselný štandard Pt100

Na presný opis statickej závislosti možno použiť zložitý polynóm – pozri napr. **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..** V malom rozmedzí teplôt môžeme závislosť linearizovať a použiť zjednodušené vzťahy:

$$\Delta R = R_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta \quad \text{alebo} \quad R_{\vartheta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta \vartheta),$$

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..1)

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

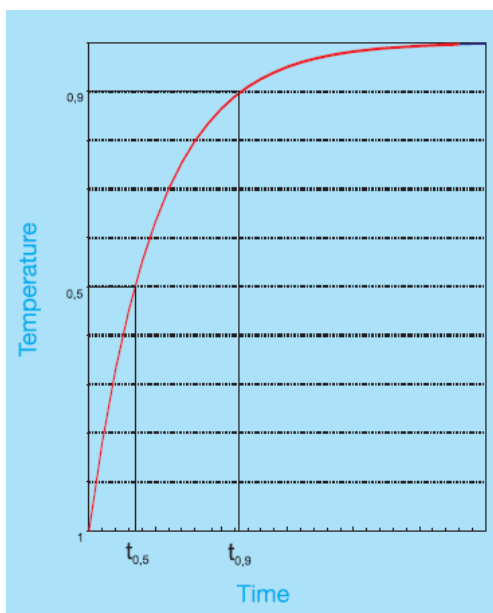
kde α [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] je teplotný koeficient odporu; $\Delta R = R_{\vartheta} - R_0$ je rozdiel odporov R_{ϑ} [Ω] pri neznámej teplote ϑ [$^{\circ}\text{C}$] a R_0 [Ω] pri referenčnej teplote 0°C ; a $\Delta\vartheta = \vartheta - 0$ [$^{\circ}\text{C}$] je uvažovaný rozdiel teplôt.

Pre štandard Pt100 je chyba merania pri 0°C rovná 0.125°C , čomu zodpovedá $0.06\ \Omega$. Platina je obľúbená najmä preto, lebo má vysoký bod topenia (1768.25°C) a je chemicky inertná. Snímače môžu byť vyrábané ako vinuté a vrstvové, s nominálnymi hodnotami 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 Ω . Môžu byť zaradené do rôznych tried presnosti (napr. A a B). Teplotný koeficient platiny $\alpha_{Pt} = 0.00385^{\circ}\text{C}^{-1}$. Na porovnanie, pre kovy nikel a meď by platilo: $\alpha_{Ni} = 0.00618^{\circ}\text{C}^{-1}$ a $\alpha_{Cu} = 0.00426^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Snímač na báze niklu by bol určený pre rozsah teplôt -60°C až $+200^{\circ}\text{C}$. Vďaka vyššej hodnote teplotného koeficienta by bol citlivejší, s menšou časovou konštantou a cenou, ale aj s menšou linearitou a nevratnými zmenami odporu nad 300°C . Je vyrábaný s nominálnymi hodnotami 100, 1000 a 5000 Ω a určený pre meracie prúdy 0.2 až 1.5 mA.

Ako náhrada platiny sa niekedy používa aj zliatina zlata a striebra (Au-Ag).

Odporové kovové snímače teploty sa najčastejšie používajú na meranie povrchov telies, v klimatizácii na meranie teploty plyných médií, a pod. Ich nevýhodou je pomalá časová odozva (Obr.). Prechodová funkcia sa meria ponorením snímača do prúdu teplej vody alebo vzduchu. Čas $t_{0.5}$ je čas merania potrebný na dosiahnutie 50 % výslednej hodnoty; analogicky čas $t_{0.9}$ je čas potrebný na dosiahnutie 90 % výslednej hodnoty.



Obr. Prechodová funkcia odporového kovového snímača Pt100

Príklady konštrukčného vyhotovenia odporových kovových snímačov teploty sú uvedené na Obr. . V praxi sú k dispozícii najrôznejšie technologické vyhotovenia platiny v kombinácii s inými materiálmi (napr. Pt – sklo, Pt – keramika, Pt – fólia, Pt – chip s vývodmi, Pt – chip s prípojnými svorkami, Pt – chip v tvare valca, Pt – chip technológiou povrchovej montáže, Pt – chip na epoxidovej karte, a pod.).

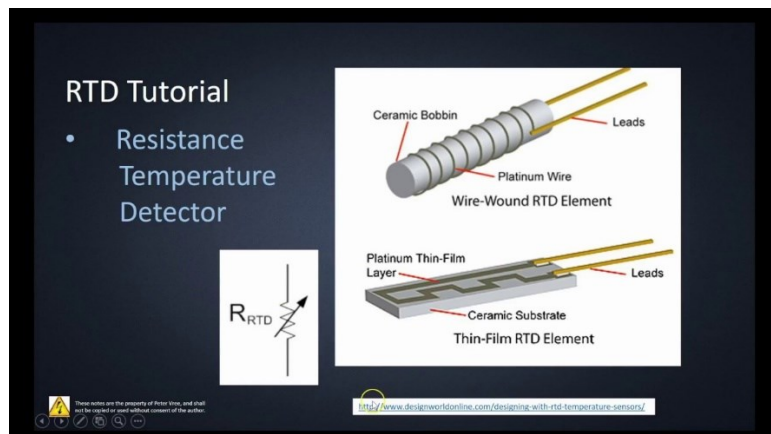
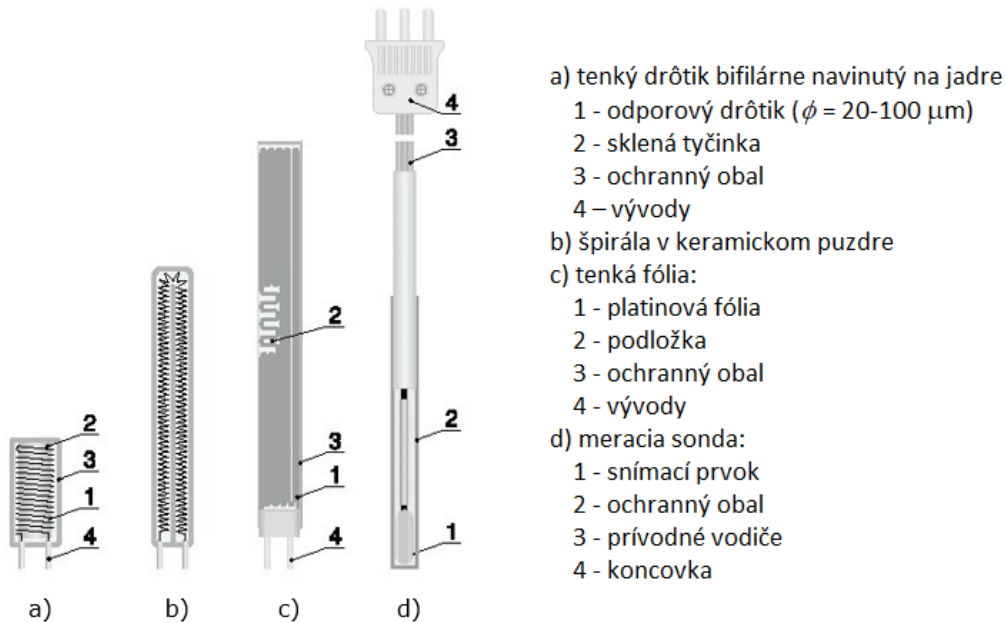
Všetky podrobnosti o priemyselnom štandarde Pt100 sú k dispozícii v technickej norme STN EN IEC 60751: 2022 **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..** Možno tak napríklad získať referenčné hodnoty v ohmoch v krokoch po 1°C (pozri ilustračný Obr.). Pre Pt500 alebo Pt1000 musia byť uvedené referenčné hodnoty vynásobené 5 alebo 10, podľa poradia.

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

Odporové kovové snímače teploty zapájame zväčša do mostíka, pričom musia byť splnené nasledujúce požiadavky:

- min. vplyv prúdu pretekajúceho snímačom;
- min. vplyv odporu prívodov (t. j. kolísanie odporu vedenia);
- linearizácia signálu snímača a jeho súčasný prevod na normalizovaný signál (unifikácia).

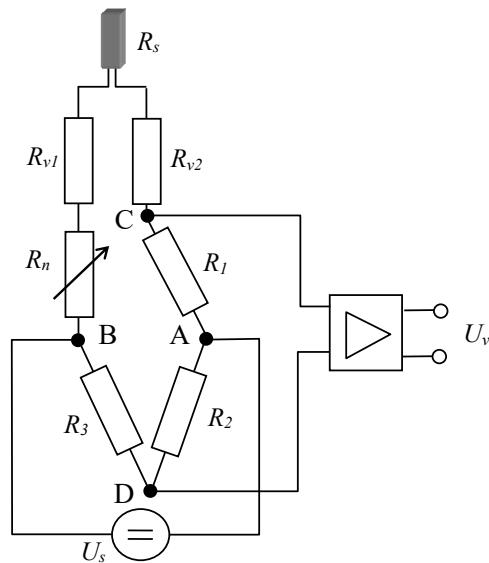


Obr. Príklady konštrukcie odporových kovových snímačov teploty

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

°C	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9
-200	18.520	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-190	22.825	22.397	21.967	21.538	21.108	20.677	20.247	19.815	19.384	18.952
-180	27.096	26.671	26.245	25.819	25.392	24.965	24.538	24.110	23.682	23.254
-170	31.335	30.910	30.485	30.060	29.635	29.210	28.785	28.360	27.935	27.510
-160	35.543	35.118	34.693	34.268	33.843	33.418	32.993	32.568	32.143	31.718
-150	39.723	39.298	38.873	38.448	38.023	37.598	37.173	36.748	36.323	35.898
-140	43.876	43.451	43.026	42.601	42.176	41.751	41.326	40.901	40.476	40.051
-130	48.005	47.580	47.155	46.730	46.305	45.880	45.455	45.030	44.605	44.180
-120	52.110	51.685	51.260	50.835	50.410	49.985	49.560	49.135	48.710	48.285
-110	56.193	55.768	55.343	54.918	54.493	54.068	53.643	53.218	52.793	52.368
-100	60.256	59.831	59.406	58.981	58.556	58.131	57.706	57.281	56.856	56.431
-90	64.300	63.875	63.450	63.025	62.600	62.175	61.750	61.325	60.900	60.475
-80	68.325	67.900	67.475	67.050	66.625	66.200	65.775	65.350	64.925	64.500
-70	72.335	71.910	71.485	71.060	70.635	70.210	69.785	69.360	68.935	68.510
-60	76.328	75.903	75.478	75.053	74.628	74.203	73.778	73.353	72.928	72.503
-50	80.306	79.881	79.456	79.031	78.606	78.181	77.756	77.331	76.906	76.481
-40	84.271	83.846	83.421	82.996	82.571	82.146	81.721	81.296	80.871	80.446
-30	88.222	87.797	87.372	86.947	86.522	86.097	85.672	85.247	84.822	84.397
-20	92.160	91.735	91.310	90.885	90.460	90.035	89.610	89.185	88.760	88.335
-10	96.086	95.661	95.236	94.811	94.386	93.961	93.536	93.111	92.686	92.261
0	100.000	99.575	99.150	98.725	98.300	97.875	97.450	97.025	96.600	96.175
10	103.903	103.478	103.053	102.628	102.203	101.778	101.353	100.928	100.503	100.078
20	107.794	107.369	106.944	106.519	106.094	105.669	105.244	104.819	104.394	103.969
30	111.673	111.248	110.823	110.398	109.973	109.548	109.123	108.698	108.273	107.848
40	115.541	115.116	114.691	114.266	113.841	113.416	112.991	112.566	112.141	111.716
50	119.397	118.972	118.547	118.122	117.697	117.272	116.847	116.422	115.997	115.572
60	123.242	122.817	122.392	121.967	121.542	121.117	120.692	120.267	119.842	119.417
70	127.075	126.650	126.225	125.800	125.375	124.950	124.525	124.100	123.675	123.250
80	130.897	130.472	130.047	129.622	129.197	128.772	128.347	127.922	127.497	127.072
90	134.707	134.282	133.857	133.432	133.007	132.582	132.157	131.732	131.307	130.882
100	138.506	138.081	137.656	137.231	136.806	136.381	135.956	135.531	135.106	134.681
110	142.293	141.868	141.443	141.018	140.593	140.168	139.743	139.318	138.893	138.468
120	146.068	145.643	145.218	144.793	144.368	143.943	143.518	143.093	142.668	142.243
130	149.832	149.407	148.982	148.557	148.132	147.707	147.282	146.857	146.432	146.007
140	153.584	153.159	152.734	152.309	151.884	151.459	151.034	150.609	150.184	149.759
150	157.325	156.900	156.475	156.050	155.625	155.200	154.775	154.350	153.925	153.500
160	161.054	160.629	160.204	159.779	159.354	158.929	158.504	158.079	157.654	157.229
170	164.772	164.347	163.922	163.497	163.072	162.647	162.222	161.797	161.372	160.947
180	168.478	168.053	167.628	167.203	166.778	166.353	165.928	165.503	165.078	164.653
190	172.173	171.748	171.323	170.898	170.473	170.048	169.623	169.198	168.773	168.348
200	175.856	175.431	175.006	174.581	174.156	173.731	173.306	172.881	172.456	172.031
210	179.528	179.103	178.678	178.253	177.828	177.403	176.978	176.553	176.128	175.703
220	183.188	182.763	182.338	181.913	181.488	181.063	180.638	180.213	179.788	179.363
230	186.836	186.411	185.986	185.561	185.136	184.711	184.286	183.861	183.436	183.011
240	190.473	190.048	189.623	189.198	188.773	188.348	187.923	187.498	187.073	186.648
250	194.098	193.673	193.248	192.823	192.398	191.973	191.548	191.123	190.698	190.273
260	197.712	197.287	196.862	196.437	196.012	195.587	195.162	194.737	194.312	193.887
270	201.314	200.889	200.464	200.039	199.614	199.189	198.764	198.339	197.914	197.489
280	204.905	204.480	204.055	203.630	203.205	202.780	202.355	201.930	201.505	201.080
290	208.484	208.059	207.634	207.209	206.784	206.359	205.934	205.509	205.084	204.659
300	212.052	211.627	211.202	210.777	210.352	209.927	209.502	209.077	208.652	208.227
310	215.600	215.175	214.750	214.325	213.900	213.475	213.050	212.625	212.200	211.775
320	219.130	218.705	218.280	217.855	217.430	217.005	216.580	216.155	215.730	215.305
330	222.643	222.218	221.793	221.368	220.943	220.518	220.093	219.668	219.243	218.818
340	226.139	225.714	225.289	224.864	224.439	224.014	223.589	223.164	222.739	222.314
350	229.618	229.193	228.768	228.343	227.918	227.493	227.068	226.643	226.218	225.793
360	233.080	232.655	232.230	231.805	231.380	230.955	230.530	230.105	229.680	229.255
370	236.525	236.100	235.675	235.250	234.825	234.400	233.975	233.550	233.125	232.700
380	239.954	239.529	239.104	238.679	238.254	237.829	237.404	236.979	236.554	236.129
390	243.367	242.942	242.517	242.092	241.667	241.242	240.817	240.392	239.967	239.542
400	246.764	246.339	245.914	245.489	245.064	244.639	244.214	243.789	243.364	242.939
410	250.145	249.720	249.295	248.870	248.445	248.020	247.595	247.170	246.745	246.320
420	253.509	253.084	252.659	252.234	251.809	251.384	250.959	250.534	250.109	249.684
430	256.858	256.433	256.008	255.583	255.158	254.733	254.308	253.883	253.458	253.033
440	260.192	259.767	259.342	258.917	258.492	258.067	257.642	257.217	256.792	256.367
450	263.511	263.086	262.661	262.236	261.811	261.386	260.961	260.536	260.111	259.686
460	266.815	266.390	265.965	265.540	265.115	264.690	264.265	263.840	263.415	262.990
470	270.104	269.679	269.254	268.829	268.404	267.979	267.554	267.129	266.704	266.279
480	273.378	272.953	272.528	272.103	271.678	271.253	270.828	270.403	269.978	269.553
490	276.637	276.212	275.787	275.362	274.937	274.512	274.087	273.662	273.237	272.812
500	279.881	279.456	279.031	278.606	278.181	277.756	277.331	276.906	276.481	276.056
510	283.110	282.685	282.260	281.835	281.410	280.985	280.560	280.135	279.710	279.285
520	286.324	285.899	285.474	285.049	284.624	284.199	283.774	283.349	282.924	282.499
530	289.523	289.098	288.673	288.248	287.823	287.398	286.973	286.548	286.123	285.698
540	292.707	292.282	291.857	291.432	291.007	290.582	290.157	289.732	289.307	288.882
550	295.876	295.451	295.026	294.601	294.176	293.751	293.326	292.901	292.476	292.051
560	299.030	298.605	298.180	297.755	297.330	296.905	296.480	296.055	295.630	295.205
570	302.169	301.744	301.319	300.894	300.469	300.044	299.619	299.194	298.769	298.344
580	305.293	304.868	304.443	304.018	303.593	303.168	302.743	302.318	301.893	301.468
590	308.402	307.977	307.552	307.127	306.702	306.277	305.852	305.427	305.002	304.577
600	311.496	311.071	310.646	310.221	309.796	309.371	308.946	308.521	308.096	307.671
610	314.575	314.150	313.725	313.300	312.875	312.450	312.025	311.600	311.175	310.750
620	317.639	317.214	316.789	316.364	315.939	315.514	315.089	314.664	314.239	313.814
630	320.688	320.263	319.838	319.413	318.988	318.563	318.138	317.713	317.288	316.863
640	323.722	323.297	322.872	322.447	322.022	321.597	321.172	320.747	320.322	319.897
650	326.741	326.316	325.891	325.466	325.041	324.616	324.191	323.766	323.341	322.916
660	329.745	329.320	328.895	328.470	328.045	327.620	327.195	326.770	326.345	325.920
670	332.734	332.309	331.884	331.459	331.034	330.609	330.184	329.759	329.334	328.909
680	335.708	335.283	334.858	334.433	334.008	333.583	333.158	332.733	332.308	331.883
690	338.667	338.242	337.817	337.392	336.967	336.542	336.117	335.692	335.267	334.842
700	341.611	341.186	340.761	340.336	339.911	339.486	339.061	338.636	338.211	337.786
710	344.540	344.115	343.690	343.265	342.840	342.415	341.990	341.565	341.140	340.715
720	347.454	347.029	346.604	346.179	345.754	345.329	344.904	344.479	344.054	343.629
730	350.353	349.928	349.503	349.078	348.653	348.228	347.803	347.378	346.953	346.528
740	353.237	352.812	352.387	351.962	351.537	351.112	350.687	350.26		



Obr. Dvojvodičové zapojenie odporového kovového snímača teploty

Na vyváženie mostíka treba pri teplote $\vartheta = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ splniť podmienky:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}, R_1 = R_2 = R, R_3 = R_4,$$

$$R_4 = R_{s0} + 2R_{v0} + R_n,$$

kde R_{s0} je nominálny odpor snímača pri teplote $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, R_{v0} je odpor prívodného vodiča pri teplote $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ϑ je neznáma teplota. Potom výstupné napätie U_v :

$$U_v = A \cdot U_s \cdot \frac{\Delta R_s + 2\Delta R_v}{\Delta R_s + 2\Delta R_v + R + R_3 \left(\frac{\Delta R_s}{R} + \frac{R_3}{R} + 2 \right)},$$

kde A je zosilnenie zosilňovača.

B. Trojvodičové zapojenie

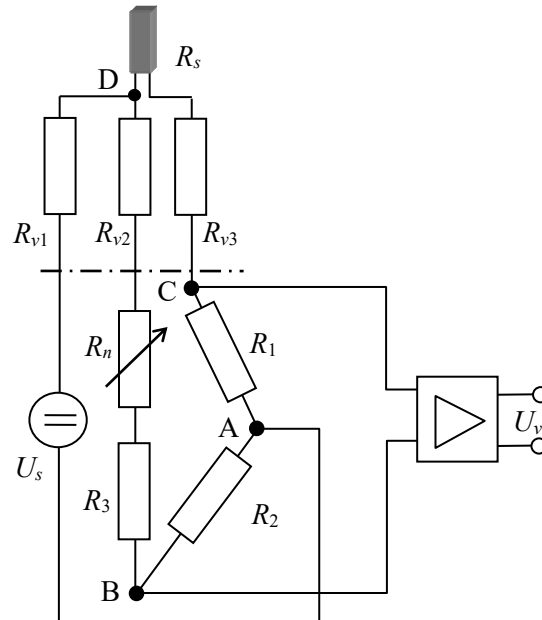
(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..2)
(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..3)

(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..4)

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

V trojvodičovom zapojení je napájacie napätie (uzol D) vyvedené priamo k snímači. Zapojenie redukuje vplyv prírodných vodičov na presnosť merania. R_s je opäť odpor snímača, R_n je nastavovací odpor (na doladenie odporu vedenia na určitú definovanú hodnotu), U_s je stabilizované napájacie napätie, U_v je výstupné napätie a R_{v1}, R_{v2}, R_{v3} sú odpory prívodov.



Obr. Trojvodičové zapojenie odporového kovového snímača teploty

Platí:

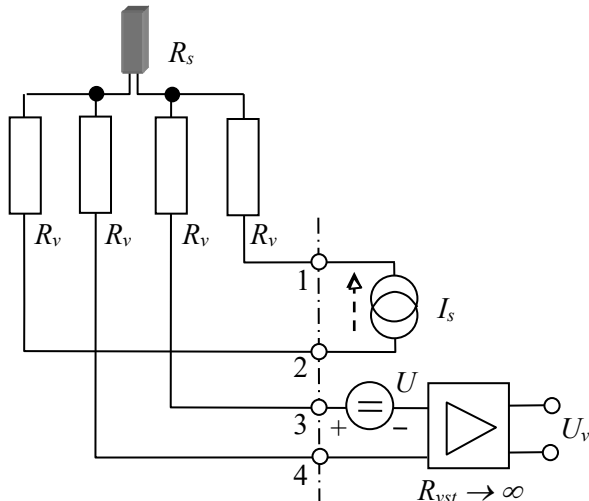
$$\frac{R_{AC}}{R_{CD}} = \frac{R_{AB}}{R_{BD}}, R_{AC} = R_1, R_{AB} = R_2, R_{CD} = R_s + R_{v3}, R_{BD} = R_3 + R_n + R_{v2}.$$

**(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..5)**

Zmeny odporu prívodov sa uplatnia v obidvoch zlomkoch (v menovateľoch R_{CD}, R_{BD}), čím dochádza k ich čiastočnej eliminácii.

C. Štvorvodičové zapojenie

Toto zapojenie (Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..1) úplne eliminuje vplyv prívodov R_{vi} . Podmienkou je, aby $R_{vst} > 10^6 \Omega$. Konštantný prúd I_s zo zdroja stabilizovaného prúdu ($R_i \gg R_{vst}$) vytvorí na snímači R_s úbytok napätia $\Delta U = I_s \cdot R_s$ úmerný jeho odporu.



Obr. **Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..**1 Štvorvodičové zapojenie odporového kovového snímača teploty

Výstupné napätie U_v zesilňovača so zesilnením A bude mať pri teplote ϑ hodnotu, ktorá je daná lineárnou funkciou prírastku ΔR_s : $U_v = A \cdot I_s \cdot \Delta R_s$.

Snímače sily, tlaku a tlakovej diferencie

Tenzometrické snímače

Tenzometrické snímače patria k elektrickým nepriamym snímačom silového pôsobenia. Pracujú na princípe zmeny odporu vplyvom deformácie pružiaceho merného prvku, s ktorým je tenzometer pevne spojený. Je schopný vyhodnocovať statické aj dynamické silové pôsobenie. Najvýraznejšie sa piezoodporový (resp. piezorezistívny) jav prejavuje v polovodičoch. Predstava o funkcii snímača vychádza zo vzťahu pre ohmický odpor R vodiča dĺžky l , prierezu S a merného odporu ρ :

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..6)

Pre relatívnu zmenu odporu $\Delta R/R$ možno derivovaním predošlého vzťahu dostať:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho}.$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..7)

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

Zmeny geometrických rozmerov, t.j. relatívne predĺženie alebo skrátenie snímača, sú obmedzené platnosťou tzv. Hookovho zákona: $\sigma = \varepsilon E_m$, kde $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$, σ je mechanické napätie a E_m je modul pružnosti v ťahu.

Vstupnou veličinou tenzometrického snímača je tak relatívna deformácia ε a výstupnou veličinou relatívna zmena odporu $\Delta R/R$. Parametrom, ktorý určuje deformačnú citlivosť, je pomer týchto relatívnych zmien. Nazýva sa *koefficient deformačnej citlivosti K*, príp. *tenzometrická konštanta K* (angl. *Strain Gauge*):

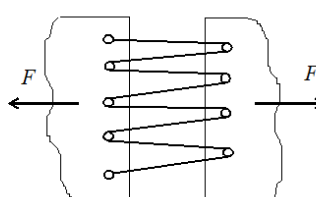
$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = 1 + 2\mu_p + \beta_p,$$

(Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..8)

kde ΔR je zmena počiatočného odporu; R [Ω] je počiatočný odpor bez pôsobenia sily; Δl je zmena dĺžky; l [m] je počiatočná dĺžka bez pôsobenia sily; μ_p je Poissonova konštanta a β_p je koeficient úmernosti. Parameter K sa určuje experimentálne a výrobca ho uvádza s určitou toleranciou. Prvé dva členy na pravej strane rovnice (6.10) vyjadrujú pozdĺžnu a priečnu deformáciu a tretí člen vyjadruje dôsledky mikroštruktúrnych (anizotropných) zmien tenzometra. V prípade kovových tenzometrov je vplyv tretieho člena zanedbateľný, t. j. $K \approx 1 + 2\mu_p$. Teoreticky možno písať: $0 < \mu_p < 0.5$; prakticky pre kovy platí $\mu_p \approx 0.3$, pre špeciálne zliatiny až 0.5. Hodnota K kovových tenzometrov sa tak blíži číslu 2 (technicky: deformácia snímača 1 promile vyvolá zmenu jeho odporu 2 promile). V prípade polovodičových tenzometrov platí, že $\beta_p \gg (1 + 2\mu_p)$. Hodnota β_p sa pohybuje v rozmedzí -100 až +140 (technicky: deformácia snímača o 1 promile vyvolá zmenu odporu o viac ako 10 percent).

Kovové tenzometre

Na Obr. je naznačená konštrukcia tenzometra s voľným drôtikom a vlastnosti používaných materiálov. Drôtky sú o priemere 5 až 150 μm a sú voľné, ako ukazuje obrázok, alebo častejšie uchytené medzi sústavou držiakov alebo vo forme mriežky prilepenej na podložke, ktorá sa celá prilepí na meraný objekt. Hodnota odporu sa pohybuje od 50 Ω do 5 k Ω . Výroba je náročná. Snímače sa používajú najmä na meranie deformácií, tlakov, tlakových síl, zrýchlení a pod.



Materiál	Zloženie	K - faktor
Konštánán	60 % Cu + 40 % Ni	2,0 - 2,1
Manganín	84 % Cu + 12 % Mn + 4 % Ni	0,47 - 0,5
Nikelchróm	80 % Ni + 20 % Cr	2,1 - 2,3
Platina	podľa čistoty	4,1 - 4,6
Uhlíková oceľ	99,5 % Fe + 0,5 % C	3,5 - 4,5
Izoelastik	55,5 % Fe + 36 % Ni + 8 % Cr + 0,5 % Mo	2,8 - 3,6

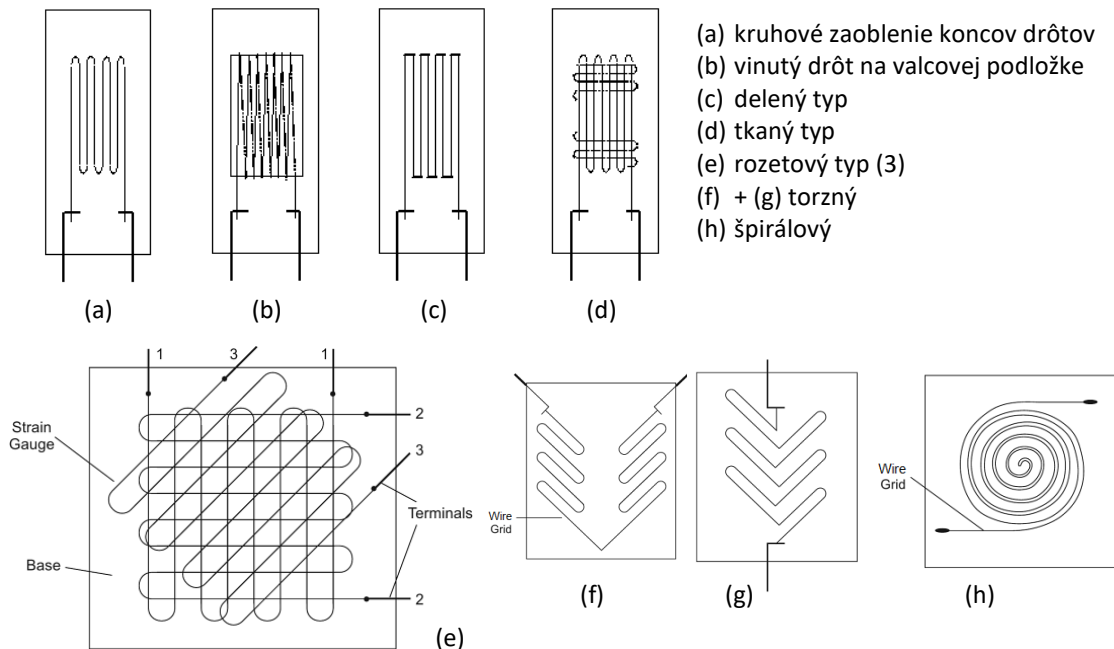
Obr. Drôtkový tenzometer a používané typy materiálov

Základné typy lepených odporových tenzometrov sú znázornené na Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..2. Postup a praktické zásady ohľadom pripevnenia

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

tenzometra k meranému objektu sú zhrnuté na Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..3.

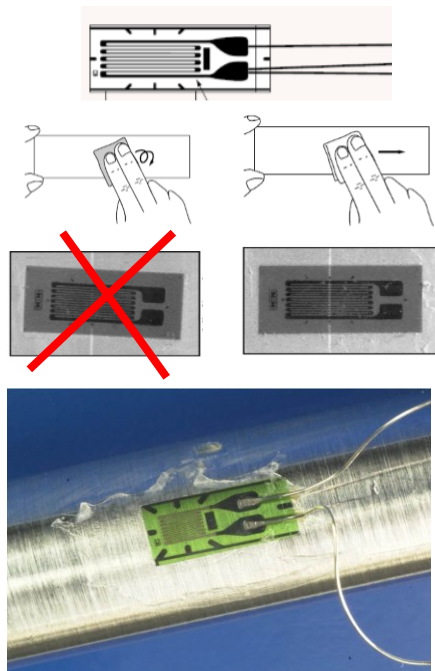


Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..2 Základné typy lepených odporových tenzometrov

Fóliové a tenkovrstvové tenzometre sú vytvárané priamo na mechanicky namáhanej podložke snímača (techniky: sieťotlač, vákuové naparovanie, katódové naprašovanie a iné chemické a fyzikálno-chemické metódy vytvárania a tvarovania vrstiev). Sú vyrábané fotolitograficky odleptaním naparenej kovovej fólie na podložke z plastu (hrúbka fólie je 1-10 μm , hrúbka podložky je 10 μm a viac). Povrch je chránený plastickou fóliou, po nalepení dobre kopírujú meranú deformáciu. Prúdová zaťažiteľnosť je do 100 Amm^{-2} . Ako nosná izolačná podložka sa používa špeciálny papier s veľkým modulom pružnosti, umelé hmoty, azbest, sklené tkaniny, sklolaminát, syntetické a epoxidové živice, sľuda, keramika a iné. Medzi parazitné vplyvy pri lepených kovových tenzometroch zaraďujeme napríklad teplotu pracovného prostredia, vlhkosť, prenos deformácie z namáhaného telesa na nalepený tenzometer a pod. Dlhodobé zaťaženie mení veľkosť odporu tenzometra – ide o tzv. plazivý efekt (angl. *Creep Effect*). Stredná doba života odporového tenzometra je tak určená predovšetkým kvalitou lepidla, ochranou pred vlhkosťou a teplotou. Príklad fóliového tenzometra, ktorý je určený na meranie relatívnych tangenciálnych a radiálnych deformácií, je uvedený na Obr. Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom..4.

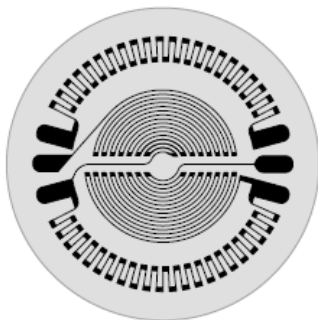
Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

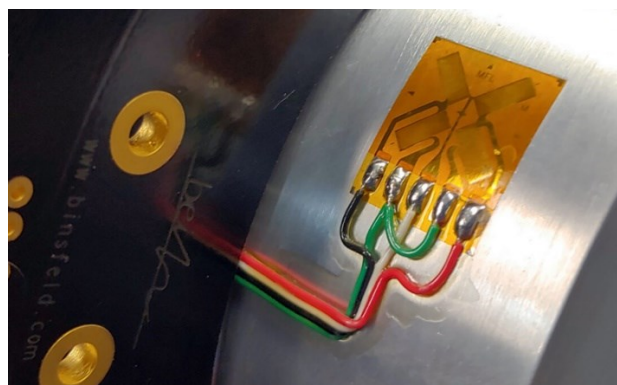
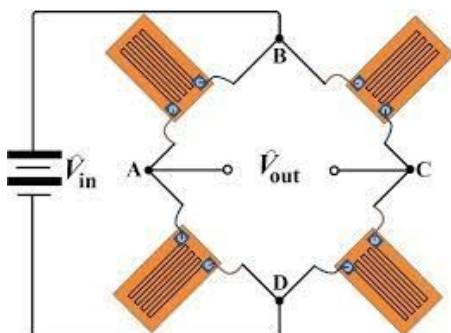


1. Vyber model tenzometra vhodnej dĺžky vzhľadom na merací objekt a účel
2. Priprav povrch - odstráň hrdzu a dokonale vylešti, príp. použi kyseliny či udržiavacie roztoky
3. Vyznač správnu orientáciu na povrchu objektu
4. Priprav tenzometer k montáži, použi špeciálnu lepiacu pásku
5. Umiestni tenzometer na objekt – rovne a so správnu orientáciou
6. Prilep tenzometer špeciálnym lepidlom
7. Pripoj prírodné vodiče ku svorkám
8. Vyrobnú povrchovú ochranu – prelakuj (napr. lodný lak) alebo nasprej (napr. izolačný nanosprej) a prípadne daj kryt

Obr. **Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom.**3 Príklad postupu aplikácie tenzometra

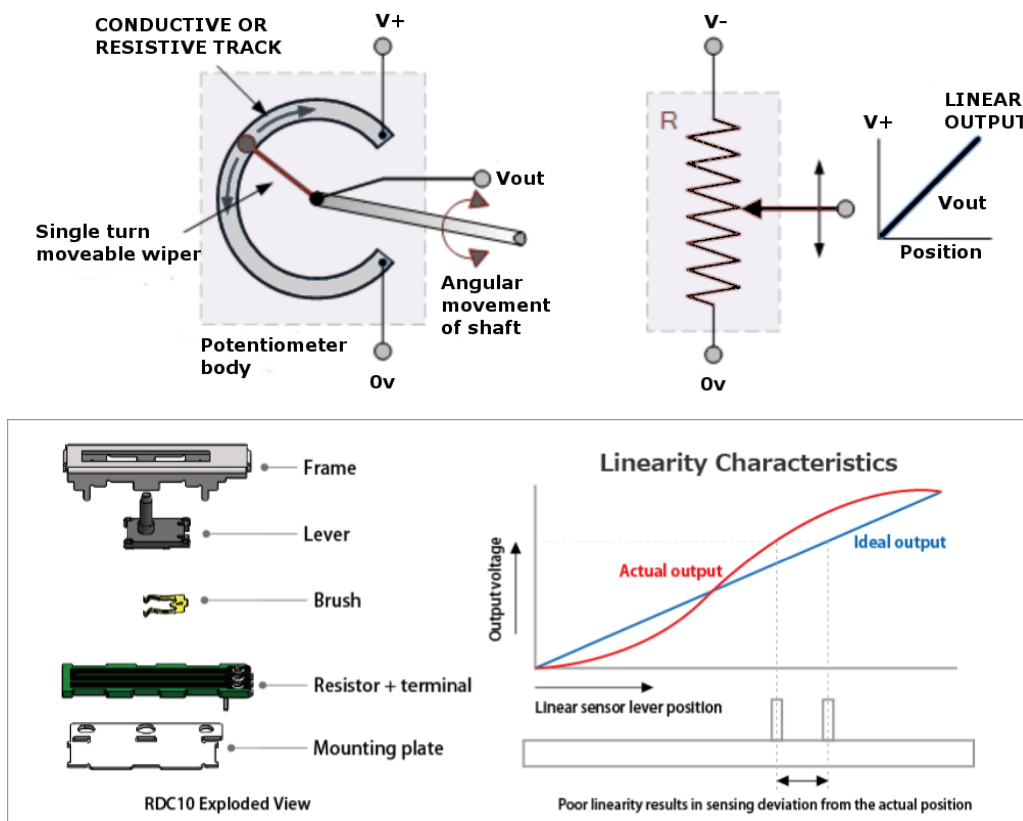


Obr. **Chyba! Dokument neobsahuje žiadny text so zadaným štýlom.**4 Fóliový tenzometer – príklad konštrukcie

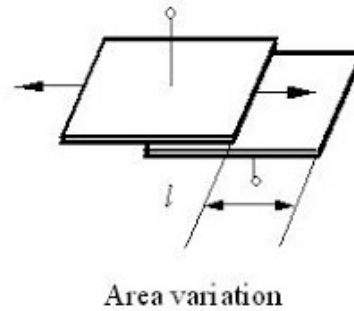
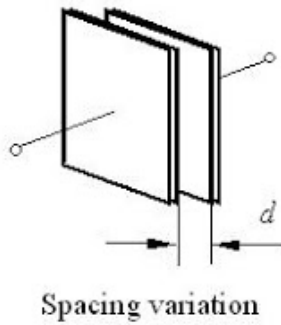


Snímače polohy, posunutia a deformácie

- Odporové snímače polohy - základom sú odporové potenciometre, ktorých bežec posúvajúci sa po odporovej dráhe je mechanicky spojený s predmetom, ktorého polohu meriame. Dráha je realizovaná na nosnej izolovanej podložke, na ktorej je navinutý smaltovaný drôt, po ktorom sa pohybuje kontakt, alebo nekovový odporový element tvorený najčastejšie vodivým plastom CP (conductive Plastic – vodivé plnidlo zalisované v termoplaste). Ich prednosťou je vysoká rozlišovacia schopnosť a veľká životnosť. Drôtové potenciometre vykazujú väčšiu robustnosť a elektrickú zaťažiteľnosť. výhody oboch spája hybridná technológia, ktorá je použitá pri niektorých druhoch viacotáčkových potenciometroch. Odporový snímač polohy pracuje ako napäťový delič s deliacim pomerom určeným meranou polohou. Vyhodnocovacie obvody preto stanovujú zmenu napätia (prúdu) obvodu odporového snímača štandardnými metódami používanými pri meraní odporov.



- Kapacitné snímače polohy - metóda využíva prevod meranej veličiny na zmenu parametra určujúceho kapacitu kondenzátora. Tá je daná geometriou elektród a permitivitou priestoru, v ktorom sa uzatvára elektrické pole. Pre vyhodnocovanie zmeny kapacity C kondenzátora je možné využiť zmenu vzdialenosti elektród d , zmenu účinnej plochy prekrytia elektród S alebo zmenu pomernej permitivity dielektrika.



- Indukčné snímače polohy - Činnosť indukčných snímačov je založená na využití Faradayovho zákona pre indukované napätie. Polohu je možné stanoviť na základe rýchlosti časovej zmeny magnetického toku .

Indukčný snímač je primárne navrhnutý na detekciu prítomnosti kovových predmetov. Jeho fungovanie je založené na princípe elektromagnetickej indukcie. Keď sa kovový predmet priblíži k detektoru, mení elektromagnetické pole snímača, čo vedie k zmenám v jeho výstupe, konkrétne k indukcii elektromotorického napätia podľa Faradayovho zákona elektromagnetickej indukcie:

$$u_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} [V],$$

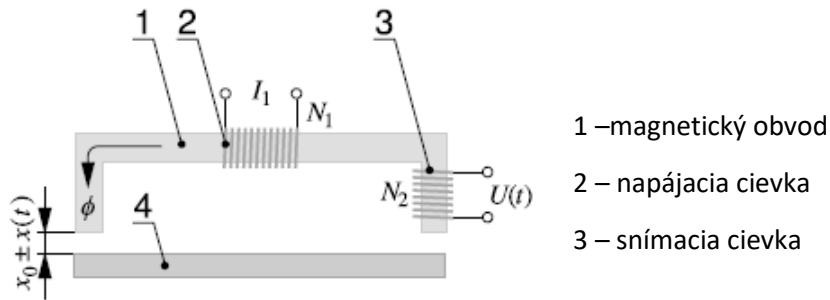
**(Chyba!
Dokument
neobsahuje
žiadny text
so
zadaným
štýlom..9)**

kde N je počet závitov cievky, Φ [Wb] je magnetický tok, a t [s] je čas. Znamienko mínus vyjadruje smer indukovanej elektromotorickej sily. Časová zmena napovedá, že povaha javu je dynamická.

V prípade týchto snímačov dochádza ku zmene magnetického toku najčastejšie zmenou impedancie magnetického obvodu. Princíp je znázornený na Obr. . Ide o riešenie s nepohyblivou cievkou. Napätie indukované v snímačej cievke je dané časovou zmenou magnetického toku podľa vzťahu (11.1), kde by sme dosadili počet závitov N_2 .

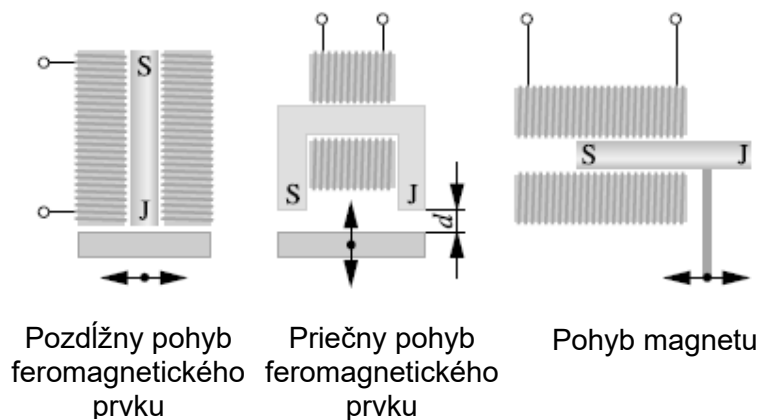
Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6

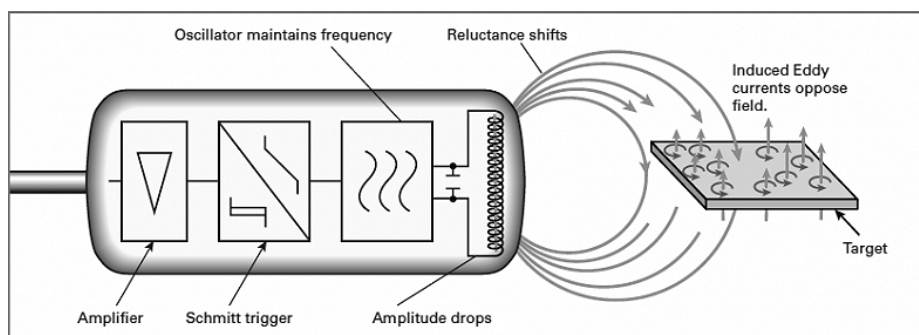


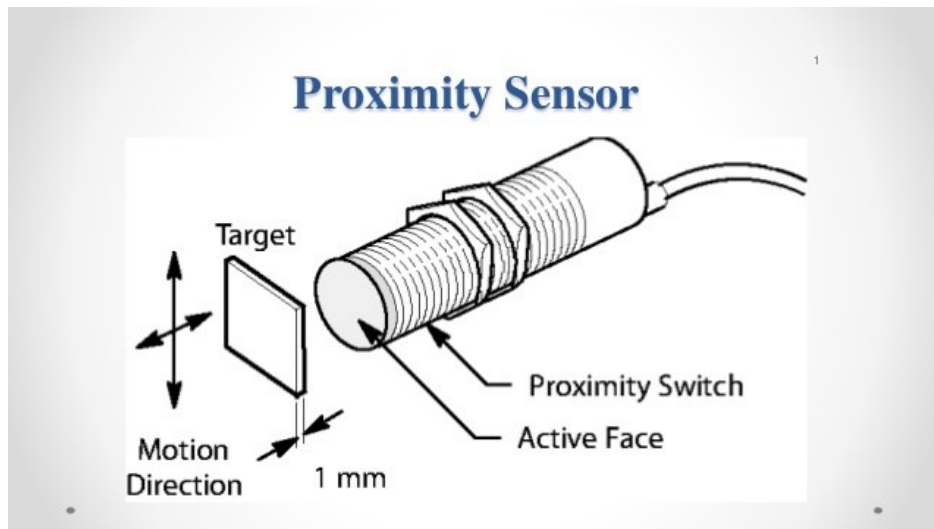
Obr. Elektromagnetický snímač **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

Obr. uvádza rôzne spôsoby, ako možno meniť impedanciu magnetického obvodu. Môže sa odvodzovať od rôznych pohybov feromagnetického elementu alebo magnetu samotného. Príkladom môže byť napríklad indukčný snímač otáčok – na rotujúcej časti je umiestnený magnet a zmenou magnetického poľa pri priblížení a nasledujúcom vzdialení magnetu od snímacej cievky sa v nej indukuje napäťový impulz. Také usporiadanie sa používa napríklad pri bicykloch alebo turbínových prietokomeroch (permanentný magnet sa umiestni na magneticky nevodivý materiál).

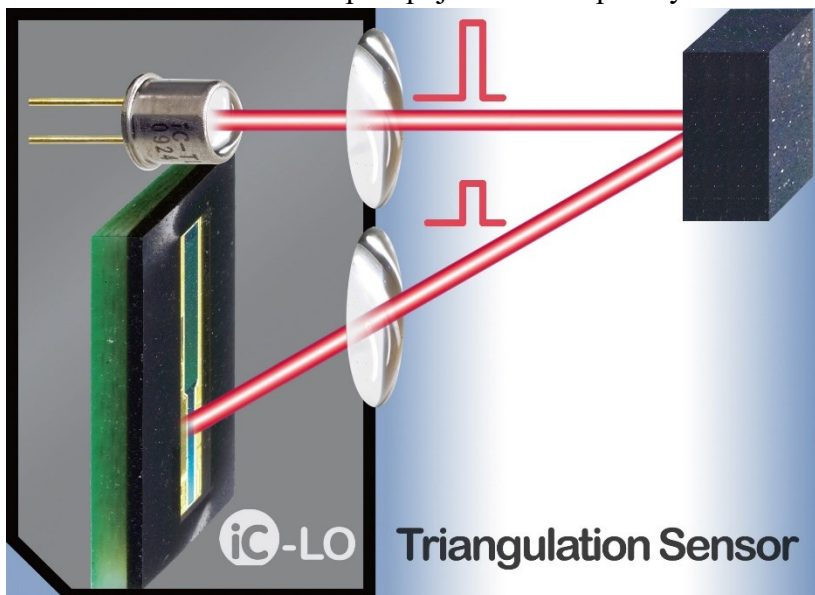


Obr. Zmena impedancie magnetického obvodu





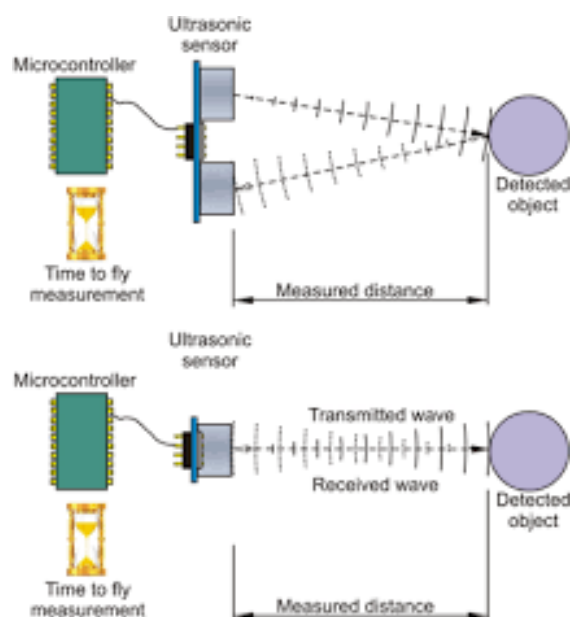
- Optické snímače polohy - princípy optiky umožňujú konštrukciu miniatúrnych snímačov polohy s vysokou rozlišovacou schopnosťou, limitovanou javmi pri ohybe svetla (rádovo μm). Základnou prednosťou je necitlivosť voči elektromagnetickému rušeniu a galvanické oddelenie meraného objektu a meracieho obvodu. Pri prenose informácií optickými vláknami je možné použitie v horľavých a výbušných prostrediach. Zdrojom žiarenia sú luminiscenčné alebo laserové polovodičové diódy, snímacie prvky (fotodiódy, fototranzistory, CCD snímače). Optické snímače polohy delíme na snímače pre spojitú meranie polohy a snímače pre nespojitú vyhodnocovanie.



- Ultrazvukové snímače polohy - pracujú na princípe merania času, za ktorý prijímač zaznamená ultrazvukový impulz generovaný vysielacom a odrazených od snímaného objektu. Dva základné funkčné bloky sú vysielateľ ultrazvuku – magnetostrikčný menič pre nízke frekvencie alebo piezoelektrický snímač pre vysoké frekvencie a prijímač ultrazvuku, ktorý mení odrazené mechanické kmity na elektrické.

Technické prostriedky automatizovaného riadenia

Prednáška 6



Indukčné snímače

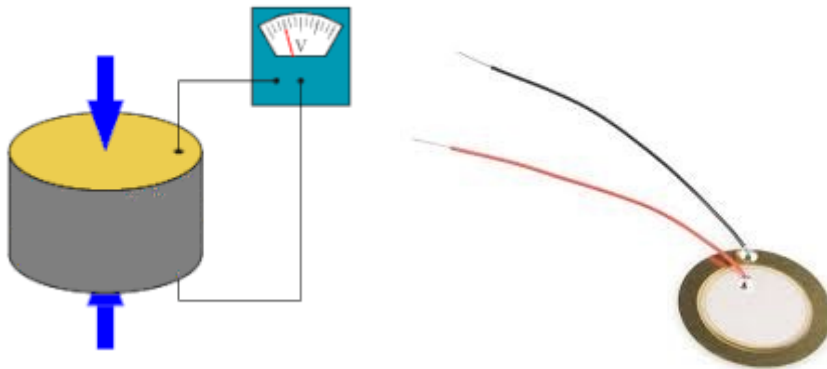
Fyzikálne princípy snímačov

Snímač je vo všeobecnosti prevodník neelektrickej veličiny na elektrický signál. Pred generovaním výstupného elektrického signálu je potrebné vykonať jeden alebo častejšie niekoľko transformačných krokov. Tieto kroky zahŕňajú zmeny energie, pričom finálny krok musí produkovať elektrický signál v požadovanom formáte. Rozlišujeme dva typy snímačov: aktívne a pasívne. Aktívny snímač je taký, ktorý priamo konvertuje neelektrickú veličinu na elektrický signál. Väčšinou však nie je možný priamy prevod na elektrický signál, a tak je požadovaná transformácia vo viacerých krokoch.

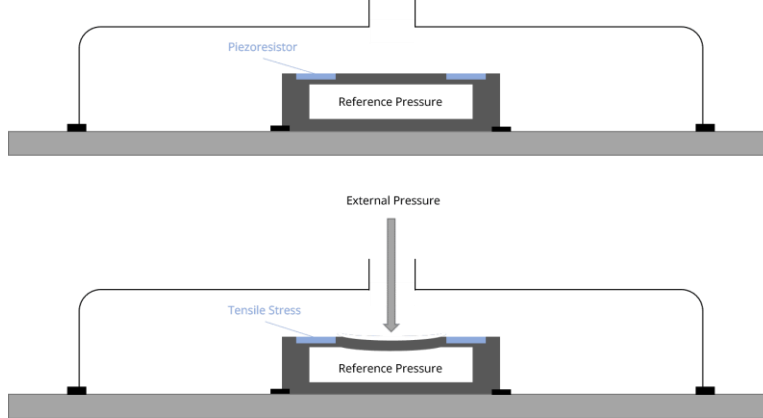
Základné fyzikálne princípy snímačov sú nasledovné:

Elektromechanické princípy snímačov

- Piezoelektrický jav – pri ktorom v kryštalických dielektrikách (napr. kremeni) vzniká mechanickou deformáciou elektrický náboj. Naopak, elektrické pole v týchto dielektrikách vyvoláva mechanické deformácie. Piezoelektrický jav vykazuje mnoho látok. Využíva sa najmä pri elektrických snímačoch tlakov a vibrácií. Pri silnom stlačení piezoelektrických materiálov sa uvoľní krátkodobý potenciál rádovo až desiatky kilovoltov. Na tomto princípe sú vyrábané piezoelektrické zapalovače, ktoré vydržia v prevádzke mnoho rokov.



- Piezoodporový jav - pri pôsobení ťažnej, tlakovej, šmykovej, ohybovej alebo torznej sily na teleso dochádza k jeho deformácii. Väčšina elektricky vodivých materiálov vykazuje pri deformácii zmenu elektrického odporu. V takto vytvorených rezistoroch sa pri deformácii mení pohyblivosť nosičov náboja a tým aj vodivosť.



- Elektrostriekčný jav - pôsobením elektrostatických síl generovaných voľným nábojom na povrchu materiálu dochádza k jeho geometrickej deformácii – napríklad zmena hrúbky meracieho elementu (vybrúsená doštička z kremeňa, SiO₂ a pod)

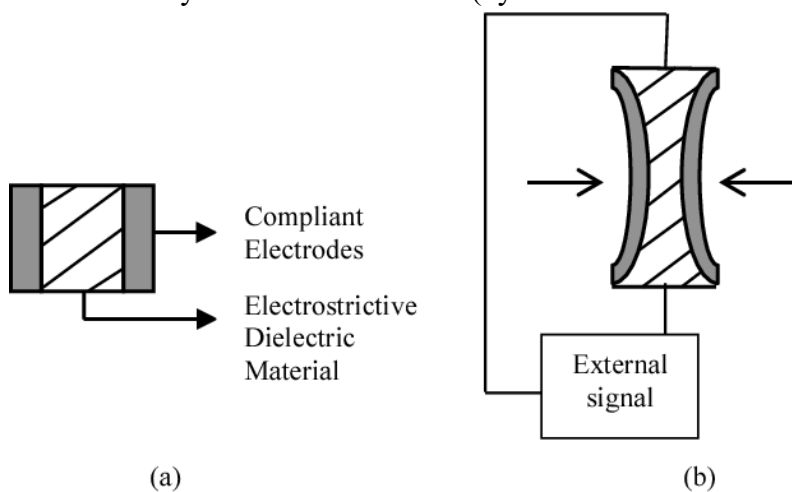
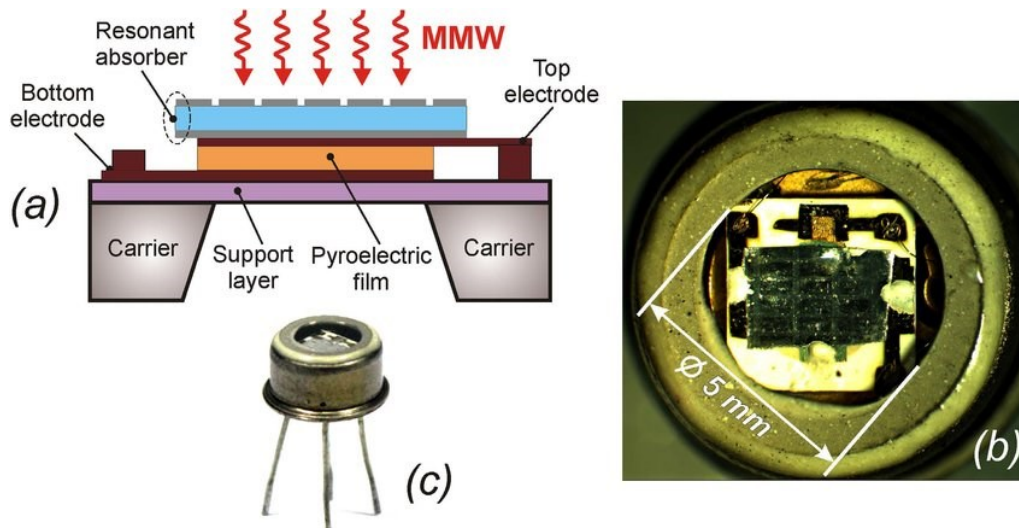


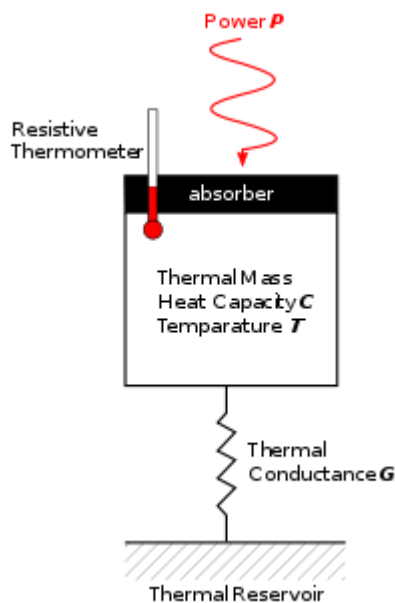
Figure 1. Schematic diagram showing (a) electrostrictive capacitive sensor without external signal (b) deformation in sensor after application of external signal.

Termoelektrické princípy snímačov

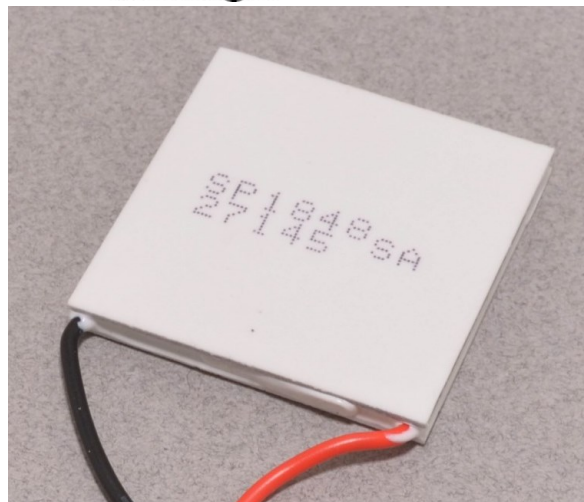
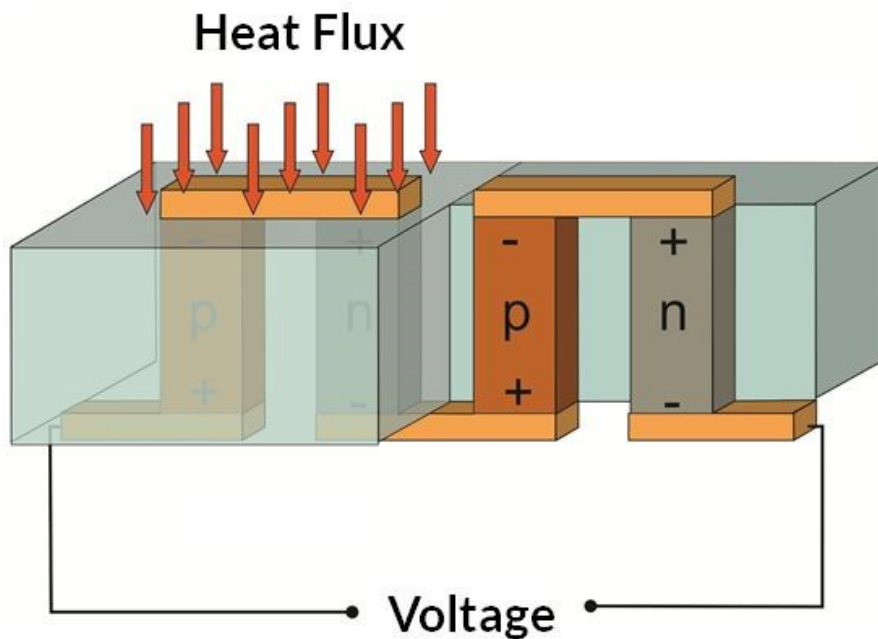
- Pyroelektrický jav - objavuje sa u materiálov, ktoré sú schopné generovať elektrický náboj ako odozvu na tepelný tok, t.j. pyroelektrický materiál sa vyznačuje spontánnou teplotnou závislosťou polarizácie materiálu. Zmeny teploty vyvolávajú zmeny elektrického náboja, pri ustálenom stave náboj zmizne.



- Bolometrický jav - dopadajúce infračervené žiarenie spôsobí zmenu ohmického odporu bolometrického elementu (polovodiča).

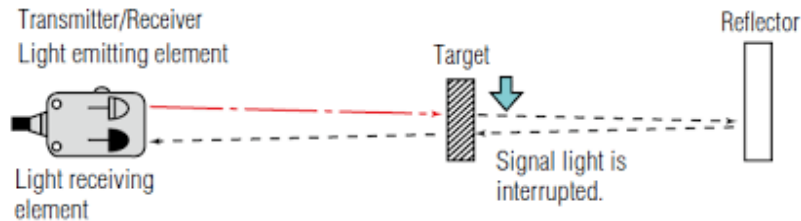


- Seebeckov jav - ak sú spojené dva vodiče z rôznych elektricky vodivých materiálov do uzavretého obvodu a ak majú spoje rôznu teplotu, preteká obvodom elektrický prúd. Ak elektricky vodivé materiály (vodiče) majú rozdielne teploty na svojich koncoch, vodičom začne pretekať tepelná energia.

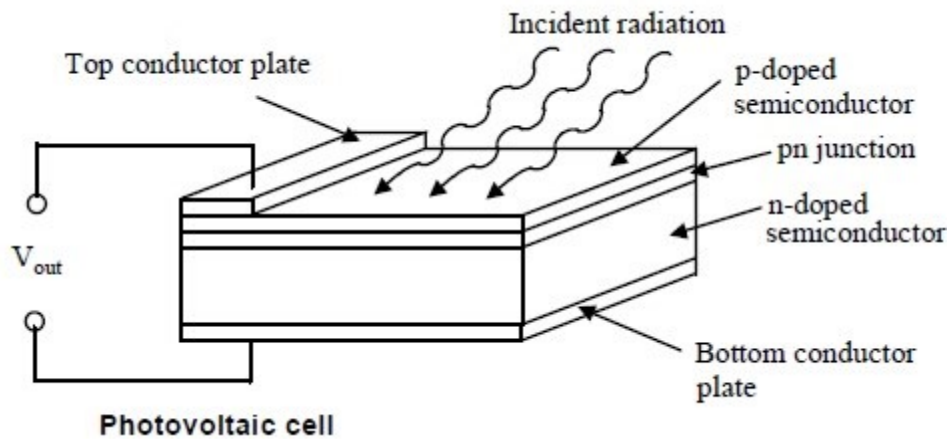


- Peltierov jav – inverzný k Seebeckovmu javu. Ak preteká jednosmerný elektrický prúd z vonkajšieho zdroja Seebeckovým obvodom, vzniká teplotný rozdiel medzi oboma spojmi.

- Fotoelektrický jav – svetlo vhodnej vlnovej dĺžky pri dopade na kov alebo polovodič vyvráťa z atómov látky elektróny, ktoré sa potom voľne pohybujú v látke a zvyšujú jej vodivosť (vnútorný fotoelektrický jav) alebo opustia látku (vonkajší fotoelektrický jav). Jav sa využíva napríklad pri konštrukcii fotodiód alebo fototranzistorov.

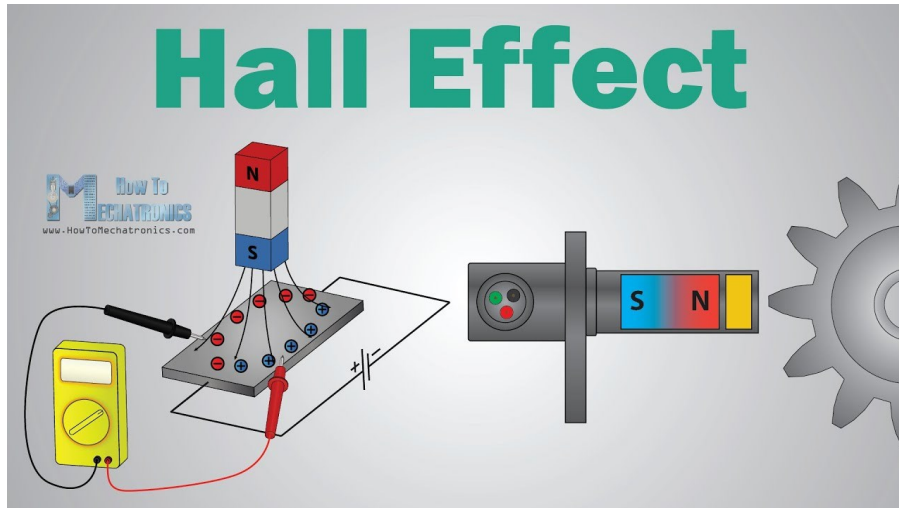


- Fotovoltický jav - Dopadajúci fotón svetla príslušnej vlnovej dĺžky „vyrazí“ (vygeneruje) voľný elektrón. Tie pohybom k jednotlivým elektródam vytvárajú elektrický prúd.

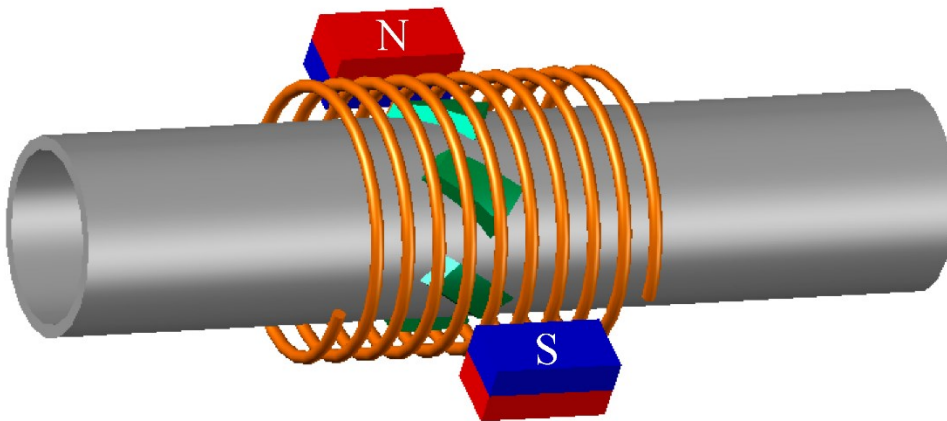


Magnetoelektrické princípy snímačov

- Hallovo jav - vznik potenciálového rozdielu na elektródach polovodičovej dosičky, ktorou prechádza elektrický prúd a súčasne sa nachádza v magnetickom poli s magnetickou indukciou neparalelnou (často kolmo pôsobiace) so smerom vektora prúdovej hustoty, charakterizovanom tzv. Hallovým napätím. Hallov jav sa používa na meranie magnetických polí, prúdu (bez kontaktu), na bezkontaktné spínanie v elektrotechnike a podobne.

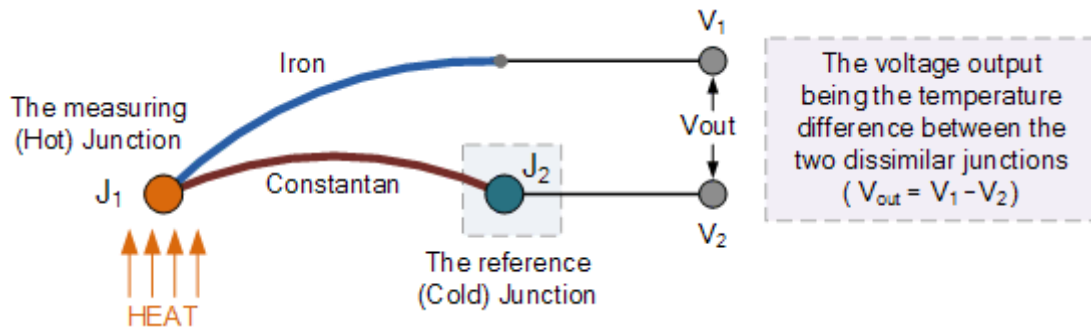


- Magnetostrikčný jav – pôsobením magnetického poľa dochádza k zmene geometrických rozmerov feromagnetických látok (bežne nikel a jeho zliatiny).

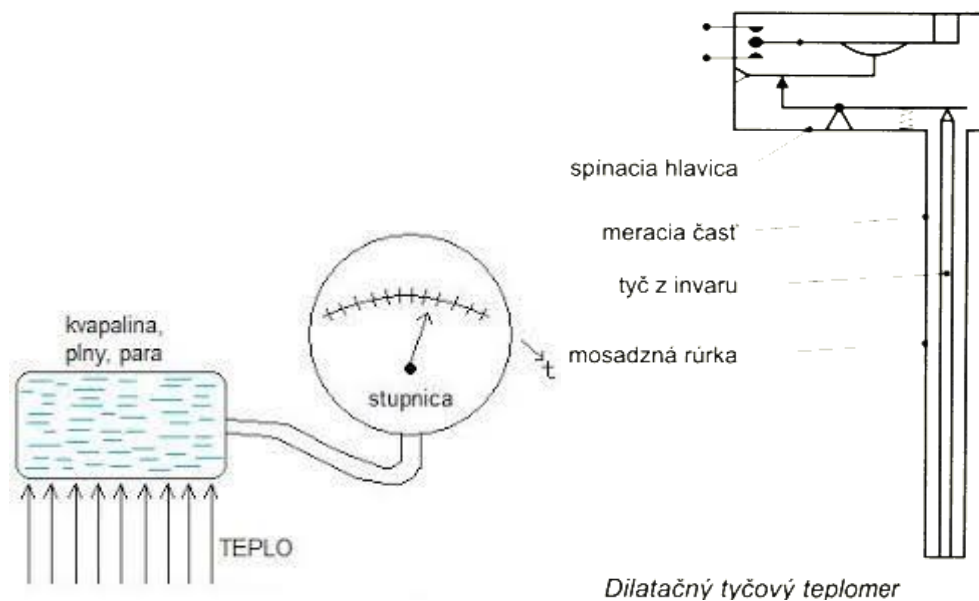


Snímače teploty, tlaku a prietoku.

- Termoelektrické snímače teploty (termočlánky) - založené na vzniku termoelektrického napätia v styku dvoch rôznych kovov resp. polovodičov, ktorých konce sú umiestnené v prostrediach s rôznou teplotou. Sú zdrojom termoelektrického napätia, ktoré závisí od použitých kovov a od rozdielu teplôt na spojenom konci a voľných koncoch. Výstupné termoelektrické napätie je úmerné teplote, táto závislosť však nie je vždy lineárna.

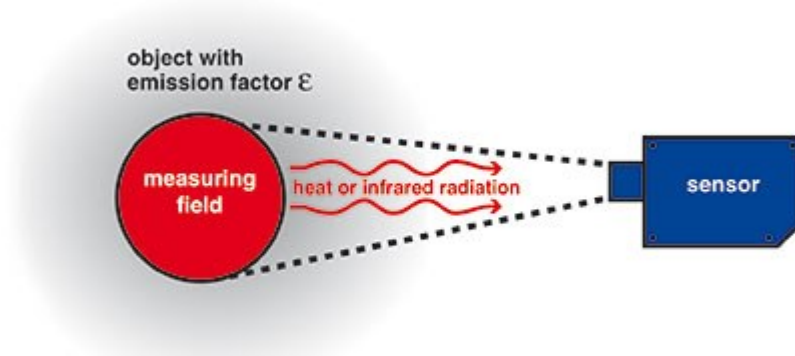


- Dilatačné snímače teploty - princípom funkcie dilatačných snímačov teploty je zmena dĺžky alebo objemu meranej látky pôsobením teploty. Bežné sú kovové (tyčový a bimetalický teplomer) a kvapalinové. Tyčový teplomer využíva vo funkcii snímača teploty dilatačnú rúrku s jedným koncom pevne fixovaným a druhým voľným koncom umiestneným v meranom prostredí. Bimetalický teplomer je založený na rôznej teplotnej rozťažnosti dvoch rôznych kovov. Je tvorený dvoma pásikmi po celej dĺžke spojenými (spájkovaním, zváraním), pričom jeden z dvoch koncov je pevne fixovaný. Pri zmene teploty sa tento dvojitý pásik deformuje do oblúka tak, že materiál s vyššou rozťažnosťou je na vonkajšej strane. Kvapalinový teplomer je založený na závislosti objemovej rozťažnosti kvapalín účinkom teplotných zmien.

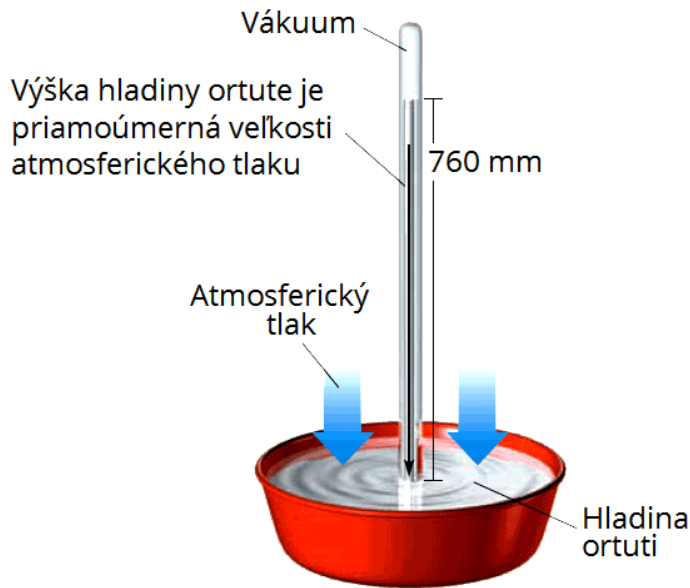


- Tlakové snímače teploty - princípom je teplotná závislosť zmeny tlaku meranej látky v uzavretom objeme snímača. Snímač sa skladá z troch častí: stopka zakončená nádobkou vloženou do meraného prostredia, spojovacie kapiláry, prevodník, ktorým býva membrána, vlnovec, alebo Bourdonova trubica. Deformácia prevodníka zmenou tlaku náplne v závislosti na teplote zodpovedá snímanej teplote.
- Snímače pre bezdotykové meranie teploty - princíp spočíva vo vyhodnotení energie elektromagnetického žiarenia vysielaného povrchom skúmaného telesa. Pri meraní jeho

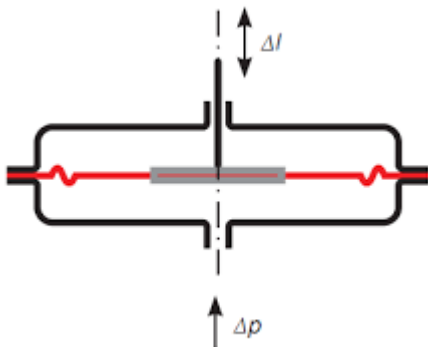
teploty sa využíva viditeľná časť spektra v rozmedzí 400 nm – 760 nm, infračervená oblasť do 30 μm , tomu zodpovedá rozsah teplôt (- 40°C do 10000°C). Snímač na ktorý toto žiarenie dopadá, ho súčasne odráža, prepúšťa a pohlcuje, takže k vyhodnoteniu je použitá iba pohltená energia. K prednostiam bezdotykového merania teploty patrí neovplyvňovanie meraného prvku snímačom a tým možnosť merania v extrémnych podmienkach a prostrediach, ktoré by na dotykové snímače kládli veľké technické nároky (výroba ocele, skla). Ďalej je možné merať teploty pohyblivých prvkov, prípadne obtiažne dostupných prvkov. Presnosť merania je obmedzená stanovením vlastností meraných prvkov. Hlavná oblasť merania teploty bezkontaktnými teplomermi je v rozsahu 1000 - 2500°C.



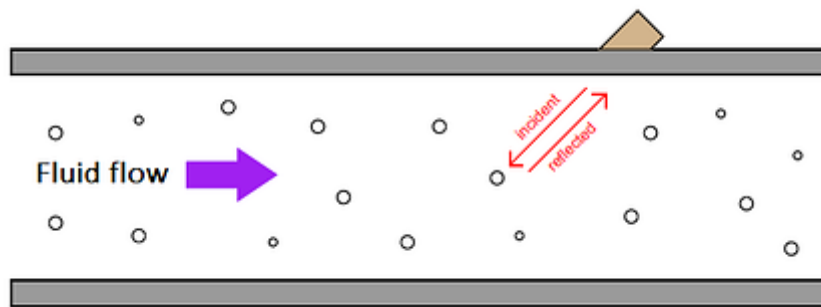
- Kvapalinové tlakomery - určujú tlak z výšky alebo rozdielu výšok stĺpcov kvapaliny v nádobách vhodného tvaru (U – trubice, prstenec, nádoba s uzavretým, otvoreným, zvislým alebo skloneným ramenom). Meraný tlak pôsobiaci na hladinu je vyrovnávaný hydrostatickým tlakom stĺpca kvapaliny (destilovaná voda, lieh, alebo v minulosti ortuť). Technicky najrozšírenejšou aplikáciou kvapalinových tlakomerov sú snímače tlakovej diferencie pri meraní prietoku. Tlakomer je realizovaný nádobou tvaru U – trubky s vloženým plavákom, ktorého zvislý pohyb je hrebeňovým ozubeným prevodom a magnetickou spojkou prenášaný na stupnicu ukazovacieho alebo zapisovacieho prístroja. V súčasnosti je nahradzovaný snímačom s elektrickým vyhodnocovaním tlakovej diferencie na princípe zmeny kapacity diferenciálneho kondenzátora.



- Deformačné tlakomery - tlak určujú z deformácie meracieho prvku v lineárnej časti deformačnej charakteristiky, popisujúcej závislosť jeho zdvihu na pôsobení tlaku. Sú to najpoužívannejšie snímače tlaku vzhľadom ku konštrukčnej jednoduchosti a tým aj cene, spoľahlivosti a vyhovujúcej presnosti.
- Membránový tlakomer - vo funkcii snímacieho prvku používa membránu.



- Magneticko-indukčný prietokomer - je použiteľný pre všetky vodivé kvapaliny ako sú voda, kyseliny, lúhy, suspenzie a iné. Princíp fungovania je nasledovný: akonáhle elektricky nabité častice kvapaliny začnú prechádzať umelým magnetickým poľom vytvoreným dvoma cievkami, indukuje sa elektrické napätie. Toto napätie, zachytené dvoma meracími elektródami, je priamo úmerné rýchlosti prúdenia, a tým tiež veľkosti objemu prietoku.
- Ultrazvukový prietokomer - využíva dva senzory umiestnené proti sebe v meracej trubici. Každý senzor môže striedavo vysielat' a prijímať ultrazvukové signály pri súčasnom meraní času prenosu signálu. Akonáhle kvapalina v trubici začne prúdiť, prenos signálov sa zrýchli v smere prúdenia, ale spomalí sa v opačnom smere. Rozdiel času prenosu meraním týmito dvoma senzormi je priamo úmerný rýchlosti prúdenia.



Snímače hmotnosti, sily a krútiaceho momentu.

- Piezoelektrický snímač - je založený na piezoelektrickom jave, pri ktorom deformáciou kryštálov dielektrík, ktoré nie sú stredovo súmerné vzniká polarizáciou viazaný náboj.

Použité zdroje:

<http://www.kis.fri.uniza.sk/~ludo/e-Publikacia/elektronika/kap1/elektronika.html>

<http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/110>

J. Fraden: Handbook of Modern Sensors, Springer, 2004

http://www.spslevice.sk/ucebnice/SOC/SOC%20-%20PRI/Uciva_tematickeho_celku_13.htm

Janota A., Nemec D., Kuchár P. Senzorová technika. 2024.