

Zkouškové otázky z předmětu

AUTOMATIZACE

1)

- a) Jak poznáte, že pravdivostní tabulka popisuje funkci logického sekvenčního obvodu (LSO)? Popište syntézu LSO pomocí zpětnovazebního zapojení logických obvodů (NOT, NAND, NOR).

U sekvenčního logického obvodu výstupní vektor nezávisí pouze na vstupním vektoru (jako u kombinačního obvodu), ale také na předchozím stavu obvodu. V pravdivostní tabulce se toto projeví různými hodnotami výstupní proměnné ke stejné kombinaci vstupních proměnných. Při syntéze LSO pomocí zpětnovazebního zapojení zavádíme zpětnovazební proměnnou (y_p). Hodnota této proměnné je vždy rovna výstupní proměnné v předcházejícím stavu systému. Po sestavení pravdivostní tabulky včetně této proměnné minimalizujeme funkci (K-mapa, s vhodným využitím zakázaných stavů) a realizujeme vlastní zapojení požadovaného obvodu.

- b) Kovové odporové senzory teploty (RTD) – funkce, používané materiály, převodní charakteristika Pt100. Vyhodnocovací obvody.

Funkční princip spočívá ve využití závislosti odporu kovu na teplotě podle vztahu

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Základní materiálovou konstantou je teplotní součinitel odporu α [K^{-1}]. Hodnota součinitele je řádu $10^{-3} K^{-1}$ a pro jednotlivé kovy se příliš neliší. Při výběru materiálu se přihlíží zejména ke stálosti teplotního součinitele, který je ve skutečnosti se změnou teploty proměnný (nutno uvažovat pro přesná měření).

Další parametry senzorů RTD jsou R_0 - základní odpor (při $0^\circ C$), R_{100} - odpor při $100^\circ C$ a W_{100} - poměr odporů při $100^\circ C$ a $0^\circ C$.

Mezi nejpoužívanější kovy patří

- Platina – rozsah teplot $-200^\circ C - 850^\circ C$, $\alpha_{Pt} \approx 0,0039 K^{-1}$
- Nikl – rozsah teplot $-80^\circ C - 320^\circ C$, $\alpha_{Ni} \approx 0,0062 K^{-1}$
- Měď – rozsah teplot $-200^\circ C - 260^\circ C$, $\alpha_{Cu} \approx 0,0043 K^{-1}$

Platinový odporový teploměr – nejpoužívanější. Čistota platiny se určuje podle redukovaného odporu

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0} \geq 1,385$$

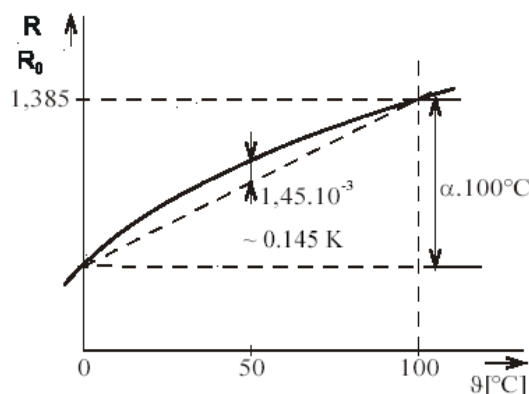
Vyrábí se ve dvou tolerančních třídách

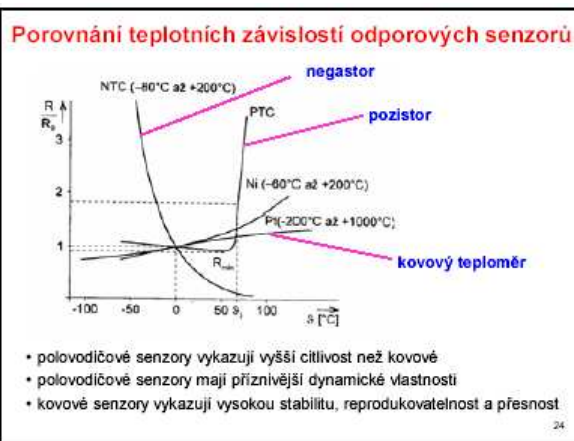
- A. rozsah $-200^\circ C - 650^\circ C$
- B. rozsah $-200^\circ C - 850^\circ C$

Standardní hodnota odporu platinového senzoru je

$$R_0 = 100 \Omega.$$

Převodní charakteristika se při uvažování přesné teplotní závislosti (polynom vyššího stupně) je na obrázku.





Měřicí obvody pro odporové senzory teploty

K měření odporu se nejčastěji využívá zapojení do Wheatstoneova můstku, který může pracovat jako:

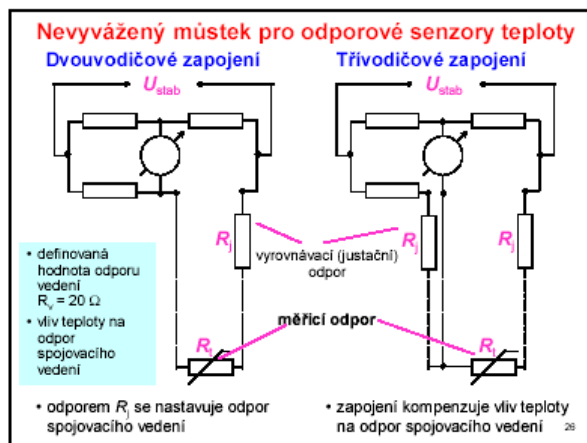
- nevyvážený můstek - metoda výchylková
- vyvážený můstek - metoda nulová

• U nevyváženého můstku **měřím odporu je výchylka měřicího přístroje zapojeného v diagonále můstku.**

• Při nulové metodě se nastavuje rovnováha změnou odporu druhé větve můstku. **Měří odporu je pak změna polohy jezce potenciometru.** Vyvažování je buď manuální nebo automatické.

Při provozním měření se nejčastěji využívá metody výchylkové, a podle počtu vodičů spojujících měřící odpor s přístrojem se setkáváme se zapojením dvou vodičovým, tří vodičovým a čtyř vodičovým.

25



2)

a) Jak se liší regulace na konstantní hodnotu, regulace programová a regulace vlečná.

- **Regulace na konstantní hodnotu** – regulovaná veličina se udržuje na konstantní hodnotě, jejím účelem je odstranění vlivu poruchových veličin, protože bez jejich vlivu by vlastně nebyla nutná žádná regulace. Regulovaná i řídicí veličina jsou v čase konstantní.
- **Programová regulace** – regulovaná veličina se mění podle předepsané časové závislosti. Regulovaná i řídicí veličina jsou v čase proměnné. Příkladem je např. regulace teploty v peci, kdy teplota se musí programově měnit.
- **Vlečná regulace** – regulovaná veličina se mění v závislosti na jiné vnější fyzikální veličině. Požaduje se aby hodnota regulované veličiny tuto vnější veličinu rychle a přesně sledovala. Řídicí i regulovaná veličina jsou tedy funkcí této vnější veličiny. Např. při dávkování chemikálie do vody, kdy časově dodávané množství je závislé na okamžitém průtoku vody.

b) Popište postup návrhu logického sekvenčního řízení pomocí klopných obvodů RS. Uveďte postup na řízení ohřevu pícky tak, aby se její teplota pohybovala mezi teplotami t_{\min} a t_{\max} . Ohřev bude řízen výstupem Y a teploty sledovány vstupními signály Sd (sleduje min) a Sh (sleduje max). Ostatní volte libovolně.

Na druhé straně.

3)

a) Vysvětlete, jak rozdělujeme regulované soustavy. Co je to přechodová charakteristika regulované soustavy.

Rozdělení regulovaných soustav

Podle počtu vstupů a výstupů

- jednorozměrové (soustava má jeden vstup a jeden výstup)
- vícerozměrové (soustava má více vstupů, resp. výstupů)

Podle prostorové soustředěnosti prvků

- se soustředěnými parametry (např. RLC obvody, motory atd.)
- s rozloženými parametry (např. dlouhé el. vedení, dlouhé potrubí atd.)

Podle časové závislosti přenosových vlastností

- s konstantními přenosovými vlastnostmi (přenos signálu ze vstupu na výstup se v závislosti na čase nemění, přenos zůstává konstantní)
- s proměnnými přenosovými vlastnostmi (přenosové vlastnosti soustavy se mění v závislosti na čase, přenos není v čase konstantní)

Podle chování soustavy při vychýlení z rovnovážného stavu

- soustavy statické (při vychýlení z rovnovážného stavu se výstup ustálí na nové rovnovážné hodnotě, 0. řádu, 1. řádu atd.)
- soustavy astatické (při vychýlení z rovnovážného stavu se výstup neustálí na nové rovnovážné hodnotě, 0. řádu, 1. řádu atd.)

Podle spojitosti soustavy a její statické charakteristiky

- soustavy spojité
- soustavy nespojité

Podle tvaru statické charakteristiky

- soustavy lineární
- soustavy nelineární

Dále např.

- soustavy deterministické (výstupní signál soustavy je analyticky popsitelný nějakou funkcí)
- soustavy stochastické (výstupní signál je náhodná funkce času)

Přechodová charakteristika regulované soustavy

Přechodová charakteristika je grafické znázornění přechodové funkce, která je odezvou systému na jednotkový skok vstupní veličiny. Přechodovou funkci lze získat z přenosu soustavy podle vztahu

$$H(p) = G(p) \cdot \frac{1}{p},$$

nebo řešením diferenciální rovnice soustavy po dosazení jednotkového skoku na pravou stranu rovnice. Mezi přechodovou funkcí a váhovou (impulsní) funkcí (odezva na jednotkový impuls) platí

$$h(t) = \int_0^t w(t) dt \quad w(t) = \frac{dh(t)}{dt}$$

- b) Kovové odporové senzory teploty (RTD) – funkce, používané materiály, převodní charakteristika Pt100. Vyhodnocovací obvody.

Viz otázka č. 1

4)

- a) Regulované soustavy. Jejich rozdělení. Vyjádření jejich vlastností matematicky – diferenciální rovnicí a graficky – přechodovou charakteristikou.

Rozdělení regulovaných soustav a přechodová charakteristika viz otázka č. 3.

Vyjádření diferenciální rovnicí

Lineární regulovaná soustava je obecně popsána rovnicí

$$a_n y^{(n)} + a_{n-1} y^{(n-1)} + \dots + a_1 y' + a_0 y = b_m u^{(m)} + b_{m-1} u^{(m-1)} + \dots + b_1 u' + b_0 u$$

Soustavy statické – diferenciální rovnice obsahuje člen a_0 (součinitel autoregulace), 0., 1. ... řádu.

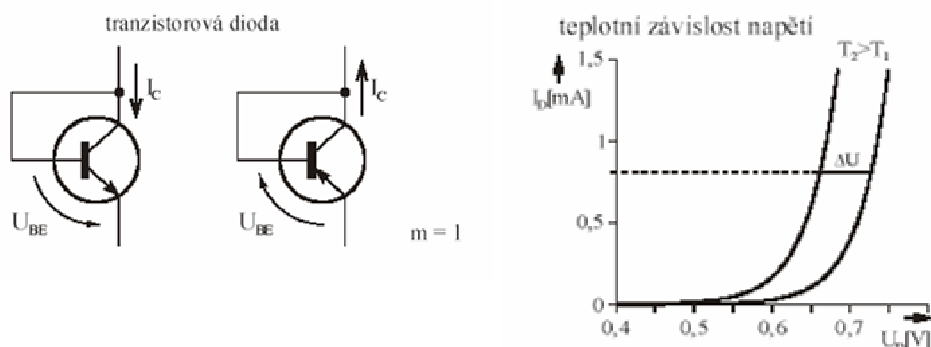
Soustavy astatické – v diferenciální rovnici chybí člen a_0 (součinitel autoregulace), 0., 1. ... řádu.

- b) Senzory teploty využívající přechod PN. Princip činnosti, průběh převodní funkce, praktické vlastnosti- teplotní rozsah, rozměry . Integrované senzory teploty.

Diodové teploměry využívají změny diodového napětí U_D v závislosti na teplotě pro diodu zapojenou v propustném směru.

$$U_D = f(v)$$

Lze je použít pro měření v teplotním rozsahu $-100^{\circ}\text{C} - 150^{\circ}\text{C}$. Vyrábějí se jako integrované senzory včetně integrovaného zdroje I_k a zesilovače. Jsou realizovány jako tranzistorové diody.



5)

- Popište postup návrhu řízení s logickými kombinačními obvody (LKO). Jak budete minimalizovat LKO zadanou jen pro neúplný počet kombinací vstupních proměnných. U LKO odpovídá jedné kombinaci vstupních proměnných vždy jedna hodnota výstupu. Při návrhu řízení s LKO se sestaví pravdivostní tabulka a určí logická funkce výstupu. Funkce se minimalizuje nejčastěji s použitím K-mapy. Je-li počet kombinací vstupních proměnných neúplný (např. z důvodu nemožnosti fyzikální realizace nějakého stavu), lze při minimalizaci za tyto stavy v mapě dosadit 1 nebo 0, tak aby bylo možno výstupní funkci co nejvíce minimalizovat.
- Senzory pro měření vlhkosti vzduchu. Uveďte 3 metody a jejich praktické realizace včetně převodní funkce nebo charakteristiky.

Vyjádření vlhkosti

- Absolutní vlhkost $a = \frac{m_p}{V}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
- Relativní vlhkost $\varphi = \frac{a}{a''} = \frac{p_p}{p_p''}$
- Měrná vlhkost vzduchu $x = \frac{m_p}{m_{sv}} = \frac{\rho_p}{\rho_{sv}}$ [$\text{kg}_p \cdot \text{kg}_{sv}^{-1}$]
- Teplota rosného bodu

Při měření vlhkosti se využívají následující funkční principy

- Sorpční (hygrometrická) metoda
- Kondenzační metoda (stanovení rosného bodu)
- Psychrometrická metoda

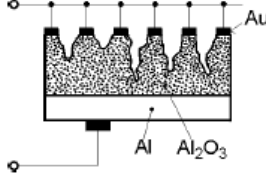
Sorpční (hygrometrická) metoda – využívá se vlastností některých materiálů absorbovat vlhkost a měnit při tom určitý parametr (délku, vodivost kapacity). Změnu délky při změně vlhkosti vykazují např. vlasy nebo blány z živočišných materiálů. Jejich hlavní nevýhoda je nelineární charakteristika a malá přesnost. Činnost používaných senzorů je založena na změně vodivosti (kapacity) vhodného hygroskopického materiálu v závislosti na změně vlhkosti.

- *Odporový senzor vlhkosti* $R_v = f(\varphi)$

Sorpční senzory vlhkosti

- jsou založeny na změně fyzikálně-chemických vlastností materiálů v závislosti na rovnovážném stavu adsorpce a desorpce vodní páry
- do této skupiny patří např. vlasové vlhkoměry, vlhkoměry kapacitní a odporové

Struktura mikroelektronického odporového senzoru vlhkosti:

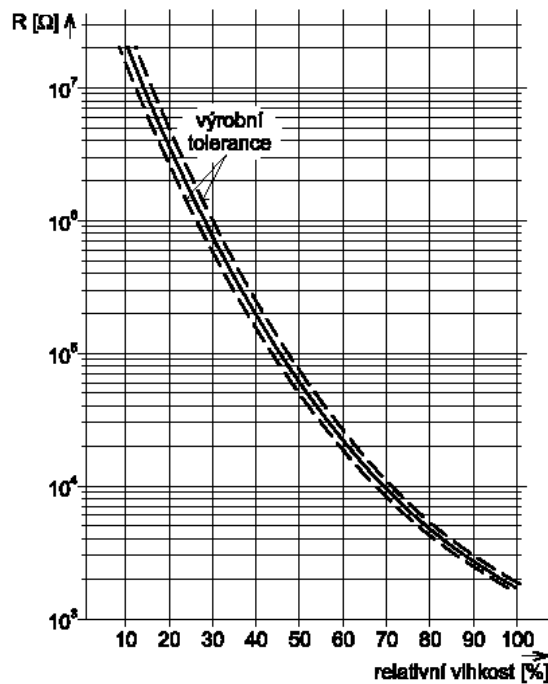
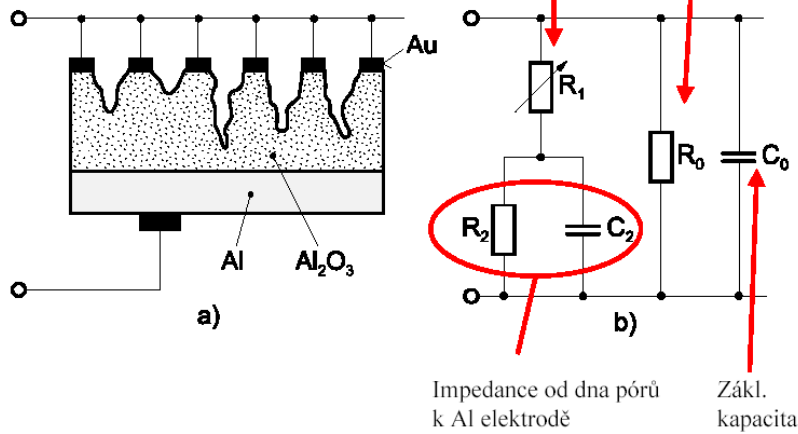


- na hliníkové elektrodě je vytvořena vrstvička oxidu hlinitého (tloušťka několik μm)
- vrstva Al_2O_3 je překryta extrémně tenkou vrstvou zlata, která propouští vodní páru
- odpor mezi zlatou a hliníkovou elektrodou je závislý na množství vody sorbované v porézní vrstvě Al_2O_3
- elektrický odpor je tedy funkcí vlhkosti měřeného plynu

• podobně může být vytvořen kapacitní senzor, jehož dielektrikum bude tvořeno z vhodného hygroskopického materiálu (obvykle polymer)

35

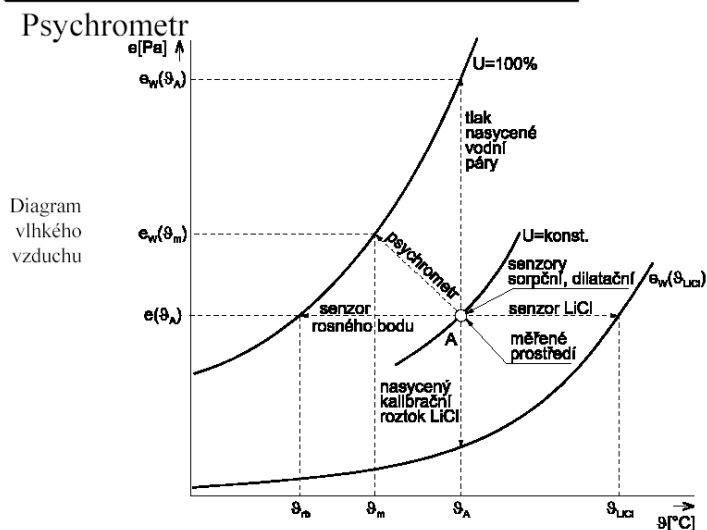
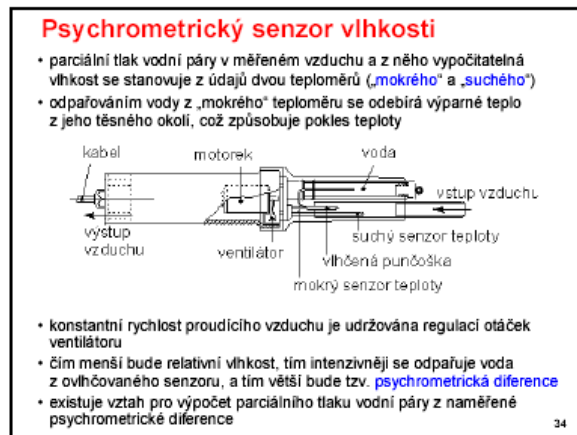
Odporový senzor vlhkosti



K přednostem patří malá časová konstanta.

Psychrometrická metoda – relativní vlhkost se stanovuje určením rozdílu teplot dvou teploměrů – suchého a mokrého. Výsledek měření je dosazen do psychrometrické rovnice a je vypočten parciální tlak páry p_p a z něj je určena relativní vlhkost vzduchu.

$$p_p = p_p'' - A \cdot p \cdot (v - v_m), \quad A = 6,56 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ pro } v > 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$



6)

- a) Co je to regulovaná soustava a její přechodová charakteristika. Jak rozdělujeme regulované soustavy.

Rozdělení regulovaných soustav a přechodová charakteristika viz otázka č. 3.a 4.

- b) Jak je zpracovávána programová funkce v logickém automatu PLC (PA)? Popište blokových schématem tok informací a popište základní metodu činnosti programu PLC a důvody jejího použití.

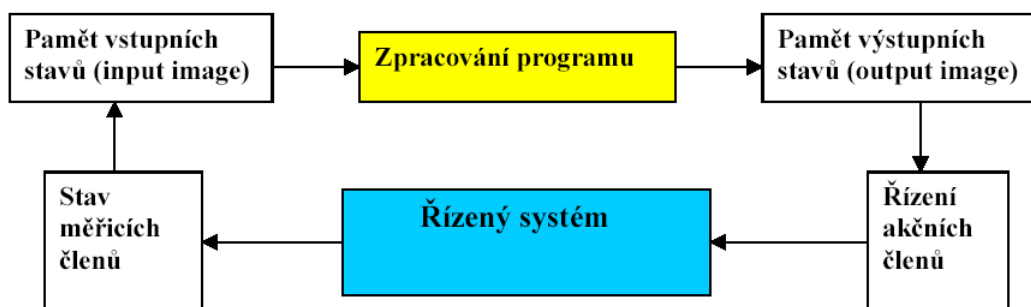
PLC pracuje cyklicky. V každém cyklu (nazýván PLC scan) jsou provedeny následující kroky

1. Čtení vstupů (scan vstupů) – načtení hodnot vstupů ze vstupních modulů do paměti zvané obraz vstupů
2. Výpočet programu – vykonání celého programu, výpočet nových hodnot výstupů a jejich uložení do paměti zvané obraz výstupů
3. Zápis výstupů (scan výstupů) – zápis obrazu výstupů do výstupních modulů
4. Závěrečná funkce scanu – vyřízení komunikace s ostatními zařízeními, obsluha časové základny atd.

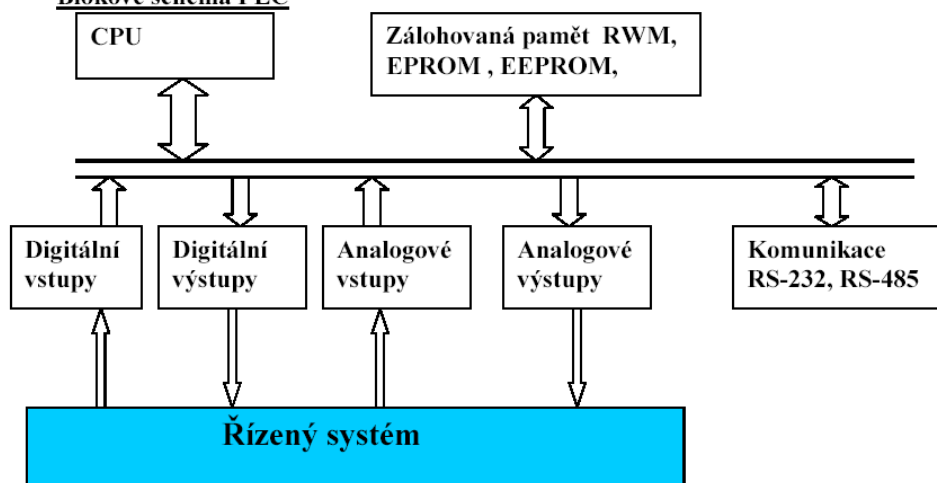
Důvody použití scanu

- odolnost proti rušení, vyšší bezpečnost
- znovuspustitelnost od posledního dosaženého stavu před výpadkem
- nepřekročení doby cyklu
- snadná programovatelnost

Tok informací v řídicím systému s PLC



Blokové schéma PLC

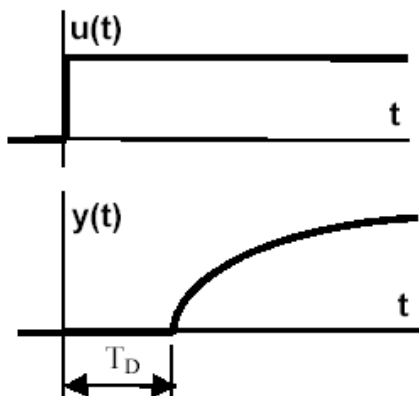


7)

- a) Co je to regulovaná soustava s dopravním zpožděním. Jaká je její přechodová charakteristika.

U soustavy s dopravním zpožděním nelze zanedbat omezenou rychlost šíření signálu. Po změně vstupu nedochází k okamžité změně výstupu, ke změně výstupu dochází až po jisté časové prodlevě. Tento jev se vyskytuje zejména u soustav, které realizují dopravu určitou rychlostí po určité dráze. Např. pásový dopravník paliva do pece (zvýšení přísunu paliva na pás se neprojeví okamžitým zvyšováním teploty v peci, jistou dobu trvá než se od dávkovače dostane do pece zvýšené množství). Dopravní zpoždění zhoršuje stabilitu soustavy, jejíž regulovaná hodnota se obtížně ustavuje na ustálené hodnotě.

Přechodová charakteristika soustavy s dopravním zpožděním



Diferenciální rovnice soustavy s dopravním zpožděním

Statická soustava 1. řádu

$$a_1 y'(t) + a_0 y(t) = u(t - T_D)$$

$$G_s = \frac{K \cdot e^{-p \cdot T_D}}{T_p \cdot p + 1}$$

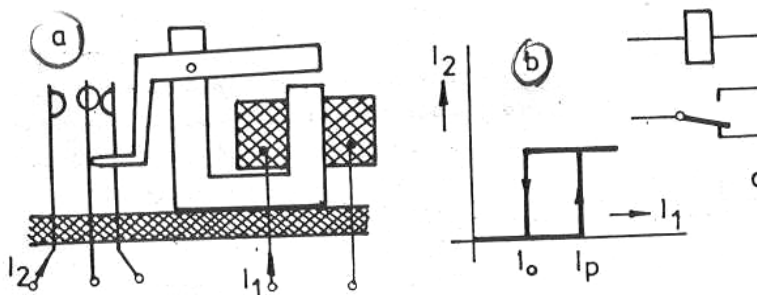
Astatická soustava 1. řádu

$$G_s = \frac{1}{T_i \cdot T_1 \cdot p^2 + T_i \cdot p} \cdot e^{-p \cdot T_D}$$

- b) Vysvětlete princip činnosti relé jako kontaktního spínacího prvku. Vysvětlete, co je reléová charakteristika relé a graficky ji znázorněte.

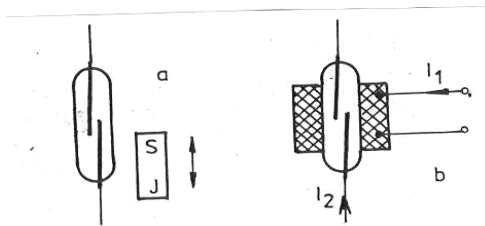
Relé jako kontaktní spínací prvek umožňuje galvanicky oddělené spínání velkých proudů a napětí (až 10A a 500V). Relé může být stejnosměrné nebo střídavé. Relé se skládá z budící cívky s železným jádrem (pro střídavý proud magnetický obvod z plechů), pohyblivé kotvy a jednoho nebo více kontaktů. Pokud teče cívkou proud, přitahuje kotvu a ta ovládá přes izolované mezičlásky kontakty. V klidové poloze mohou být kontakty sepnuté nebo rozepnuté.

Reléová charakteristika při jakém řídicím proudě I_p (proud přitahu) dochází k přitažení kotvy a při jakém proudě I_o (proud odpadu) dochází k odpadu kotvy. Hysterzní tvar charakteristiky zajišťuje odolnost proti rušivým vlivům (proud odpadu je nižší než proud přitahu, zajištěno vzduchovou mezerou). Cívkou teče řídicí proud I_1 a kontakty teče spínaný proud I_2 .



Relé podle konstrukčního provedení

- *mechanické (krabicové)* – kotva, jádro s cívkou a kontakty;
- *jazyčková (trubičková) relé* – používají se pro spínání malých výkonů, kontakty jsou v inertním plynu, kolem skleněné trubice s inertním plynem a kontakty je budící cívka, při vybuzení se na konci jazyčků vytvoří opačné póly magnetů a tím dojde k sepnutí; výhodou tohoto provedení je vysoká životnost a krátké spínací časy.
- časová relé – obsahují časově nastavitelný vypínač, který po určité době provede odpojení (např. schodišťový automat)



8)

- a) Vysvětlete, co je regulovaná soustava statická a astatická, co je přechodová charakteristika regulované soustavy a její průběh pro soustavu 0., 1. A 2. Řádu, diferenciální rovnice pro tyto případy.

- **soustavy statické** - při vychýlení z rovnovážného stavu se výstup ustálí na nové rovnovážné hodnotě,

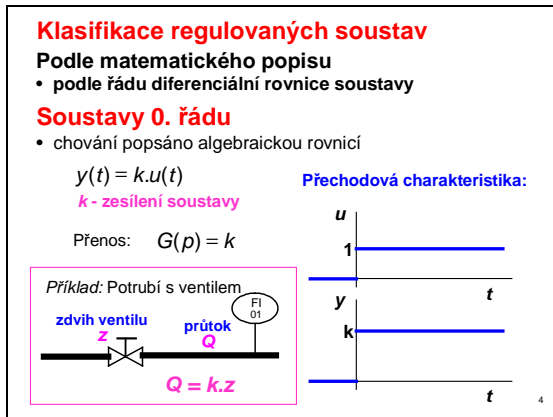
- **soustavy astatické** - při vychýlení z rovnovážného stavu se výstup neustálí na nové rovnovážné hodnotě, výstup se ustaví až na mezní hodnotě, astatická soustava je vždy nestabilní a k dosažení stability je vždy zapotřebí regulátoru

Přechodová charakteristika regulované soustavy

Přechodová charakteristika je grafické znázornění přechodové funkce, která je odezvou systému na jednotkový skok vstupní veličiny.

Soustava 0. řádu – vždy statická

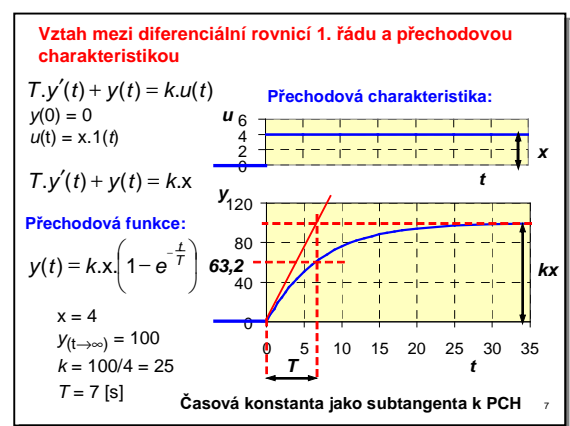
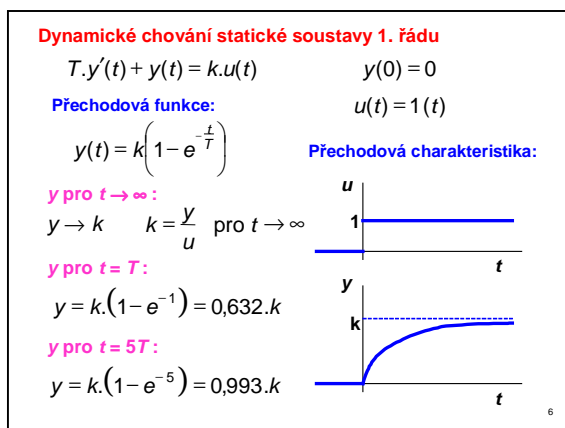
$$y(t) = k \cdot u(t) \quad G_s(p) = k, \text{ kde } k \text{ je zesílení soustavy}$$



Soustava 1. řádu

Statická

$$a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t) \quad G_s = \frac{k}{T \cdot p + 1}, \text{ kde } k \text{ je zesílení soustavy a } T \text{ je časová konstanta,}$$



Astatická (integrační 0. řádu)

V diferenciální rovnici soustavy chybí lineární člen – součinitel autoregulace $\frac{1}{a_0}$. Mají čistě integrační charakter (ideální integrační člen). Diferenciální rovnice má tvar

$$a_1 y'(t) = b_0 u(t).$$

Přenos soustavy je

$$G_s(p) = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{1}{\frac{a_1}{b_0} \cdot p} = \frac{1}{T_i \cdot p}, \text{ kde } T_i \text{ je integrační konstanta.}$$

Astatická soustava 1. řádu

- popis diferenciální rovnicí 1. řádu, ve které $s_0 = 0$

$$s_1 \cdot y'(t) = b_0 \cdot u(t)$$

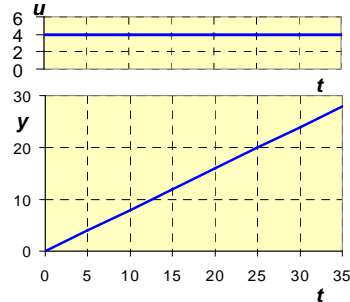
$$y(0) = 0$$

Přenos: $G(p) = \frac{b_0}{s_1 p}$

Přechodová funkce:

$$y(t) = \frac{b_0}{s_1} \cdot t$$

Přechodová charakteristika:



Příklad: viz 3. snímek této přednášky (nádrž s čerpadlem)

9

Soustava 2. řádu

Statická

Soustava 2. řádu

- popis diferenciální rovnicí 2. řádu

$$s_2 \cdot y''(t) + s_1 \cdot y'(t) + s_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot u(t) \quad y(0) = 0, \quad y'(0) = 0$$

$$T^2 y''(t) + 2T\xi \cdot y'(t) + y(t) = k \cdot u(t)$$

ξ - činitel tlumení,

pro $\xi \in (0,1)$ kmitavý průběh, pro $\xi \geq 1$ aperiodický děj

pro $\xi = 1$ děj na mezi aperiodicity

T - doba kmitu netlumeného systému ($\xi = 0$)

Přenos: $G(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$

10

Dynamické chování statické soustavy 2. řádu

$$T^2 y''(t) + 2T\xi \cdot y'(t) + y(t) = k \cdot u(t) \quad y(0) = 0, \quad y'(0) = 0$$

Přechodová funkce:

$$u(t) = 1(t)$$

$$y(t) = C_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + k$$

Kořeny charakteristické rovnice:

$$p_{1,2} = \frac{-2T\xi \pm \sqrt{4T^2\xi^2 - 4T^2}}{2T^2} = \frac{-\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}}{T}$$

Diskuse řešení:

- diskriminant $D = \xi^2 - 1$

- pro $\xi > 1$ je $D > 0$ a průběh je **aperiodický děj**

- pro $\xi < 1$ je $D < 0$ a průběh je **periodický děj**

- pro $\xi = 1$ je $D = 0$ a průběh je na **mezi aperiodicity**

- reálná část kořenů bude vždy záporná, **pro $t \rightarrow \infty$ $y \rightarrow k$**

11

Přechodové charakteristiky statických soustav 2. řádu

pro $\xi > 1$

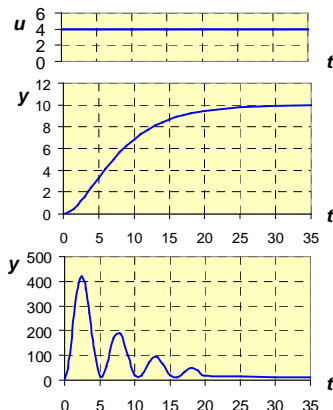
aperiodický průběh

$$k = 10/4 = 2,5$$

pro $\xi < 1$

tlumené harmonické kmity

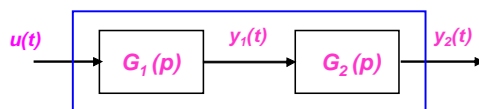
$$k = 12/4 = 3$$



12

Příklady soustav 2. řádu

Soustava 2. řádu vznikne sériovým řazením dvou soustav 1. řádu:



$$G_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}$$

$$G_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$$

$$G(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} \cdot \frac{k_2}{T_2 p + 1} = \frac{k_1 \cdot k_2}{T_1 T_2 p^2 + (T_1 + T_2) p + 1}$$

Příklady:

kaskády nádrží, vícečlenné odparky, destilační kolony

13

Astatická (integrační 1. řádu)

Soustava má zpoždění dané jednou kapacitou. Rovnice soustavy jsou

$$a_2 y''(t) + a_1 y'(t) = b_0 u(t)$$

$$\frac{a_2}{b_0} \cdot p^2 \cdot Y(p) + \frac{a_1}{b_0} \cdot p \cdot Y(p) = U(p)$$

$$G_s = \frac{1}{\frac{a_1}{a_1} \cdot \frac{a_2}{b_0} \cdot p^2 + \frac{a_1}{b_0} \cdot p} = \frac{1}{T_1 \cdot T_i \cdot p^2 + T_i \cdot p}$$

Charakteristika na druhé straně

b) Odporové senzory teploty – termistory. Druhy, převodní charakteristiky, praktické vlastnosti a důsledky pro použití.

Termistory se dělí na dvě základní skupiny

- *negastory* (NTC)
- *posistory* (PTC)

Negastory

$$\alpha < 0$$

-výroba práškovou technologií ze směsi oxidů kovů

-extrémní rozsahy - vhodné od 4,2K do 1000 °C

$$R = Ae^{B/T}$$

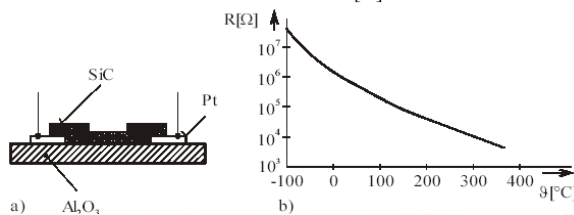
$$R_1 = R_r e^{B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_r} \right)}$$

R_1 - odpor termistoru při T_1

R_r - odpor termistoru při $T_r = 289,15K$ tj. 25°C

$B[K]$ - teplotní „konst.“ (ve skuteč. závislá na T , R_1, R_2)

$A[\Omega]$ – konstanta tvaru a materiálu



Polovodičové odporové teploměry

- využívá se závislosti odporu polovodičů na teplotě
- v praxi se využívá několika typů polovodičových senzorů teploty:

NTC - termistory (negastory)

- vyráběny práškovou technologií z oxidů kovů (Fe_2O_3 , TiO_2 , CuO , MnO , NiO , CoO , BaO aj.)
- vylišované senzory (nejčastěji ve tvaru perličky) se zpevňují silnováním za vysoké teploty
- vykazují záporný teplotní součinitel odporu
- závislost odporu na teplotě je nelineární a odpor s teplotou klesá:

$$R = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

R, R_0 - odpory termistoru při teplotách T a T_0
 B - veličina úměrná aktivní energii

PTC - termistory (pozistory)

- vyrábějí se z polykrytalické feroelektrické keramiky např. $BaTiO_3$
- vykazují **kladný teplotní součinitel odporu**
- v úzkém teplotním rozmezí odpor pozistoru prudce stoupá

Pozistory

$$\alpha > 0$$

- vyrábějí se z polykrytalické feroelektrické keramiky např. ($BaTiO_3$)

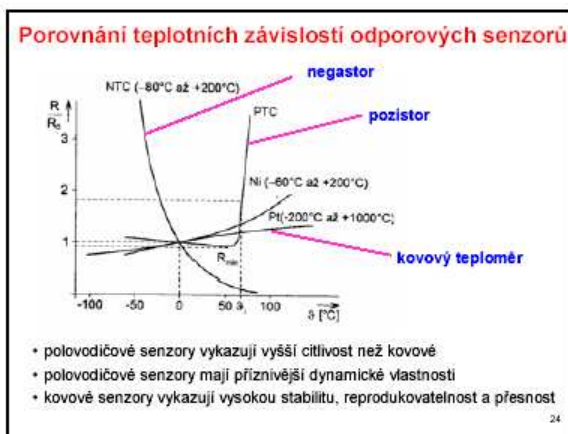
- odpor se stoupající T mírně klesá – pak nad Curiovou teplotou je prudký nárůst rezistivity materiálu v závislosti na T

-vztah pro oblast nárůstu:

$$R = R_r e^{AT}$$

$$A = 0,16 K^{-1}$$

-užití: jako dvoustavové senzory – signalizace překročení max. přípustné T



9)

- a) Nakreslete průběh přechodové charakteristiky u statické soustavy 2. Řádu. Vysvětlete, co je T_u a T_n a jaký je jejich vliv na průběh regulace. Uveďte příklady takové soustavy a její diferenciální rovnici.

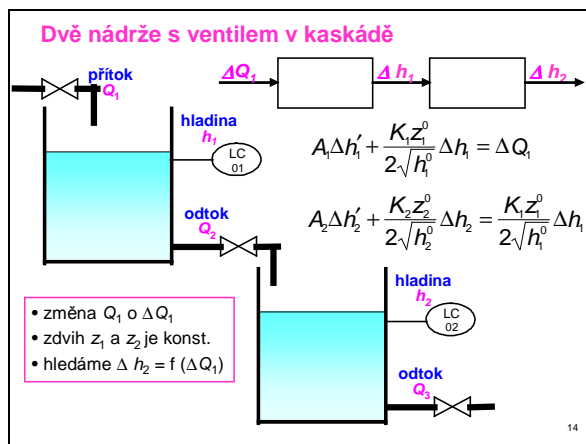
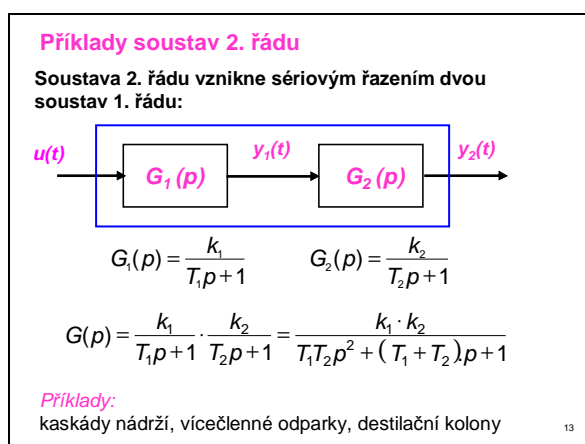
Průběh charakteristik viz. otázka č. 8

T_u - doba průtahu – časový interval od okamžiku změny vstupní veličiny k bodu ve kterém tečna inflexním bodem přechodové charakteristiky protíná přímku předcházejícího ustáleného stavu výstupní veličiny

T_n - doba náběhu – je časový interval vymezen zleva bodem ve kterém tečna inflexním bodem přechodové charakteristiky protíná přímku předcházejícího ustáleného stavu výstupní veličiny a zprava okamžikem, ve kterém tatáž tečna protíná přímku následujícího ustáleného stavu výstupní veličiny.

$$T_p = T_u + T_n - \text{doba přechodu}$$

T_d - dopravní zpoždění – složka doby průtahu vymezuje interval od okamžiku změny vstupní veličiny do okamžiku, kdy se začne měnit výstupní veličina



- b) Popište základní konstrukci stykače. Vysvětlete, jaký je průběh tažné síly elektromagnetu u stykače na střídavý proud. Jak se odstraní kolísání této síly k nulové hodnotě.

Hlavní konstrukční prvky stykačů jsou:

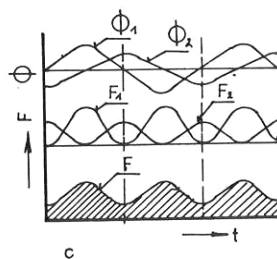
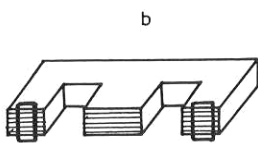
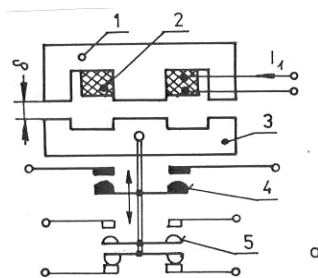
- elektromagnet s vinutím
- pohyblivá kotva
- hlavní kontakty (obvykle tři páry)
- pomocné kontakty

Stykače se používají zejména ke spínání velkých výkonů. Ovládací napětí střídavých stykačů je 12V – 500V, stejnosměrných stykačů do 230V.

Funkční princip stykačů je obdobný jako u relé. Přivedením řídicího proudu do cívky dojde k přitažení pohyblivé kotvy a tím k přestavení kontaktů.

U stykačů napájených střídavým proudem se projevuje *kolísání přitažlivé síly* elektromagnetu. Magnetický tok a síla od vinutí elektromagnetu kolísá mezi nulovou a maximální hodnotou s frekvencí 100Hz. Tím by docházelo ke značnému chvění kotvy a nepříjemnému hluku. Z toho důvodu se přidává do pólu elektromagnetu *závit nakrátko*. Jím generovaný magnetický tok a přitažlivá síla jsou časově posunuty vůči síle vyvozené cívkou. Tím je vytvořen posun výsledné tažné síly, tak že neklesá k nule.

Záběrový proud cívky je velký (velká vzduchová mezera způsobuje velký magnetický odpor a tím i malou indukčnost), po přitažení proud klesá přídržnou hodnotu.



2 druhy
Kontaktů:
→ hlavní
→ pomocné
⇒ umožňují
logická aut.
zapojení

Konečné spínací prvky → spínají motory, výkonné spotř.
 $\Phi_1 \dots$ od střídavého proudu cívkou $\Rightarrow F = F_1 + F_2 > 0 \dots$ nevrátí
 $\Phi_2 \dots$ indukovaný Φ_1 cívkou

10)

- a) Vlastnosti proporcionálních regulátorů, matematické vyjádření činnosti, přechodová charakteristika.

Hodnota akční veličiny je přímo úměrná velikosti regulační odchylky. P regulátor pracuje vždy s trvalou regulační odchylkou.

Regulátor P bez zpoždění	Regulátor P se zpožděním 1. řádu	Regulátor P se zpožděním 2. řádu
$y(t) = K_o x(t)$	<u>DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE</u> $T_1 y'(t) + y(t) = K_o x(t)$	$T_2^2 y''(t) + T_1 y'(t) + y(t) = K_o x(t)$
$P(p) = K_o$	<u>OPERÁTOROVÝ PŘENOS</u> $P(p) = \frac{K_o}{1 + T_1 p}$	$P(p) = \frac{K_o}{1 + T_1 p + T_2^2 p^2}$

- b) Vysvětlete, co je akční člen u regulátoru. Uveďte příklady regulačních orgánů - ventilů. Jejich provedení z hlediska otevírací charakteristiky. Příklad klapky jako regulačního orgánu a její různé provedení.

Akční člen regulátoru se skládá z pohonu a regulačního orgánu. Jeho výstupem je akční veličina, která vstupuje do regulované soustavy a ovládá ji. Regulační orgán je už často považován za součást regulované soustavy. Pohon nebo někdy též servomotor dodává energii regulačnímu orgánu, mění jeho polohu, natočení, otevření apod. Regulační orgán přímo ovládá akční veličinu. Mezi regulační orgány zahrnujeme různé ventily, klapky, šoupátka apod. U regulačního orgánu požadujeme lineární závislost mezi polohou pohonu a akční veličinou.

Regulační ventil – s talířovou kuželkou

Regulační ventil

- nejčastěji používaný akční člen
- slouží k ovládní průtoku plynných a kapalných medií
- průtok tekutiny je ovládn posunem kuželky vůči sedlu

Průtočná charakteristika ventilu

- závislost průtoku Q na zdvihu kuželky x
(za konstantních podmínek - hustota a viskozita tekutiny, tlakový spád na ventilu)

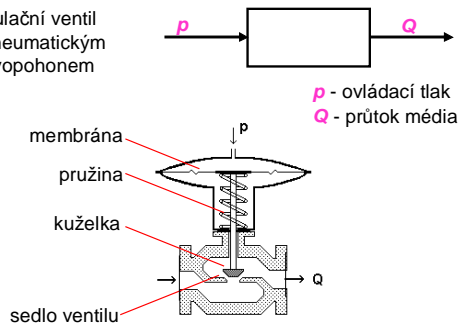
$$Q = f(x)$$

- základním požadavkem je lineární průtočná charakteristika

2

Pneumatický regulační ventil

- regulační ventil s pneumatickým servopohonem



3

Charakteristika ventilu může být lineární, kvadratická, atd.

Průtočná charakteristika:

Definována jako funkční závislost průtokového součinitele na poloze uzavěru regulačního prvku $K_v = K_v(H)$

Často specifikováno v poměrných veličinách $\Phi = \frac{K_v}{K_{vs}}$ $h = \frac{H}{H_{100}}$

$$\Phi = \Phi(h)$$

Lineární průtočná charakteristika

$$\Phi = \Phi_0 + mh$$

Teoretický regulační poměr $S_{v0} = \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}} = \frac{1}{\Phi_0}$

není totožný se skutečně dosažitelným regulačním poměrem – doporučeno používat ventil v rozsahu cca od 10 do 80% maximálního otevření

Rovnoprocentní (ekviprocentní) průtočná charakteristika

Stejné procentní přírůstky poměrného zdvihu h vyvolají stejné procentní přírůstky poměrného průtokového součinitele Φ

$$\Phi = \Phi_0 e^{nh}$$

U regulačních ventilů nejčastěji 4-procentní charakteristika ($n=4$)

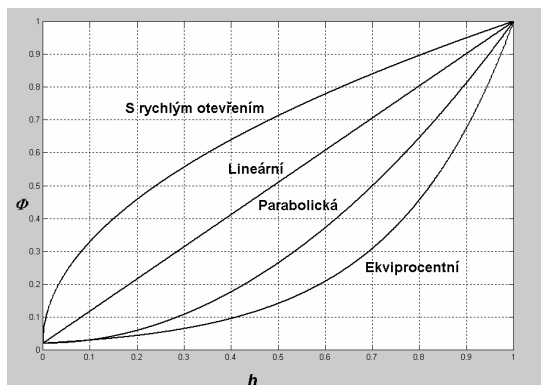
Parabolická průtočná charakteristika

$$\Phi = \Phi_0 + nh^2$$

používána méně často, kompromis mezi vlastnostmi rovnoprocentní a lineární charakteristiky

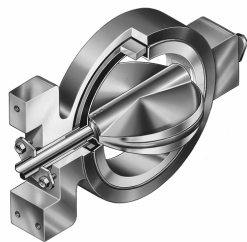
Charakteristika s rychlým otevřením

$$\Phi = \Phi_0 + m\sqrt{h}$$

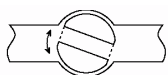


Klapka – umožňují regulovat průtok plynu (kapaliny). Příkladem je např. škrticí klapka v sacím potrubí zážehového spalovacího motoru. Nevýhodou klapky je značná nelinearita její charakteristiky.

Klapky:



Kohouty:



11)

- a) Co je pásmo proporcionality u P regulátoru, v čem se udává. Jak toto pásmo proporcionality souvisí se zesílením regulátoru?

Pásmo proporcionality určuje o kolik procent se musí změnit regulační odchylka, aby se akční veličina změnila o 100%. Je to převrácená hodnota zesílení P regulátoru. Udává se nejčastěji v procentech.

- b) Senzory pro měření vlhkosti vzduchu. Uveďte 3 metody a jejich praktické realizace včetně převodní funkce nebo charakteristiky.

Viz otázka č. 5

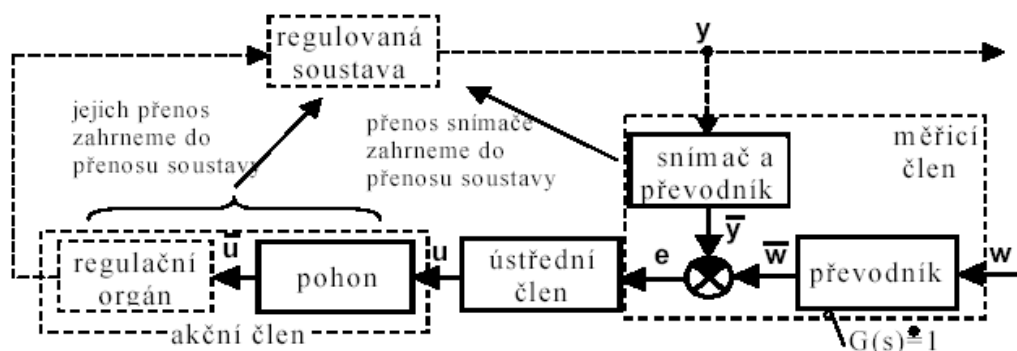
12)

- a) Jak se liší regulátor přímý od regulátoru nepřímého? Nakreslete blokové schéma nepřímého regulátoru.

Regulátor přímý (direktní) – nepotřebuje k provozu pomocnou energii, veškerou potřebnou energii bere z regulované soustavy, např. záchodová nádržka, odstředivý regulátor otáček motoru.

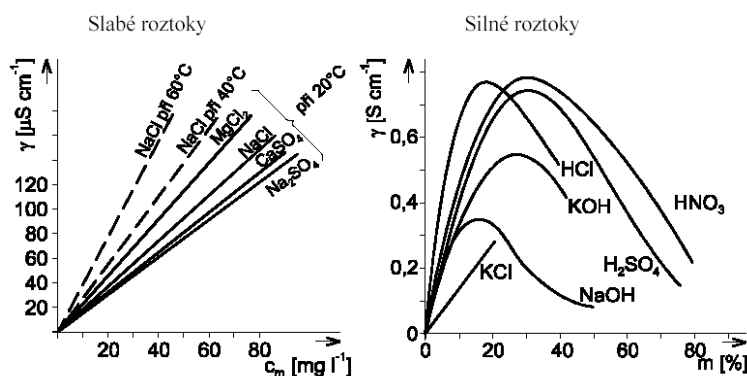
Regulátor nepřímý (indirektní) – k provozu vyžadují zdroj pomocné energie, který se dodává do ústředního členu, podle druhu dodávané energie rozlišujeme regulátory

- pneumatické
- hydraulické
- elektrické



- b) Senzory pro měření elektrické vodivosti kapalin. Princip metody, závislost měrné vodivosti na vlastnostech zkoumaných kapalin - příklady.

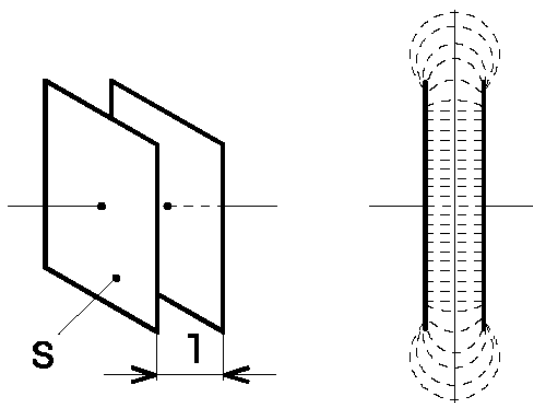
Senzory konduktivity



Konduktivita roztoků v závislosti na koncentraci a teplotě

$$\gamma = G \int_0^l \frac{dl}{S} = GK = \frac{1}{R} K$$

K...elektrodová konstanta



Konduktometrické sondy - zapojení • dvuelektrodové

- čtyřelektrodové – odstraňuje vliv polarizačních jevů
- bezkontaktní indukční senzor
- bezkontaktní vf senzory

Snímače elektrolytické vodivosti kapalin

- velmi citlivé, umožňují měření v širokém koncentračním rozmezí
- klasické uspořádání senzoru: dvě elektrody ponořené do roztoku
- elektrická vodivost je funkcí teploty

Schéma vodivostního snímače: Průtočný a ponorný snímač:

- plocha elektrod a jejich vzdálenost určuje elektrodovou konstantu snímače
- snímač obsahuje i čidlo teploměru pro kompenzaci teplotní závislosti
- měřicí obvod je napájen střídavým proudem o kmitočtu (50 až 5000) Hz

Nevýhody kontaktních snímačů:

- znečišťování elektrod
- nutnost přizpůsobení snímače pro daný měřený roztok

16

Bezelektrodové vodivostní snímače

Princip bezelektrodového měření vodivosti

Schéma:

Náhradní obvod:

- proud závitem nakrátko: $I = \frac{E_1}{R}$ $E_1 = k_1 \cdot U_N$
- výstupní napětí je úměrné protékajícímu proudu: $U_M = k_2 \cdot I = k_2 \cdot \frac{E_1}{R}$
- výstupní napětí je úměrné i vodivosti měřené kapaliny: $U_M = k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{U_N}{R} = K \cdot \frac{1}{R}$

- měření je nezávislé na kmitočtu
- provozní snímač vyžaduje obvod pro teplotní kompenzaci
- nevadí přítomnost látek znečišťujících elektrody

17

Bezelektrodový vodivostní senzor

Schéma:

Provedení:

- toroidní vinutí A je napájeno střídavým napětím z oscilátoru
- v měřeném roztoku je indukován střídavý proud, který prochází dutinou senzoru a indukuje výstupní napětí v toroidním vinutí B
- indukované napětí je snímáno detektorem
- velikost výstupního signálu je funkcí vodivosti roztoku
- primární i sekundární toroidní vinutí jsou uložena v pouzdru z nevodivého a chemicky odolného materiálu (nejčastěji teflon)

18

Aplikační možnosti vodivostních senzorů

- elektrická vodivost je vlastností aditivní, proto snímače neumožňují selektivně stanovit určitou látku
- ve složitějších roztocích lze měřením vodivosti určit pouze celkovou koncentraci iontů
- výhodou metody je její velká citlivost, snímače umožňují měřit i stopové koncentrace elektrolytů v roztoku

Aplikace:

- stanovení obsahu kyselin, louhů a solí v jednoduchých roztocích na základě kalibračních křivek
- kontrola čistoty vod (napájení kotlů, kondenzát, odpadní vody)
- kontrola různých technologických postupů v chemickém průmyslu
 - výroba kyselin, čpavku a dalších
 - kontrola pracích vod
- kontrola výroby v potravinářském průmyslu
 - řízení rafinačních procesů
 - měření v cukrovarnictví, mlékárenství a pivovarnictví

19

Další ve Vítkových poznámkách.

13)

a) Popište alespoň tři způsoby technické realizace logické funkce. Realizujte jedním ze způsobů funkci $y = Y = A * B + /A * /B$ lomítko je negace

- realizace pomocí prvků NAND, NOR
- kontaktní logika
- diodové a tranzistorové zapojení (viz. kybernetika)
- programovatelné automaty PLC

b) Senzory pro měření pH . Definice pH, princip měření, Nernstova rovnice. Aplikace na zemědělských produktech.

Definice pH

- vyjadřuje koncentraci vodíkových iontů v roztoku
- $pH = -\log[H^+]$
- pro $pH < 7$ je roztok kyselý
- pro $pH > 7$ je roztok zásaditý

Princip měření – princip analyzátoru pH je dán elektrochemickými reakcemi, ke kterým dochází na elektrodách ponořených do analyzovaných roztoků. Hodnota pH je určena napětím článku tvořeného dvěma elektrodami

- *měrnou* – její potenciál je úměrný pH, nejčastěji jako skleněná elektroda, která je naplněna ústojným roztokem (nemění přidáním kyseliny, zásady hodnotu pH)
- *referenční* – její potenciál zůstává stálý, nejčastěji tzv. kalomelová elektroda

Napětí elektrodového páru je lineární funkcí koncentrace vodíkových iontů.

Potenciometrie

Nernstova rovnice :

$$\varphi = \varphi_0 \pm \frac{RT}{nF} \ln \alpha_i = \varphi_0 \pm \frac{2,303RT}{nF} \log \alpha_i$$

φpotenciál měřicí elektrody

φ_0standardní potenciál

n ... valence

F ... Faradayova konstanta

R ... plynová konstanta

a_i ...aktivita iontů > 0

$$a_i = f_i n_i$$

aktivní koncentrace:

$$a_i = f_i n_i$$

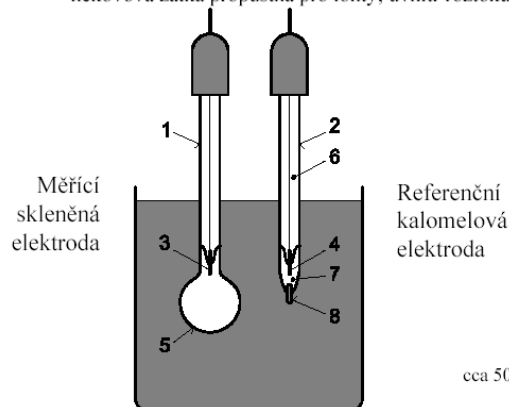
aktivitní koeficient koncentrace

$f_i = 1$ pro slabé roztoky
 $f_i < 1$ pro silné roztoky

•Potenciometrické měření pH

měření pH

měřicí elektroda: (skleněná) velmi tenká, propustná pro ionty
referenční elektroda: kalomelová; její potenciál je konstantní;
nekovová zátka propustná pro ionty; uvnitř roztoku elektroda



cca 50mV/pH

14)

- a) Vysvětlete, co je regulovaná soustava. Co je přechodová charakteristika regulované soustavy. Co je to regulace na konstantní hodnotu, regulace vlečná a regulace programová. Příklady.

Regulovaná soustava je systém (soubor zařízení), který je řízen regulačními procesy. Do regulované soustavy vstupuje akční veličina a poruchové veličiny. Výstupem regulované soustavy je regulovaná veličina.

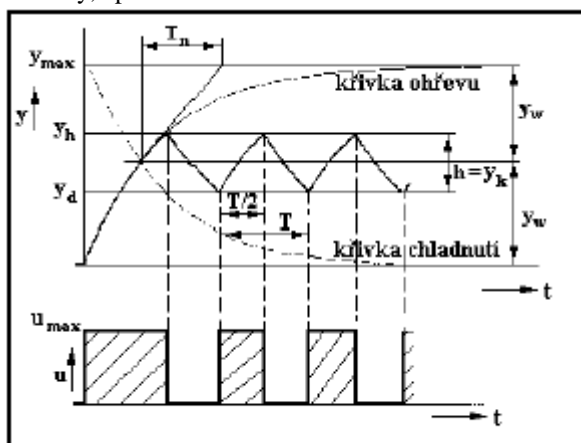
Další viz otázky č. 2 a 3.

- b) Navrhněte logický obvod pro vládání jednoho spotřebiče ze dvou míst (obdobu schodišťového ovládání osvětlení na začátku a na konci schodiště). Nalezenou logickou funkci realizujte log. členy NOT, NOR nebo NAND.

15)

- a) Vysvětlete činnost dvoupolohového regulátoru a znázorněte průběh regulované veličiny při dvoupolohové regulaci. Uveďte vztah vyjadřující kolísání regulované veličiny při této regulaci. Uveďte, v čem je rozdíl při dvoupolohové regulaci v soustavě 1. řádu a v soustavě 2. řádu.

Dvoupolohový regulátor je nespojitý regulátor u kterého při poklesu regulované veličiny pod žádanou hodnotu nabývá akční veličina určitou pevnou hodnotu a při překročení žádané hodnoty dosáhne jiné hodnoty, zpravidla nulové.



Obr. 3 Dvoupolohový regulátor na jednodukapacitní statické soustavě

$$y(t) = y_{\max} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) - \text{ohřev}$$

$$y(t) = y_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} - \text{chlazení}$$

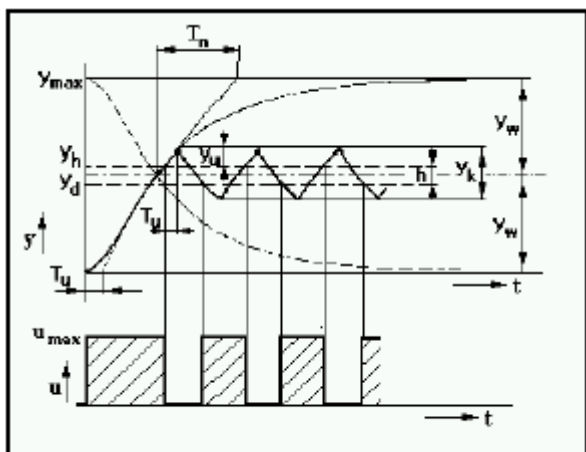
Charakteristickými veličinami regulačního pochodu jsou u soustavy 1. řádu

- šířka pásma (hystereze)
- perioda kmitu
- frekvence spínání
- doba rozběhu – doba po zapnutí regulačního obvodu, než regulovaná veličina poprvé dosáhne žádané hodnoty

Zmenšováním hystereze roste kmitočet spínání, což má negativní vliv na životnost regulátoru, proto se často pokud to není na závadu volí větší hystereze.

Rozdíl mezi dvoupolohovou regulací soustavy 1. a 2. řádu

U soustavy 2. řádu nekolísá regulovaná veličina pouze v pásmu vymezeném hysterezí regulátoru. To je způsobeno zpožděním v soustavě, které je dáno velikostí doby průtahu., protože teprve po uplynutí této doby začne regulovaná veličina ubývat (narůstat).



Obr. 5 Dvoupolohový regulátor na dvoukapacitní statické soustavě

Opatření pro zkvalitnění dvoupolohového regulačního pochodu

- *zmenšení hystereze* – menší amplituda regulované veličiny, ale za cenu častějšího spínání regulátoru
- *zkrácení doby průtahu* – pozitivní vliv na zmenšení amplitudy, nutno zajistit rychlý přenos signálu regulované veličiny na akční člen
- *prodloužení doby náběhu* – sníží šířku pásma kmitání, ale nesmí při tom dojít k prodloužení doby průtahu
- *zmenšení maximální hodnoty akční veličiny* – není příliš výhodné, prodlužuje dobu rozběhu

b) Indukčnostní senzory polohy. Druhy a jejich statické převodní charakteristiky. Srovnání z hlediska délky měřené dráhy a metody linearizace jejich převodních charakteristik

Snímače využívající k detekci polohy cívku lze rozdělit na senzory

- *indukční* – jsou aktivní (generátorové), využívají indukci napětí v obvodu změnou polohy snímaného objektu
- *indukčnostní* – jsou pasivní, měří změnu indukčnosti cívky (nebo vzájemné indukčnosti dvou cívek), při změně polohy zkoumaného objektu

Indukční snímače

- *elektromagnetické snímače* – pracují s časovou změnou magnetického pole podle známého vztahu

$$U_i = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

K indukci napětí dochází např. pohybem permanentního magnetu uvnitř cívky nebo je permanentní magnet (tvar podkova) napevno v jádře cívky a časové změny magnetického toku je dosahováno změnou magnetického odporu obvodu (změna vzduchové mezery).

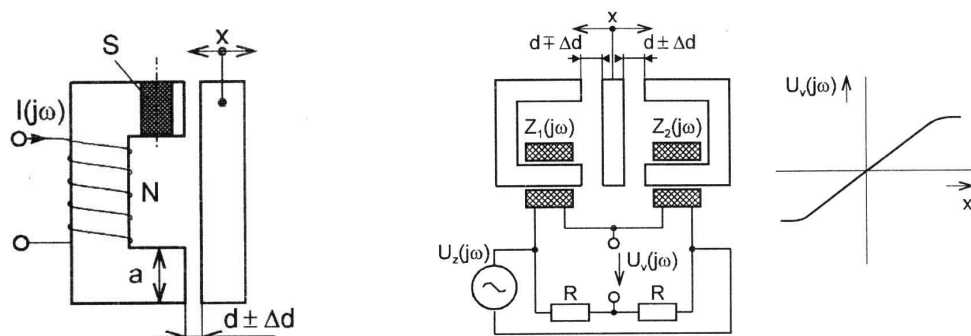
Je vhodný zejména pro měření rychlosti, protože indukované napětí je přímo úměrné časové změně dráhy.

- *elektrodynamické snímače* – indukované napětí vzniká pohybem vodiče v magnetickém poli podle vztahu $U_i = B \cdot l \cdot v$. Princip je vhodný zejména pro snímání kmitavého pohybu.

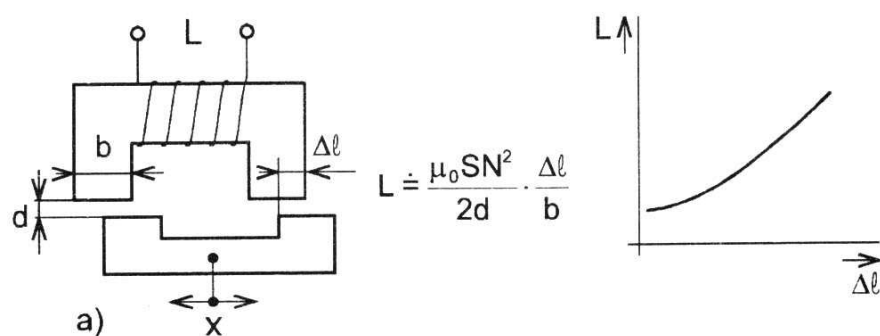
Indukčnostní snímače

Vyhodnocovaná veličina je změna indukčnosti v obvodu, která se často vyhodnocuje oscilačním obvodem (limitní snímače). Používají se např. jako snímače přítomnosti vozidla v křižovatce. Vyhodnocení změny indukčnosti se také provádí zapojením snímače do můstku a měřením napětí (kontinuální snímače).

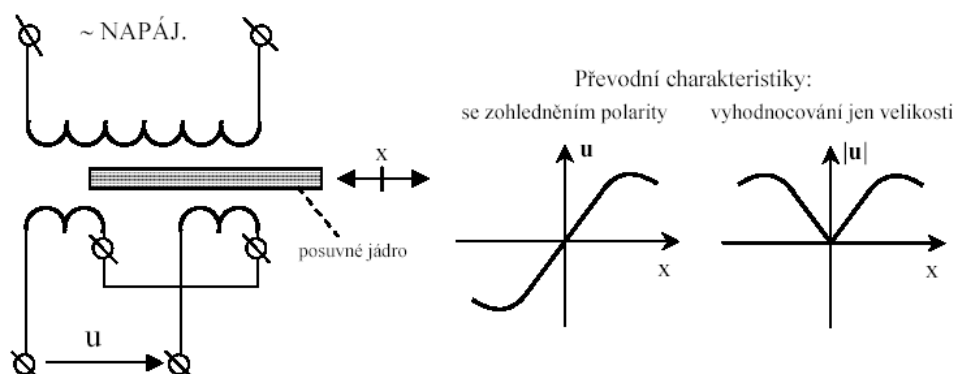
- *snímače s proměnnou vzduchovou mezerou* – používají se v oblasti linearitu charakteristiky, měření malých posunů



- *snímače s proměnnou plochou vzduchové mezery – měření středních posunů*



- *snímač s otevřeným magnetickým obvodem (s posuvným jádrem) – vyhodnocuje změnu vzájemné indukčnosti mezi primárním vinutím (napájeným ze zdroje) a sekundárním vinutím,*

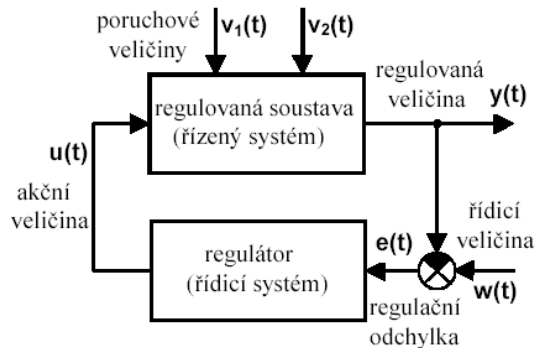


Hlavně pro měření polohy; $x = 1 \mu\text{m}$ až 100 mm

16)

- a) Uved'te, co je to regulační obvod a rozvětvený regulační obvod. Uved'te příklady takových regulačních obvodů.

V **regulačním obvodu** se uskutečňuje regulace. Je tvořen regulovanou soustavou, regulátorem a vzájemnými vazbami mezi nimi a také okolím. Regulační obvod obsahuje vždy zpětnou vazbu.



Rozvětvený regulační obvod – slouží ke zlepšení kvality regulace. Obvod má více regulačních smyček. K hlavnímu regulátoru se přidává další regulátor(y). Rozlišujeme následující základní typy rozvětvených regulačních obvodů

- *obvody s pomocnou regulovanou veličinou* – zlepšení kvality a stability obvodu, např. regulace teploty v peci vytápěné plynem, kdy zavedení pomocné regulace tlaku plynu před hořáky umožní rychlejší vyrovnání poruchové veličiny
- *obvody s pomocnou akční veličinou* – je charakterizována dopřednou vazbou akční veličiny, umožňuje lepší sledování řídicí veličiny, např. regulace teploty vody ohřívané ve výměníku, kterým prochází pára, hlavní akční veličinou je průtok topné páry a pomocnou akční veličinou je průtok ohřívané vody
- *obvody s měřením poruchy* – je možné v případě kdy lze měřit velikost poruchové veličiny, např. regulace teploty v místnosti, kdy se měří vnější teplota (její změna představuje poruchovou veličinu) i vnitřní teplota, vhodnou regulací podle vnější teploty lze zabránit změnám regulované veličiny působením poruchové veličiny

- b) Ultrazvukové průtokoměry- princip činnosti, odstranění vlivu rozdílné rychlosti šíření ultrazvuku v kapalině.

Podle použitého principu se dělí na

- průtokoměry pulsní
- průtokoměry využívající Dopplerova jevu

Pulsní ultrazvukové průtokoměry jsou založeny na skládání rychlosti kapaliny a rychlosti šíření ultrazvuku v kapalině. Měří se doba šíření pulsu od vysíláče k přijímači. Přesnost závisí na délce dráhy ultrazvuku v kapalině. K odstranění vlivu rozdílné rychlosti se vyhodnocuje časový rozdíl při průchodu impulsů v obou směrech šíření

Průtokoměry s vyhodnocením doby šíření UZ-signálu

- pracují v diferenčním zapojení
- UZ-signál ve formě impulsu se vysílá ve směru a proti směru proudění
- vyhodnocují se časové rozdíly při průchodu impulsů v obou směrech šíření

Princip:

$$t_1 = \frac{l}{c+v} \quad f_1 = \frac{c+v}{l}$$

$$t_2 = \frac{l}{c-v} \quad f_2 = \frac{c-v}{l}$$

$$\Delta f = f_1 - f_2 = \frac{2v}{l}$$

- výsledný údaj nezávisí na rychlosti UZ v médiu (nezávisí na složení média, na teplotě a na tlaku)

Provedení UZ-průtokoměru

- UZ-signál se vysílá napříč potrubím pod úhlem α

$$\Delta f = k \cdot v \cdot \cos \alpha$$

Ultrazvukový průtokoměr s prodlouženou dráhou

- využívá se odrazu od protější stěny potrubí

Provedení:

Výhody UZ-průtokoměrů

- bezdotykové měření
- přístroje nevykazují tlakovou ztrátu
- vhodné pro měření malých i velkých průtoků
- nemají pohyblivé součásti
- umožňují oboustranné měření

Dopplerovský ultrazvukový průtokoměr pracuje v kontinuálním režimu. Funguje obdobně jako silniční radar a měří posun frekvence daný Dopplerovým jevem. Využívá odrazu od bublin nebo rozptýlených pevných částic.

Ultrazvukové průtokoměry

Průtokoměr využívající Dopplerova jevu

- použitelný pro proudící média, obsahující částice odrážející zvuk (pevné částice nebo bubliny plynu v kapalině)
- průtokoměr se skládá z vysílače a přijímače ultrazvuku, které jsou připevněny na jedné straně potrubí



- vysílač vysílá UZ-signal o známé frekvenci (okolo 0,5 MHz)
- Uz-signal odražený od pohybující se částice je zachycen přijímačem
- změna frekvence přijatého signálu závisí na rychlosti pohybu částice
- vzdaluje-li se částice od detektoru, pak platí vztah:

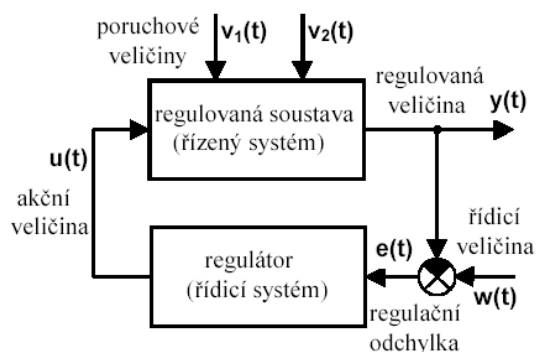
$$f' = \frac{C}{C + v} \cdot f$$

f, f' - frekvence vysílaná a přijímaná
 C, v - rychlost ultrazvuku a rychlost média

25

17)

- a) Nakreslete blokové schéma jednoduchého regulačního obvodu a vysvětlete základní pojmy: regulovaná veličina, akční veličina, řídicí veličina, poruchová veličina. Vysvětlete rozdíl mezi spojitou regulací a dvupolohovou regulací.



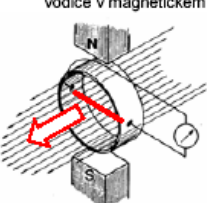
Spojitá regulace – dochází k plynulému nastavování akční veličiny, např. regulace množství vstřikovaného paliva u motoru

Dvupolohová regulace – akční veličina dosahuje pouze dvou různých hodnot, zpravidla zapnuto/vypnuto, např. regulace teploty v peci zapínáním a vypínáním přívodu tepla.

- b) Indukční průtokoměry – princip, popis převodní funkce, praktické požadavky na správnou činnost.

Elektromagnetické indukční průtokoměry

- využívají Faradayova zákona o elektromagnetické indukci při pohybu vodiče v magnetickém poli



- pohybující vodič je představován elektricky vodivou kapalinou mezi elektrodami
- permanentní magnet nebo elektromagnet vytváří magnetické pole
- úsek potrubí musí být z neferomagnetického a nevodivého materiálu
- elektrody pro snímání indukovaného napětí jsou na vnitřní stěně trubky kolmo na směr magnetických siločar

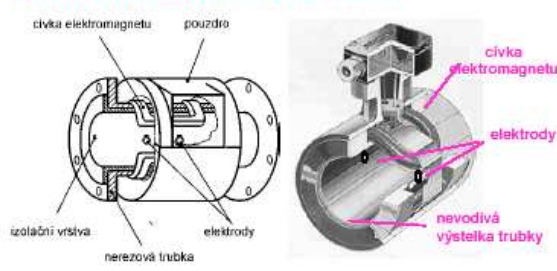
pro indukované elektrické napětí platí: $E = B \cdot d \cdot v$

E - indukované napětí [V] B - magnetická indukce [T]
 d - vzdálenost elektrod [m] v - rychlost kapaliny [ms⁻¹]

za určitých podmínek platí, že **indukované napětí je úměrné střední rychlosti proudící kapaliny.**

22

Provedení indukčního průtokoměru



části: cívka elektromagnetu, pouzdro, izolující vrstva, nerezová trubka, elektrody, cívka elektromagnetu, elektrody, nevodivá výstelka trubky

Moderní průtokoměry jsou vybaveny **diagnostikou**:

- periodicky kontroluje napájení, budicí proud, linearitu měření
- testuje korozi a znečištění elektrod, poškození izolační výstelky, výskyt bublin, postačující vodivost kapaliny, neúplné zaplnění snímače

23

Aplikace indukčního průtokoměru



- indukční průtokoměry se vyrábějí s průměrem od 2 mm až do 2 m
- vhodné pro vodivé kapaliny (vodivost větší než 1 μS) včetně nelineárních tekutin

Výhody:

- ✓ vhodné pro měření viskózních kapalin, kalů, kapalin s vysokým obsahem sedimentujících částic
- ✓ průtokoměr nevykazuje tlakovou ztrátu

Zabudování indukčního průtokoměru:

- je možno zabudovat do potrubí v libovolné poloze bez ohledu na neustálé proudění
- průtočný průřez však musí být zcela zaplněn, protože signál je úměrný rychlosti a objemový průtok se vyhodnocuje ze součinu rychlosti a průtočného průřezu



18)

- a) Nakreslete blokové schéma regulačního obvodu. Vysvětlete, co je rozvětvený regulační obvod s pomocnou regulovanou veličinou nebo s pomocnou poruchovou veličinou.

Viz otázka č. 16

- b) Tenzometry- druhy a jejich charakteristické vlastnosti (definice konstanty citlivosti), příklady měření mechanických veličin.

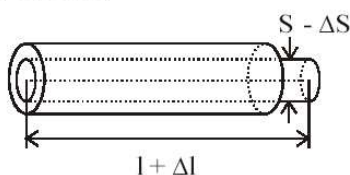
Odporové tenzometry



Principy funkce:

- základní vztah:

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



- totální diferenciál:

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

$$\frac{\Delta l}{l} = \varepsilon \dots \text{relativní deformace}$$

$$\frac{\Delta S}{S} = -2\mu \frac{\Delta l}{l} + \left(\mu \frac{\Delta l}{l} \right)^2 + \dots \approx -2\mu \frac{\Delta l}{l}$$

$\mu \dots$ Poissonova konstanta

$\frac{\Delta \rho}{\rho}$ - důsledek mikrostrukturálních změn materiálu – změny nesmí být nevratné!

ΔS - závislá na délkové deformaci

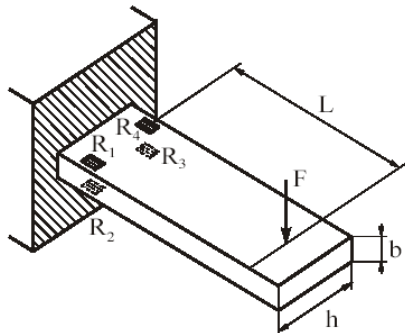
$$\frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = 1 + 2\mu + \frac{\frac{\Delta \rho}{\rho}}{\frac{\Delta l}{l}} = 1 + 2\mu + \pi_e E$$

$\pi_e \dots$ piezorezistivní koeficient

$E \dots$ Youngův modul pružnosti

Konstanta citlivosti pro kovové tenzometry $k = \frac{\Delta R}{\frac{R}{\Delta l} \cdot l} \approx 1 + 2\mu$

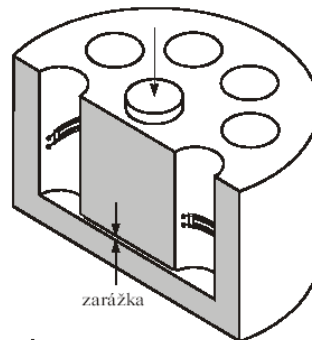
- pružný člen typu *vetknutý nosník* – pro měření malých sil (desítky kN)



$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{M_0}{W_0 E} = \frac{FL}{W_0 E}$$

- pružné členy se smykovým namáháním

-pro síly od 10kN do 1MN
-dobrá směrovost, vysoká tuhost,
ochrana proti přetížení

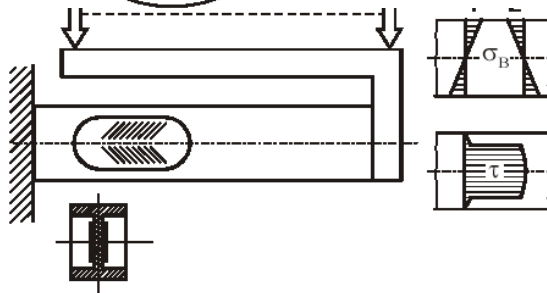


- sloupcové pružné členy

-pro síly nad 10kN
-plný tenzometrický můstek
-R1, R3 měří příčnou deformaci

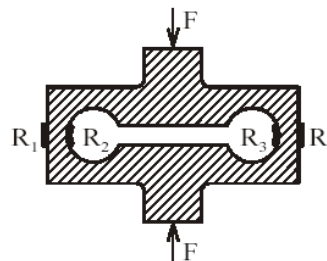
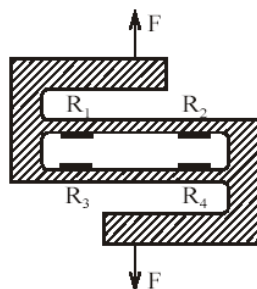


- měření smykového napětí



- měření větších sil

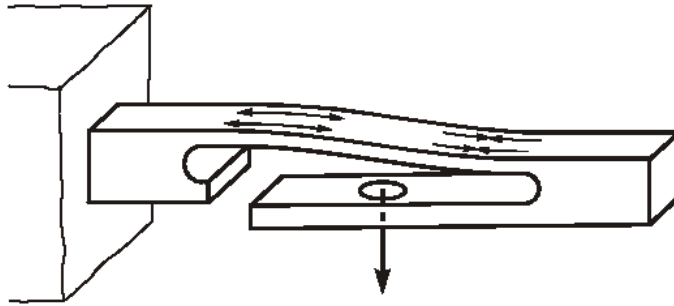
-princip dvojitého nosníku



pružný člen typu S

přeložený nosník:

-při zatížení vznikají deformace s opač. znaménkem na vrchní straně a proto se tam umístí fóliový tenzometrický můstek



19)

- a) Co je to frekvenční charakteristika a frekvenční přenos nějakého systému?

Frekvenční přenos $G(j\omega)$ je obdobně jako obrazový přenos poměr výstupní a vstupní veličiny, pokud na vstup přivedeme harmonický signál.

Frekvenční charakteristika je grafické vyjádření frekvenčního přenosu v komplexní rovině, pokud za úhlovou frekvenci ω dosazujeme hodnoty od 0 do ∞

- b) Senzory polohy na bázi potenciometrického snímače. Princip, převodní charakteristika. Praktické vlastnosti.

Základním principem těchto senzorů je změna odporu daná změnou polohy jezdce potenciometru, který je spojen s objektem jehož polohu zjišťujeme.

Rozdělení

- Podle tvaru dráhy
 - lineární
 - profilové
- Podle materiálu odporové dráhy
 - kovové
 - drátové
 - vrstevné
 - rtuťové
 - nekovové
 - uhlíkové
 - vodivé plasty (CP)
 - cermentové (keramika + kov)
 - elektrolytické
- Podle pohybu běžce
 - rotační jednoběžkové
 - rotační víceběžkové
 - posuvné

Vyhodnocování

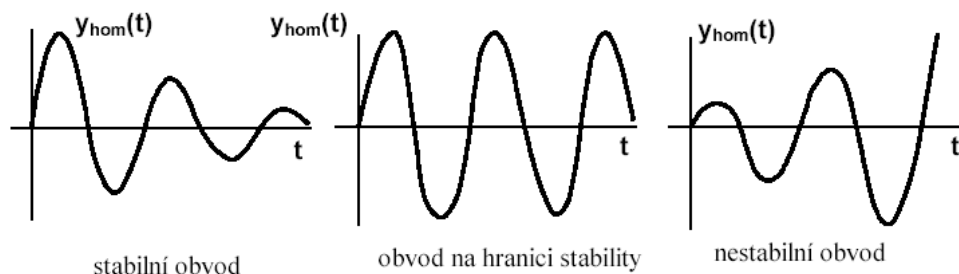
Odporový snímač polohy pracuje jako napěťový dělič. Vyhodnocovací metody stanovují změnu napětí (proudu) obvodu standardními výchylkovými nebo můstkovými metodami k měření odporů.

20)

a) Co je stabilita regulačního obvodu a podle čeho se dá určit.

Stabilita je základní a nevyhnutelnou podmínkou správné funkce regulačního obvodu.

Regulační obvod je stabilní, jestliže po svém vychýlení z rovnovážného stavu a odstranění vzruchu, který vychýlení způsobil, je schopen se ustálit v rovnovážném stavu. Nový rovnovážný stav nemusí být s původním rovnovážným stavem totožný.



Regulační obvod je stabilní, mají-li všechny kořeny charakteristické rovnice záporné reálné části neboli leží v levé komplexní polorovině (obr. 3.59).

V případě, že některý z kořenů leží na imaginární ose a žádný neleží v pravé komplexní polorovině, je obvod na hranici stability.

K praktickému zjišťování stability se používají kritéria stability



b) Princip kontinuálního kapacitního hladinoměru. Kapacitní snímače polohy, tenzometry.

Kapacitní hladinoměr pracuje na principu měření kapacity kondenzátoru, jehož elektrody jsou částečně ponořeny do měřené látky.

Kapacitní hladinoměry

- hladinoměr tvoří elektrický kondenzátor s proměnlivou kapacitou
- změna kapacity se měří můstkovými nebo frekvenčními metodami
- provedení závisí na vodivosti měřené látky

Snímací část kapacitního hladinoměru

- kapacitní sonda má obvykle válcový tvar (tyč, trubka, lanko)
- méně často se jedná o paralelní ploché elektrody
- sondy se umísťují většinou přímo do nádrže
- sonda je izolovaná od kovových stěn nádoby
- při měření je podstatné, zda je možné využít stěnu měřného prostoru jako protielektrodu
- skládá-li se stěna z více vrstev, stačí když je alespoň jedna vrstva vodivá (jako protielektrodu lze využít i stěnu, jejíž vnitřní stěna je pokryta smaltem, pryží nebo plasty)

14

Kapacitní snímače hladiny
Pro elektricky nevodivé kapaliny:

Princip: $C = \varepsilon_0 \varepsilon_r S/d$

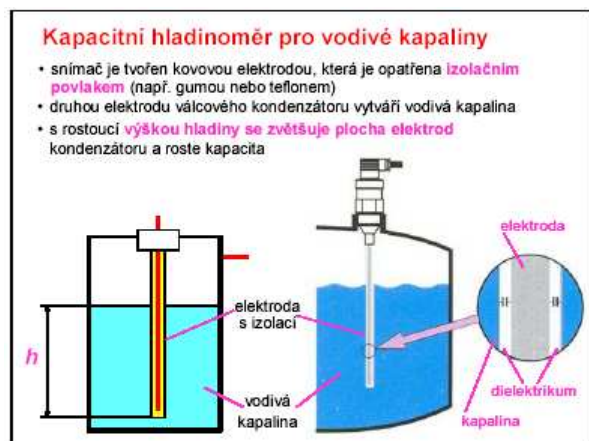
ε_0 - permitivita vakua
 ε_r - relativní permitivita prostředí
 S - plocha elektrod
 d - vzdálenost elektrod

Referenční kondenzátor pro kompenzaci změn permitivity média:

$C = C_A + C_B$

Snímač válcového typu:

15



Kapacitní snímače polohy – principem je převod změny polohy zkoumaného objektu na změnu kapacity kondenzátoru, která je poté vyhodnocena. Pro kapacitu deskového kondenzátoru platí vztah

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

Metody vyhodnocení kapacity snímače:

- *Můstkové metody* - měřicí kondenzátor je zapojen do jedné z větví můstku napájeného harmonickým napětím.
- *Zpětnovazební obvody* - měřicí kondenzátor je součástí děliče zapojeného do zpětné vazby operačního zesilovače.
- *Rezonanční metody* - měřicí kondenzátor je součástí LC obvodu, kapacita se převádí na kmitočet oscilátoru.

Typ snímače	schéma	funkční vztahy	charakteristika
deskový jednoduchý s proměnnou mezerou		$C = \varepsilon \frac{S}{d(x)}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta d} \doteq -\frac{C}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right)$	
deskový diferenční s proměnnou mezerou		$C_1 = \varepsilon \frac{S}{d(x)}; \quad C_2 = \varepsilon \frac{S}{d(x)}$ $\frac{\Delta C}{\Delta d} \doteq -\frac{C}{d} \left[1 + 2 \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
deskový s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1(x) + \frac{d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}}$ $\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2} \cdot \frac{1}{N - \frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2}}$ $N = \frac{\varepsilon_2 (d_1 + d_2)}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}$	
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_0 - d_1(x) \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}$	
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \doteq -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left(1 + \frac{\Delta d}{d}\right)$	

Typ snímače	schema	funkční vztahy	charakteristika
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} = -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1 + d_2} \left[1 + \frac{l(x)}{l_{\max}} \cdot \frac{1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}{\frac{d_1}{d_2} + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \right]$	
válcový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{2\pi \cdot l(x)}{\ln \frac{D_1}{D_2}}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} = -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{S(\alpha)}{d}$	

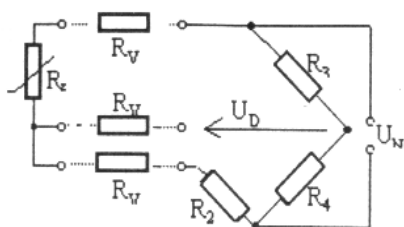
21)

- a) Uveďte, co se rozumí pod pojmem stabilita regulačního pochodu při spojité regulaci a jaká znáte kriteria stability.

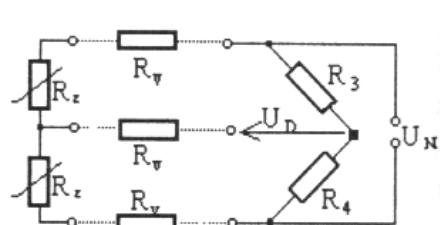
Viz otázka č. 20

- b) Tenzometrické můstky - způsob vyhodnocení signálu, druhy zapojení a jejich vlastnosti. Způsoby kompenzace oteplení tenzometru.

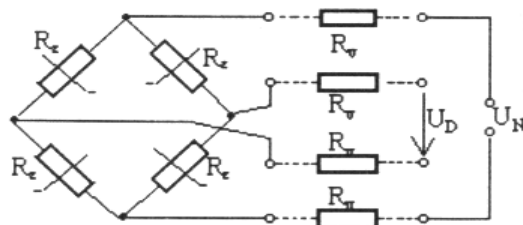
Tenzometrické snímače se vyhodnocují čtyřvodičovým zapojením, nebo častěji můstkovými metodami.



Obr. 3.98 Tenzometrický můstek s jedním snímačem



Obr. 3.99 Tenzometrický můstek se dvěma snímači



Obr. 3.100 Tenzometrický můstek se čtyřmi snímači

Můstkové metody vyhodnocování

- s jedním tenzometrem – pro nenáročná měření, problém při změně teploty
- se dvěma tenzometry – jeden ve funkci měřící a druhý ve funkci porovnávací, nebo oba ve funkci měřící (navzájem inverzní smysly tah-tlak)
- se čtyřmi tenzometry – úplný můstek, tenzometry jsou uspořádány tak, aby se signály jejich inverzních namáhání sčítali, čtyřnásobná citlivost, odstraňuje rušivý vliv teploty.

22)

- a) Uveďte, podle jakých kritérií se posuzuje kvalita regulace při spojitě regulaci a jaké jsou základní vztahy pro posouzení kvality regulace.

Viz otázka č. 20.

- b) Programovatelné automaty- popis, vlastnosti a způsob programování. Rozdíl oproti PLC. Vysvětlete pojem „časovač“.

Programovatelné automaty jsou programovatelné řídicí systémy umožňující řízení průmyslových a technologických systémů a procesů, u starších typů a u menších systémů specializované na úlohy převážně logického typu. Jsou známy pod označením PLC (Programmable Logic Controller). Menší typy bývají řešeny jako kompaktní celky, větší se zásadně konstruují jako modulární.

Schéma viz. otázka č. 6.

Způsoby programování

- jazyk mnemokódů je obdobou assembleru u počítačů a je také strojově orientován. To znamená, že každé instrukci PLC systému odpovídá stejně pojmenovaný příkaz jazyka. Tyto jazyky jsou často používány, zejména profesionálními programátory.
- jazyk kontaktních (reléových) schémat je grafický. Program se zobrazuje ve formě schémat používaných při práci s reléovými a kontaktními prvky. Jazyk je výhodný při programování nejjednodušších logických operací a v případech, kdy s ním pracují lidé, kteří neznají tradiční počítačové programování.
- jazyk logických schémat je opět grafický. Základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami. Své značky mají i ucelené funkční bloky. Vychází vstříc uživatelům, zvyklým na kreslení logických schémat.
- jazyk strukturovaného textu je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC (např. Pascalu nebo C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů.

Časovač – umožňuje zpoždění ovládacích povelů. Rozlišují se následující druhy

- zpožděné zapnutí (On Delay)
- zpožděné vypnutí (Off Delay)
- zpožděné zapnutí a vypnutí (On/Off Delay)

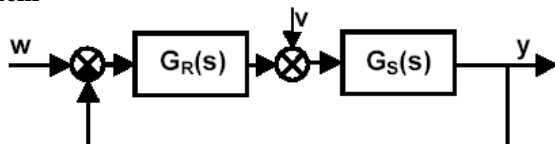
23)

- a) Podle čeho se posuzuje kvalita regulace u spojitých regulací? V uzavřeném regulačním obvodu je $F_R = 10$; $F_S = \frac{1}{5p+1}$. Určete přenos řízení $F_w = \frac{Y(p)}{W(p)}$

Přenos rozpojeného obvodu

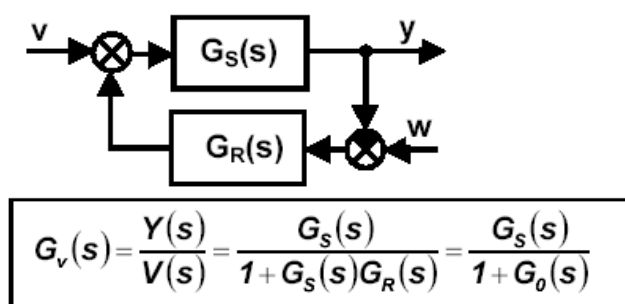
$$G_0(s) = G_S(s)G_R(s)$$

Přenos řízení

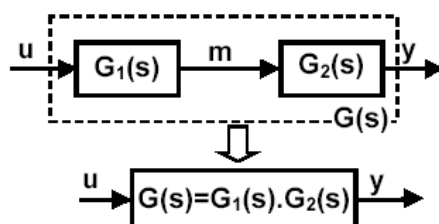


$$G_w(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{G_S(s)G_R(s)}{1 + G_S(s)G_R(s)} = \frac{G_0(s)}{1 + G_0(s)}$$

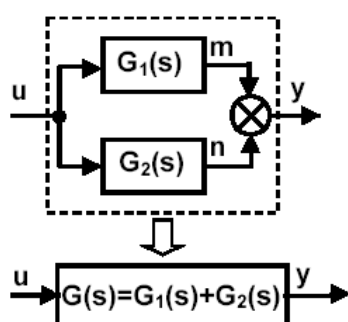
Přenos poruchy



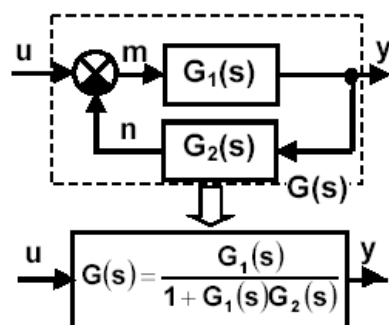
Přenos sériového zapojení



Přenos paralelního zapojení



Přenos zpětné vazby (antiparalelní zapojení)



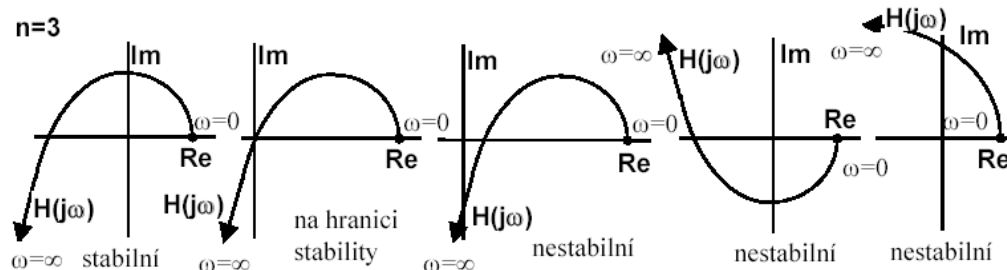
- b) Charakterizujte programovatelný logický automat (PLC). Popište způsob zpracování logické funkce scanováním .

Viz otázky č. 6 a 22

24)

- a) Leonardo-Michajlovo kritérium stability. Parametry kvality regulace.

Michajlov-Leonhardovo kritérium stability: Aby byl regulační obvod stabilní, musí Michajlov-Leonhardova křivka začínat na kladné reálné poloose komplexní roviny a se vzrůstajícím ω od 0 do ∞ musí projít postupně (tj. v pořadí) v kladném smyslu (proti pohybu hodinových ručiček) toliko kvadranty, kolikátého stupně je charakteristická rovnice.



Parametry kvality regulace

- doba regulace
- maximální přeregulování
- doba maximálního přeregulování
- počet přeregulování za dobu regulace

- b) Popište syntézu logického řízení pomocí sekvenčního diagramu. Vyřešte zadaný příklad.

Viz otázka č. 1

25)

- a) Na přiložených obrázcích 2,3,4,5 jsou uvedeny průběhy různých přechodových charakteristik. Napište typy operátorových přenosů pro uvedené průběhy přechodových charakteristik.
- b) Senzory teploty využívající přechod PN. Princip činnosti, průběh převodní funkce, praktické vlastnosti- teplotní rozsah, rozměry . Integrované senzory teploty.

Viz otázka č. 4

26)

- a) Lze využít zakázané nebo technicky neuskutečnitelné stavy logické sekvenční funkce k efektivní minimalizaci výrazu popisujícího tuto funkci? Popište funkci klopného obvodu RS tabulkou a uveďte (nakreslete) jeho obvodovou analogii realizovanou jako paměťové relé ovládané tlačítky start a stop.

Obrázek na druhé straně

- b) Kovové odporové senzory teploty (RTD) – funkce, používané materiály, převodní charakteristika Pt100. Vyhodnocovací obvody.

Viz otázka č. 1

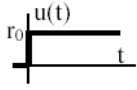

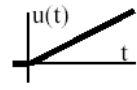
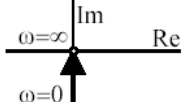
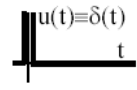
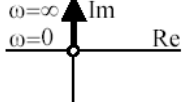
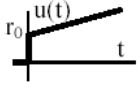
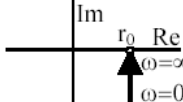
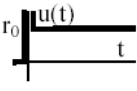
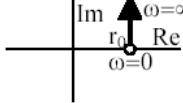
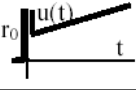
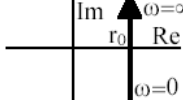
27)

- a) Vysvětlíte princip činnosti spojitých regulátorů typu P, I, a D. Napište diferenciální rovnici a znázorněte přechodovou charakteristikou pro PID bez zpoždění a se zpožděním 1. řádu.

Regulátor typu P – proporcionální regulátor, hodnota akční veličiny je přímo úměrná regulační odchylce. Pracuje vždy s určitou chybou

Regulátor typu I – integrační regulátor, akční veličina je úměrná integrálu regulační odchylky, umožňuje regulaci s nulovou regulační odchylkou.

Regulátor typu D – derivační složka, akční veličina je úměrná rychlosti změny regulační odchylky, nelze jej použít samostatně, protože reaguje pouze na změnu vstupní veličiny a v ustáleném stavu nepropouští signál.

typ	rovnice	přenos $G_R(s)$	přechodová charakteristika	frekvenční charakteristika
P	$u = r_0 e$	r_0		
I	$u = r_{-1} \int e dt$	$\frac{r_{-1}}{s}$		
D	$u = r_1 e'$	$r_1 s$		
PI	$u = r_0 e + r_{-1} \int e dt$	$r_0 + \frac{r_{-1}}{s}$		
PD	$u = r_0 e + r_1 e'$	$r_0 + r_1 s$		
PID	$u = r_0 e + r_{-1} \int e dt + r_1 e'$	$r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$		

- b) Uveďte, jaké znáte fotoelektrické prvky pro snímání světelných veličin a jejich základní vlastnosti.

28)

- a) Jaké konstrukční modifikace programovatelných automatů PA (PLC) znáte? Uveďte základní způsoby programování PA a jeden ze známých způsobů demonstруйте na naprogramování funkce $Y = (S + YP) * /V$ lomítko / představuje negaci

Konstrukční modifikace PLC

- *modulární* – velká variabilita konfigurací, rozsáhlé aplikace
- *kompaktní* – kompaktní celek s fixní konfigurací I/O
- *mikro PLC* – úsporné nejlevnější řešení pro řízení malých aplikací, nejčastěji jednotlivých strojů

- b) Psychrometrický způsob měření relativní vlhkosti. Jak je definována relativní vlhkost a v čem se udává.

Viz otázka č. 5

29)

- a) Vysvětlete princip odporových snímačů polohy (potenciometry). Jaký je průběh výstupního napětí v obvodu a na čem závisí jeho linearita?

Viz otázka č. 19.

- b) Jakými způsoby je možné provádět identifikaci regulovaných soustav ?

Identifikace soustav představuje zjišťování vlastností těchto soustav. Podle způsobu rozlišujeme

- *identifikaci matematicko-fyzikálním výpočtem* – sestavíme diferenciální rovnice popisující chování jednotlivých částí soustavy, po vyloučení vnitřních proměnných, linearizaci a aproximaci sestavíme přenos soustavy, lze použít pouze u jednodušších soustav
- *identifikaci experimentální* – provádí se měřením na zkoumané soustavě, identifikace se provádí změřením přechodové nebo kmitočtové charakteristiky, vhodné pro obtížně popsateľné soustavy
 - a) deterministickou identifikací – soustava je při měření vyřazena z provozu, provádí se měření jejích vstupních a výstupních signálů, přitom ostatní signály vstupující do soustavy jsou udržovány na konstantní hodnotě
 - b) statickou identifikací – soustava nemusí být mimo provoz

30)

- a) Vysvětlete, co je akční člen u regulátoru a z čeho se skládá. Uveďte příklad ventilu a klapky jako regulační orgán a jejich otevírací charakteristiku pro různá provedení.

Viz otázka č. 10

- b) Uveďte, jaké znáte snímače průtoku kapalin a na jakém principu pracují. Uveďte, jaké znáte snímače hladiny sypkých látek a kapalin a na jakém principu pracují.

Snímače průtoku kapalin

Průtokoměry podle toho co měří

- objemové
- hmotnostní
- rychlostní

Způsoby měření

- přímé – dávkovací senzory, čerpadla
- nepřímé – měření rychlosti nebo kinetické energie

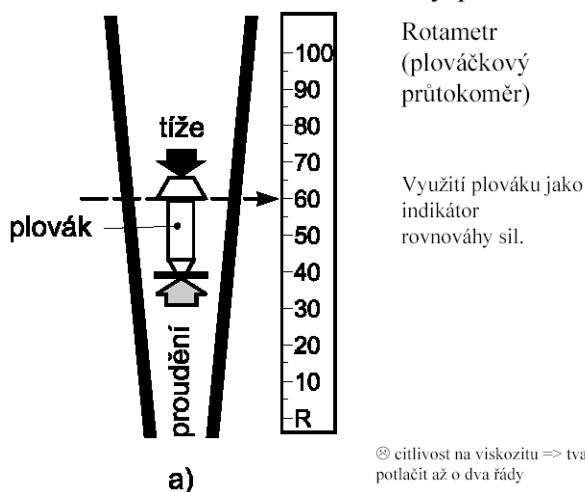
Objemové průtokoměry:

- plovákové (rotametry)
- dávkovací
- rychlostní:
 - turbínkové, lopatkové
 - vírové
 - indukční
 - ultrazvukové
 - značkovací
 - se škrticími orgány

Hmotnostní průtokoměry:

- tepelné
- Coriolisovy

Plovákové senzory průtoku



Senzory se škrticími orgány – měří tlakový spád, Pitova a Venturiho trubice

Snímače hladiny

MĚŘENÍ VÝŠKY HLADINY

Měřená média:

- **kapaliny**
 - čistá voda, roztoky, hořlavé kapaliny, viskózní kapaliny apod.
- **suspenze**
 - jemné suspenze, suspenze s abrazivními účinky
- **sypké látky**
 - tekoucí suché prášky, vlhké a spékající se hrudkovité sypké látky

Měření hladiny

- slouží většinou **ke zjišťování množství**
 - **vyčíslení množství** z údaje o výšce hladiny je jednoduché pro nádrže, jejichž průřez se s výškou nemění
 - obtížnější vyčíslení je např. pro ležaté válcové zásobníky s vyklenutým dnem (existují výpočetní programy)
- často vystačíme v praxi s **měřením bodovým**
 - měření mezního stavu
 - **limitní snímače** pro indikaci určité úrovně stavu hladiny
- **měření spojitě** poskytuje univerzální informaci, je náročnější

1

Přehled snímačů stavu hladiny

- **Mechanické hladinoměry**
 - plovákové hladinoměry
 - hladinoměry s ponorným tělesem
 - hladinoměry založené na měření hmotnosti
 - vibrační a vrtulkové stavoznaky
- **Hydrostatické hladinoměry**
 - přímé měření hydrostatického tlaku
 - měření s probubláváním
- **Elektrické hladinoměry**
 - vodivostní
 - kapacitní
 - fotoelektrické
- **Fyzikální hladinoměry**
 - ultrazvukové
 - radarové
 - s radioaktivním zářičem

2

Mechanické hladinoměry

Mechanická měřidla:

- **Tyčové měřidlo** je historicky nejstarším měřidlem výšky hladiny.
- **Průhledové stavoznaky** (skleněná trubice nebo průzor) se často využívají pro vizuální sledování stavu hladiny.

Nevýhody:

- neposkytují signál pro další zpracování
- zanášení nečistotami (rez)

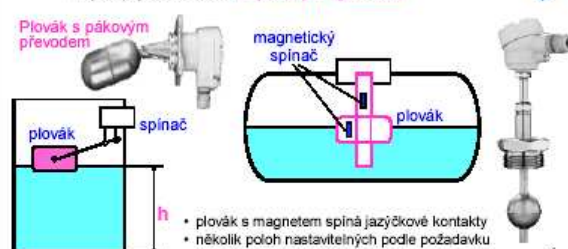
Hladinoměry založené na měření hmotnosti:

- ✓ výšku hladiny lze zjišťovat i **měřením hmotnosti nádrže** s materiálem
- ✓ hmotnost nádrže se zjišťuje pomocí **siloměrného členu**
- ✓ citlivým prvkem siloměrného členu bývá nejčastěji **tenzometrický senzor**
- ✓ hladinoměry založené na měření hmotnosti se používají např. při **dávkování a směšování** různých materiálů

3

Plovákové hladinoměry

- **pohyb plováku** je vyveden z nádrže:
 - řetízkem nebo **lankem přes kladku** (obvykle s protizávažím)
 - **pákovým mechanismem**
 - mezní spínač může být ovládán např. **magneticky**
- **převod na elektrický signál** může být zajištěn např.:
 - při signalizaci mezních stavů **kontakty spínače**
 - při spojitěm měření **odporovým vysílačem**

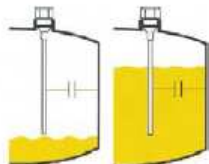


- plovák s magnetem spíná jazýčkové kontakty
- několik poloh nastavitelných podle požadavku

4

Kapacitní hladinoměry

- hladinoměr tvoří elektrický **kondenzátor s proměnlivou kapacitou**
- změna kapacity se měří můstkovými nebo frekvenčními metodami
- provedení závisí na vodivosti měřeného média



Snímací část kapacitního hladinoměru

- kapacitní sonda má obvykle **válcový tvar** (tyč, trubka, lanko)
- méně často se jedná o paralelní ploché elektrody
- sondy se umísťují většinou přímo do nádrže
- sonda je izolovaná od kovových stěn nádoby
- při měření je podstatné, zda je možné využít stěnu měřeného prostoru jako protielektrodu
- skládá-li se stěna z více vrstev, stačí když je alespoň jedna vrstva vodivá (jako protielektrodu lze využít i stěnu, jejíž vnitřní stěna je pokryta smaltem, pryží nebo plasty)

14

31)

a) Napište obecný operátorový přenos pro regulovanou soustavu :

- statickou se zpožděním třetího řádu a dopravním zpožděním

$$G_s(p) = \frac{e^{-T_D \cdot p}}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}$$

- astatickou se astaticmem 1. řádu a dopravním zpožděním

$$G_s(p) = \frac{e^{-T_D \cdot p}}{T_i \cdot T_1 \cdot p^2 + T_i \cdot p}$$

- b) Uved'te, jaké znáte snímače pro měření vlhkosti, jejich princip činnosti, schematické znázornění a použití.

Viz otázka č. 11

32)

- a) Vysvětlete princip identifikace statické soustavy vyššího řádu.

Viz otázka č. 29

- b) Vysvětlete princip činnosti kapacitních snímačů. Odvod'te lineární průběh výstupní el. kapacity kontinuálního kapacitního hladinoměru v závislosti na výšce zaplnění zásobníku materiálem.

Viz otázka č. 20

33)

- a) Vlastnosti proporcionálního regulátoru (ideálního i se zpožděním 1. řádu).

Viz otázka č. 10

- b) Jaké znáte snímače otáček. Jejich princip a rozsah použití. Jaké znáte snímače mechanického posunutí. Jejich princip a oblast použití.

Snímače otáček

- mechanické otáčkoměry
- spojitě indukční otáčkoměry – magnetické (využívají účinek vířivých proudů indukovaných v hliníkovém prstenci magnetickým polem při otáčení magnetu) a elektrodynamické (generují napětí podle zákona $U = Blv$) – stejnosměrné a střídavé
- impulsní otáčkoměry – optoelektronické, indukční, indukčnostní, pneumatická
- stroboskopické otáčkoměry

Snímače mechanické polohy

- odporové
- indukční
- kapacitní

34)

- a) Programovatelný automat (PA) – popis funkce a důvod použití. Popis struktury PA pomocí blokového schéma.

Viz otázka č. 6

- b) Vysvětlete princip činnosti termočládku. Uved'te způsoby, kterými se kompenzuje vliv okolní teploty na studený (srovnávací) spoj termočládku.

Termoelektrické senzory teploty

- termoelektrické senzory jsou založeny na **Seebeckovu jevu** (převod tepelné energie na elektrickou)
- **termoelektrický článek** je tvořen dvěma vodiči z různých kovových materiálů, které jsou na obou koncích spolu vodivě spojeny
- jestliže teplota t_m měřicího spoje bude různá od teploty t_0 srovnávacího spoje, vzniká **termoelektrické napětí** a obvodem prochází proud
- v zjednodušené formě můžeme závislost termoelektrického napětí na teplotě vyjádřit lineárním vztahem:

$$E = \alpha_{AB} t_m + \alpha_{BA} t_0 = \alpha_{AB} (t_m - t_0)$$


α_{AB} je koeficient závislý na materiálech použitých kovů a platí $\alpha_{AB} = -\alpha_{BA}$

Uvedený vztah platí jen pro úzké rozmezí teplot. Pro přesnější vyjádření se používá vztah:

$$E = \sum_{i=0}^n a_i \Delta t^i$$

$n = 2 \text{ až } 14 \text{ podle požadované přesnosti}$

Měřicí obvod termočládku



- dva spojené kovové vodiče **A** a **B** navzájem spolu spojené
 - měřicí spoj
 - srovnávací spoj
- pro správnou funkci snímače je nutné, aby teplota t_0 srovnávacího spoje byla konstantní, nebo aby vliv termoelektrického napětí tohoto spoje byl kompenzován

Měření termoelektrického napětí:

- měřicí přístroj se zapojí tak, že se rozpojí srovnávací spoj
- měřicí přístroj se zapojí do jedné větve termočládku

Měření termoelektrického napětí

Termoelektrické články jsou zdrojem poměrně nízkého napětí řádově jednotek až desítek mV.

Přístroje pro měření:

- analogové (výhylkové přístroje)
- kompenzační přístroje
- číslicové přístroje

Požadavky na měřicí obvody:

- minimalizace vlivu kolísání teploty srovnávacího spoje
- minimalizace vlivu odporu přívodů k senzoru
- potlačení rušivých signálů

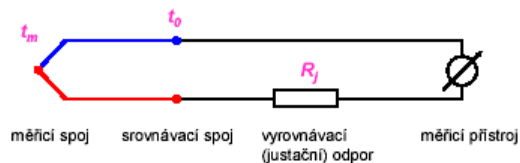
Potlačení vlivu teploty srovnávacího spoje:

- umístěním srovnávacího spoje **do termostatu**
 - v laboratoři při 0 °C
 - u provozních aplikací při 50 °C
- analogovými **kompenzačními obvody**
 - kompenzační krabice
- u číslicových měřicích systémů **číslicovou korekci**

14

Zapojení měřicích obvodů s termočládky

Přímé měření termoelektrického napětí milivoltmetrem



- vliv velikosti vnitřního odporu měřicího přístroje
- vliv odporu spojovacího vedení
- vliv kolísání teploty srovnávacího spoje
- prodloužení termočládku do místa srovnávacího spoje pomocí kompenzačního vedení

15

35)

- a) Identifikace systému (soustavy): Měřením byla stanovena přechodová charakteristika systému jako odezva na jednotkový skok vstupní veličiny. Určete (přibližně) přenosy $G(p)$ pro jednotlivé průběhy přechodových charakteristik uvedených na obrázcích. V obrázcích můžete provádět grafické úpravy.

Viz otázka č 29

- b) Vysvětlíte princip činnosti odporových kovových teploměrů - RTD. Znázorníte závislost odporu na teplotě pro používané typy RTD a popište, jakých měřicích obvodů se používá.

Viz otázka č. 1