

## Okruh 3 otázka 8

*Rozdělení technických prostředků řízení. Unifikace automatizačních prostředků. Základní prvky pneumatických systémů. Parametry a charakteristiky průmyslových snímačů a převodníků. Základní typy a konstrukce spojitéch regulátorů. Obvod beznárazového přepnutí, zpětná vazba od pohonu. Základní typy a konstrukce nespojitých regulátorů. Ekvitermní regulace. Algoritmy samonastavování. Pneumatické a hydraulické akční členy.*

### Rozdělení technických prostředků řízení

Podle vykonávané funkce je dělíme na prostředky pro:

- získání informace
- přenos informace
- zpracování informace a vytvoření řídicí informace
- záznam a pamatování informace
- styk s operátorem
- vytvoření akčního zásahu

Podle fyzikální veličiny, která je nositelem informace:

- elektrické
- pneumatické
- hydraulické
- mechanické
- kombinované

Podle způsobu přeměny informace:

- spojité (analogové)
- nespojité (polohové regulátory, číslicové regulátory, logické řízení)

### Unifikace automatizačních prostředků

- automatizační prostředky musí vyhovět různým předpisům, které jsou nejčastěji včleněny do státních a mezinárodních norem.
- unifikace signálů probíhá na půdě mezinárodních organizací s celosvětovou působností (IEC). Přístupuje se i k unifikaci konstrukčních parametrů (vnějších rozměrů, rozměrů desek s plošnými spoji, konektorů, ...)
- unifikace dovoluje stavebnicovost (moduly), specializaci výrobců (každý dělá, co umí nejlépe) apod.

**Příklady unifikace:**

Pneumatické systémy:

**Rozsah tlaků:** 20-140 kPa

**Napájecí tlak:** 140 kPa

Elektrické systémy:

Jednotný signál	Zatěžovací odpor [ohm]	Max.hodnota zvlnění[%] na vstupu / na výstupu
0 - 10 [V]	min. 2400	1 / 0.25
-10 - 0 - 10 [V]	min. 2400	1 / 0.25
0 - 20 [mA]	max. 500	10 / 0.25
4 - 20 [mA]	max. 500	10 / 0.25

**Pozn:**

**U** - Napěťový signál dovoluje paralelní připojení vstupů. Odpojení jednoho vstupu neovlivní ostatní. Existence úbytků napětí na delších vedeních

**I** - Proudový signál dovoluje řadit vstupní členy do série. Odpor vedení se neuplatňuje. Přerušení členu – přerušení obvodu a ztráta informace i od všech ostatních.

**I 4-20** - Mimo rozsah 4-20 mA má signál nulový proud, lze tedy snadno zjistit přerušení obvodu. Používá se ve dvoudrátových převodnících. Nevýhoda – složitější konstrukce (ref. zdroj 4 mA).

## Základní prvky pneumatických systémů

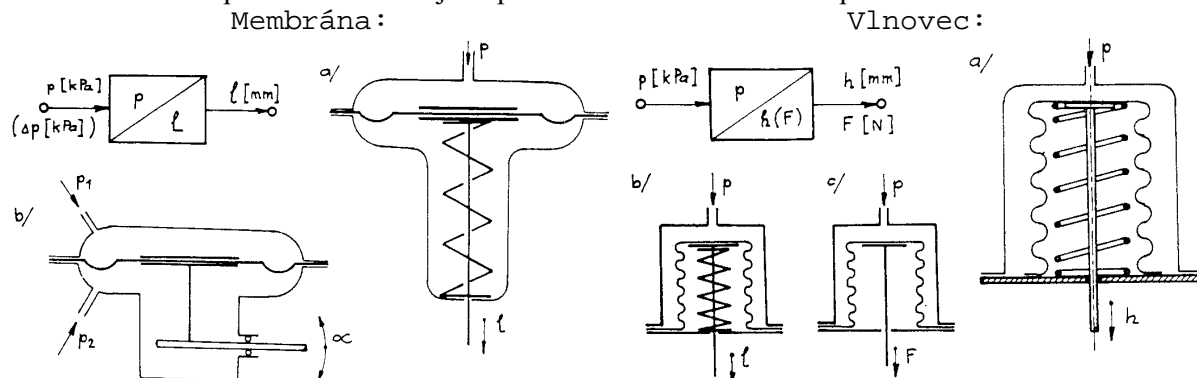
- uplatnění především v provozech s nebezpečím výbuchu – chemický průmysl, petrochemický průmysl a v poslední době i v robotice

**Pneumatické odpory** – proudící plyn škrťící odpory (clony, trysky, ventily apod.).

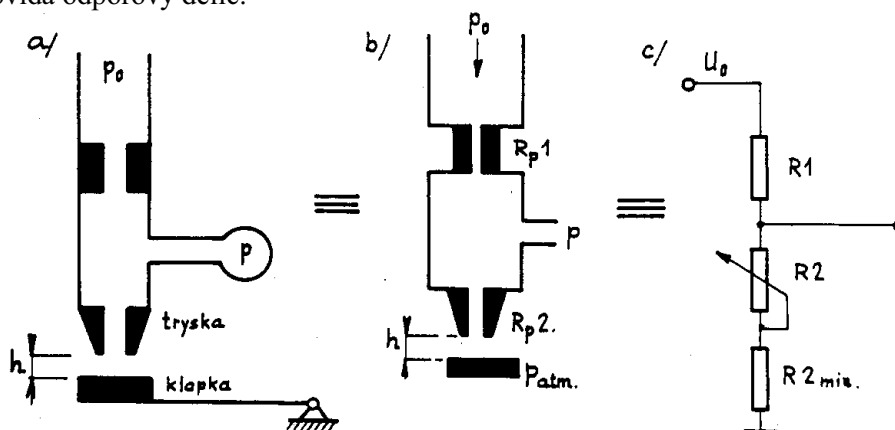
**Pneumatické kapacity** – uzavřené nádoby či komory o daném objemu  $V [m^3]$ , kde lze plyn shromažďovat.

**Membrána** – deformační prvek. Základní element snímačů tlaku či tlakového rozdílu.

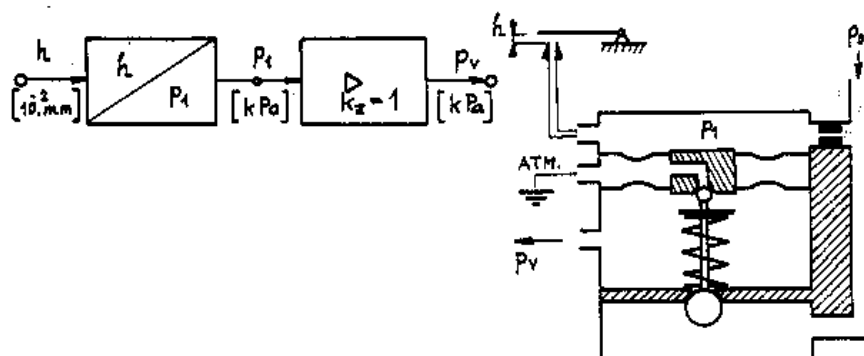
**Vlnovec** – deformační prvek. Používá se jako převodník tlak/síla nebo tlak/poloha.



**Převodník klapka->tryska** – jde o základní prvek pneumatických převodníků se zpětnou vazbou. V elektrické analogii mu odpovídá odporový dělič.



**Pneumatický zesilovač** – zajišťuje zesílení průtoku vzduchu při daném výstupním tlaku. Zesílení tlaku = obvykle 1.



V levé části obrázku blokové schéma, napravo konstrukce. Princip: Zařízení je napájeno dostatkem vzduchu  $p_0$ , vstupní tlak  $p_1$  se řídí pomocí  $h$  (převodník klapka->tryska), změna  $p_1$  ovlivní prohnutí membrán a následné vpuštění napájecího vzduchu membránou vychýlenou velkou kuličkou. Po vyrovnání tlaku  $p_1$  o  $p_v$  se kulička opět usadí v jamce. Ať je tedy spotřeba vzduchu na výstupu jakákoli, zesilovač se jí snaží v mezích možností zdroje  $p_0$  uspokojit při zachování konst.  $p_v$ .

## Parametry a charakteristiky průmyslových snímačů a převodníků.

### Snímače

Pomocí snímačů získáváme informace o stavech veličin. Nejvíce se používají snímače s výstupní veličinou mechanickou (výchylka, síla, tlak), nebo elektrickou (napětí proud nebo odpor). K snímači se připojuje

převodník, který převede výstupní veličinu na unifikovaný signál. Na přesnost snímačů se v regulaci kladou velké nároky. Jejich přesnost ovlivňuje nelinearita, hystereze, necitlivost, teplotní závislost, použitá měřící metoda.

## Teploty

### Dilatační

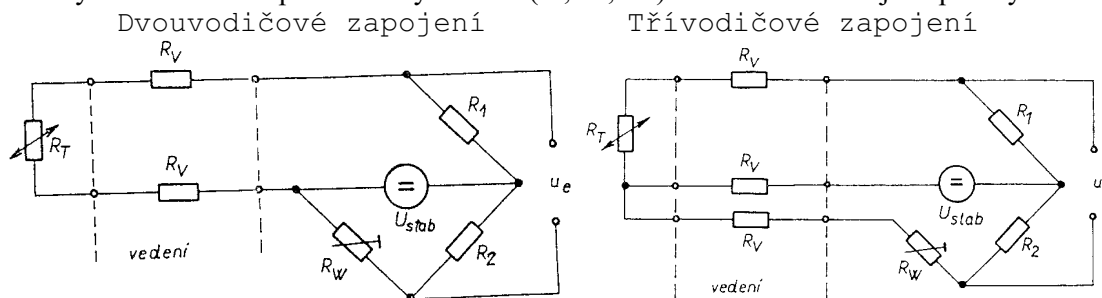
Objemová roztažnost kapalin nebo délková roztažnost tuhých látek. (rtuťové teploměry, tyčové teploměry, dvojkovovové). Použití – dvoupolohová regulace

### Tlakové

Změna teploty -> změna tlaku kapaliny, plynu nebo syté páry kapaliny.

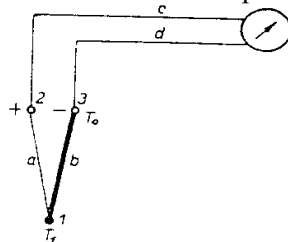
### Elektrické odporové

Teplotní změny elektrického odporu některých kovů (Pt, Ni, Cu). Měřicím členem je odporový můstek.



### Termoelektrické

Měří teplotu podle napětí termoelektrického článku. Jsou méně přesné než odporové.



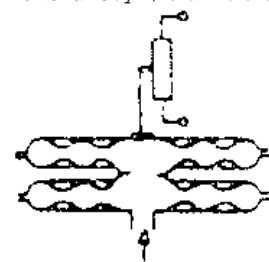
**Radiační** – měří teplotu podle tepelného záření vyslaného měřeným tělesem nebo prostředím.

## Tlaku

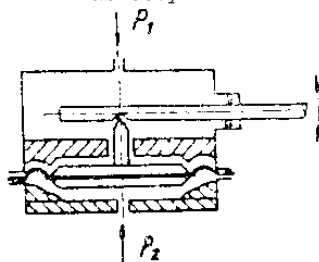
Používají se nejčastěji deformační snímače tlaku na principu membrány a vlnovce.

Snímače tlaku zleva doprava:

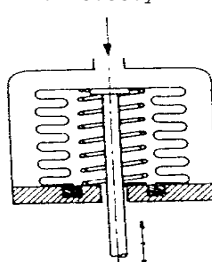
Membránový (rozdíl tlaku)



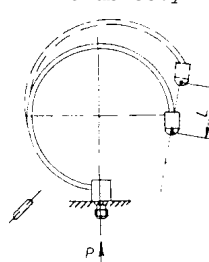
krabicový



vlnocový



trubicový



## Průtoku

### S převodem Q->delta P

Nejčastěji převádíme měření průtoku na měření rozdílu tlaků ve zvláštních škrticích zařízeních. Pro typizovaná škrtidla lze ve složitém vztahu mezi průtokem a změnou tlaku prohlásit za určitých podmínek mnoho proměnných za konstantní a průtok pak závisí na odmocnině rozdílu tlaků kapaliny před a za škrtidlem. Typická typizovaná škrtidla:

*Centrická zóna* – pro malé viskozity (vodní páry, vzduch apod.)

*Dýza ISA 1932* – pára o vysoké teplotě a tlaku

*Venturiho dýza* – ve vodárenství, všude kde je zapotřebí malá tlaková ztráta

*Segmentová clona* – pro nečisté kapaliny se sklonem k vytváření usazenin

### Ostatní

*Rotometr* – pro menší průtoky (plovák uprostřed stupnicí oceňované trubice)

*Indukční* – pro měření průtoku elektricky vodivých kapalin

## Hladiny

### **Plovákové**

Plovák plave na hladině a svou polohou udává její výšku.

### **S ponorným tělesem**

Plovák je ponořený a měří se velikost vztlakové síly, působící na plovák. Výška hladiny je přímo úměrná vztlakové síle (viz. Archimédes).

### **Podle hydrostatického tlaku**

Měří se tlak na určitém místě pod hladinou, čím je hladina vyšší, je i tlak vyšší - je zde úměrný součinu výšky hladiny a hustoty kapaliny.

### **Metoda vážení nádoby**

Pro sypké materiály v zásobnících, jako snímač slouží např. tenzometrický člen.

### **Kapacitní**

Měří se kapacita mezi sondou a stěnami nádoby s nevodivou kapalinou.

## Hustoty

Vychází z údajů většiny snímačů hladiny. Zachováváme konstantní hladinu při proměnlivé hustotě.

## Viskozity

### **Rotační**

Vyhodnocujeme odpor, který různě viskózní kapaliny kladou otáčivému tělesu vhodných tvarů.

### **Plovákové**

Vyhodnocuje se vzájemná poloha dvou plováků, různě citlivých na viskozitu.

### **Kapilární**

V kapiláře proudí kapalina, proudění musí být laminární. Viskozita je potom závislá pouze na rozdílu tlaků před a za kapilárou.

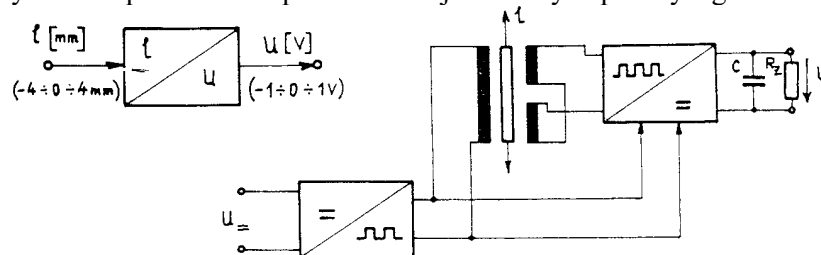
## **P ř e v o d n í k y**

Převodník je zařízení, které převádí výstupní veličinu ze snímače na některý z unifikovaných signálů. Vysílač je zařízení, kdy je snímač a převodník zapojen v jeden konstrukční celek.

## Elektrické

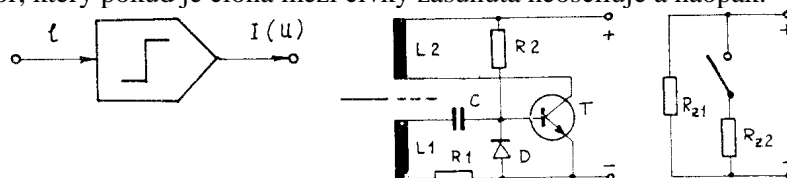
### **Indukční, polohy**

převádí změnu polohy malého přímočarého posuvu na stejnosměrný napěťový signál.



### **Bezkontaktní, polohy**

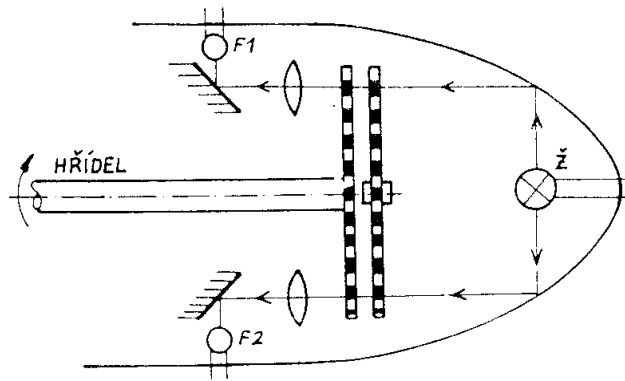
používá se v řídicích systémech obráběcích a montážních strojů, automatických linek, dopravníků,.... Tranzistorový oscilátor, který pokud je clona mezi cívky zasunuta neosciluje a naopak.



### **Rotační pulzní, polohy**

Používá se k snímání polohy otáčející se hřídele nebo snímání přímočarého pohybu. Odměrování polohy hřídele se převádí na sčítání impulsů inkrementálním způsobem. Pro rozlišení směru pohybu je nutné, aby na výstupu byly dva sledy pravouhlých impulsů, navzájem proti sobě fázově posunutých. Snímač pracuje na fotoelektrickém principu. Hlavní částí jsou dva kotouče. Jeden je pevně umístěn na hřídeli a je rovnoměrně dělen. Druhý kotouč je pevný (neotáčí se) tento kotouč je složen ze čtyř segmentů se stejným dělením jako

otáčející se kotouč na hřídeli, ale dělení každého následujícího segmentu je proti předcházejícímu posunuto o čtvrt rozteče..

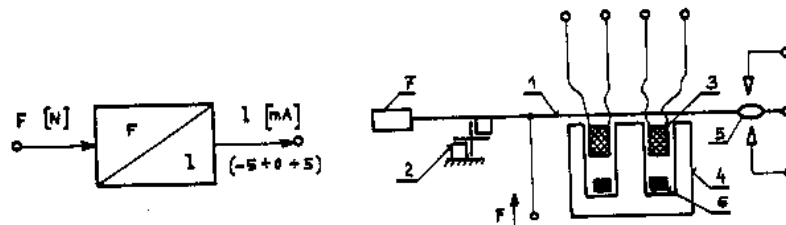


### Síly

Používají se kompenzační metody momentového či silového vyvážení – vysoká přesnost.

**Proudová váha** – pracuje na principu silového nebo momentového vyvážení

1-otočné rameno 2-křížový závěs 3-kruhová cívka 4-permanentní magnet 5-přepínací kontakt 6-bočnick 7-vyvažovací závaží



### Pneumatické

#### Elektropneumatický

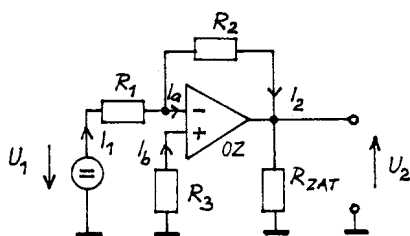
Velmi důležitý převodník - zajišťuje vazbu mezi elektrickým řízením a pneumatickým systémem – např. v průmyslu chemickém, petrochemickém apod. Vstupem bývá proud **I**, výstupem tlak **p**. Převodník se skládá z elektromagnetů, vlnovců a membrán vhodně uspořádaných – existují různé typy.

### Základní typy a konstrukce spojitých regulátorů

#### Konstrukce pomocí OZ

U spojitých analogových regulátorů se mění výstup v závislosti na vstupu spojitě. Základními prvky takovýchto regulátorů jsou prvky P,I,D,PI,PD,PID. Pokud uvažujeme ideální vlastnosti operačních zesilovačů v těchto prvcích, lze je popsat takto:

#### Proporcionální zesilovač - P

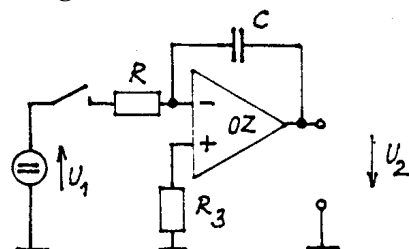


$$I_1 = I_2, \text{ kde } I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{-U_2}{R_2}$$

Výsledné napěťové zesílení je:

$$\frac{U_2}{U_1} = - \frac{R_2}{R_1}$$

#### Integrační zesilovač - I

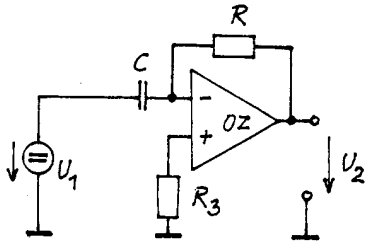


$$\frac{U_2}{U_1} = - \frac{Z_2}{Z_1}, \quad Z_1 = R \quad \text{a} \quad Z_2 = \frac{1}{pC}$$

Výsledné zesílení je tedy rovno:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{-1}{RCp} = \frac{-1}{T_i p}, \quad \text{kde } T_i = RC,$$

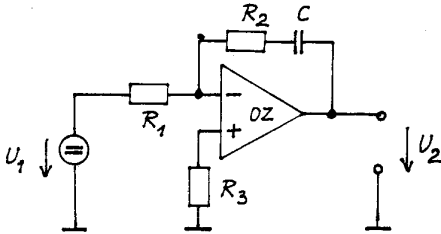
### Derivační zesilovač - D



$$\frac{U_2}{U_1} = -RCp = -T_d p, \quad \text{kde } T_d = RC,$$

$T_d$  je derivační časová konstanta.

### Zesilovač s přenosem PI



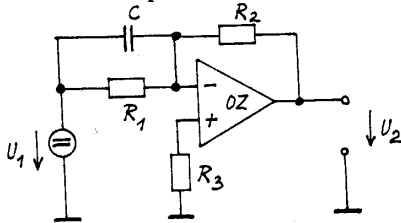
$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2 C p}\right) = -r_0 \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$$

kde:

$$r_0 = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{a} \quad T_i = R_2 C, \quad \text{kde}$$

$r_0$  je zesílení a  $T_i$  je integrační časová konstanta.

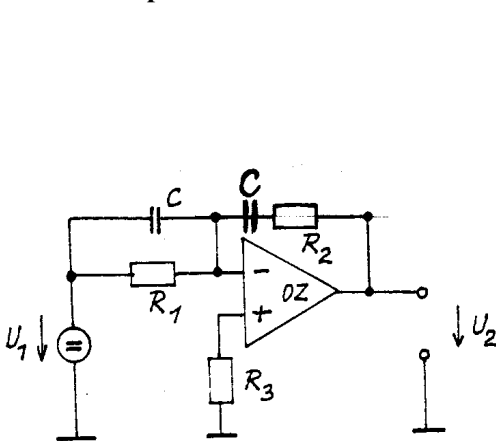
### Zesilovač s přenosem PD



$$\frac{U_2}{U_1} = -\left(pCR_2 + \frac{R_2}{R_1}\right) = -(pT_d + r_0), \quad T_d = CR_2, \quad r_0 = \frac{R_2}{R_1}$$

kde  $T_d$  je derivační časová konstanta,  $r_0$  je zesílení.

### Zesilovač s přenosem PID



$$\frac{U_2}{U_1} = -\left[\left(\frac{R_2}{R_1} + 1\right) + \frac{1}{pCR_1} + pCR_2\right] = -(r_0 + \frac{r_{-1}}{p} + r_1 p) =$$

$$= -r_0 \left(1 + \frac{1}{pT_i} + pT_d\right)$$

kde  $r_0 = \frac{R_2}{R_1} + 1$  ... zesílení

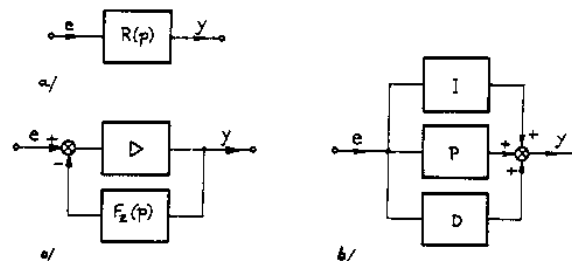
$r_{-1} = \frac{1}{CR_1}$  ... integrační konstanta

$r_1 = CR_2$  ... derivační konstanta

$T_i = r_0 / r_{-1}$  ... integrační časová konstanta

$T_d = r_1 / r_0$  ... derivační časová konstanta.

### Způsoby konstrukce regulátoru



a) obecný ústřední člen regulátoru (například jen P regulátor s přenosem  $R(p) = r_0$ )

b) kombinace P, PI, PD či PID nejnáze vzniknou paralelním řazením základních členů P,I,D

c) požadovaného přenosu lze dosáhnout zapojením vhodného prvku do zpětné vazby na jediném OZ

### Konstrukce paralelním řazením základních členů

V praxi je paralelní zapojení členů velmi používané. Výhoda: možnost samostatně nastavovat zesílení jednotlivých prvků.

Přenos regulátoru:  $R(p)=P(p)+D(p)+I(p)$

Tedy:

$$R(p) = r_0 + r_1 p + r_{-1} \frac{1}{p}$$

Vyjádřením časových konstant je:

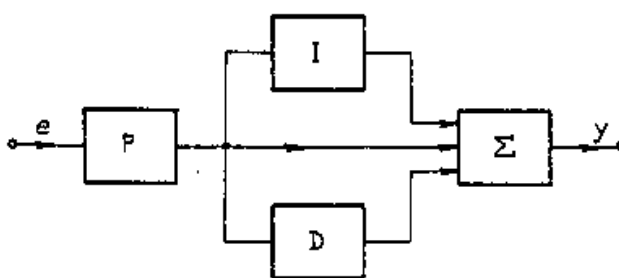
$$R(p) = r_0 \left( 1 + T_d p + \frac{1}{T_i p} \right),$$

kde  $r_0$  ... proporcionální složka (zesílení)

$$T_d = \frac{r_1}{r_0} \quad \dots \text{derivace časová konstanta}$$

$$T_i = \frac{r_0}{r_{-1}} \quad \dots \text{integrační časová konstanta}$$

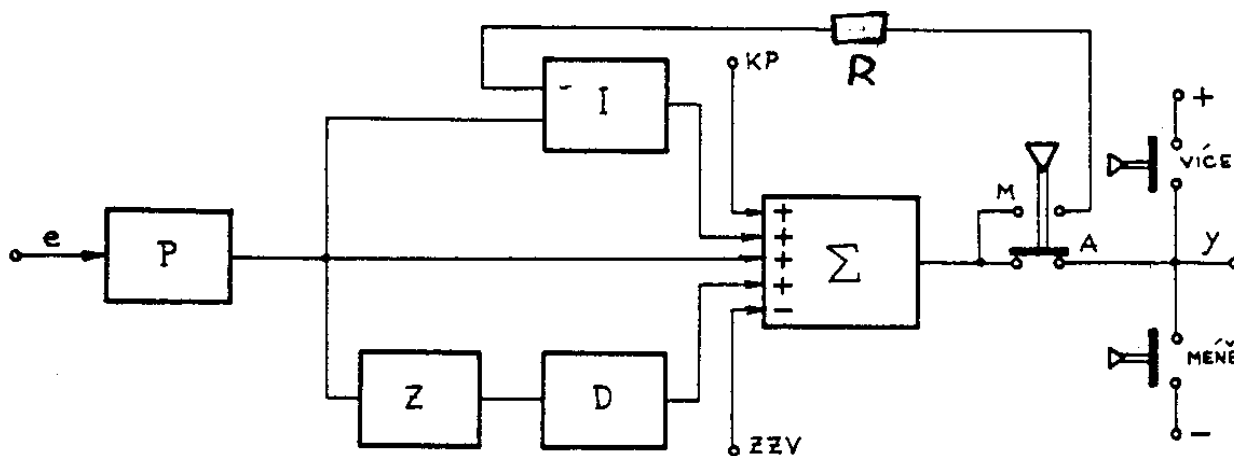
Praktické zapojení regulátoru PID, tak jak se v praxi používá je uvedena na následujícím obrázku.



## Obvod beznárazového přepnutí, zpětná vazba od pohonu.

### Obvod beznárazového přepnutí

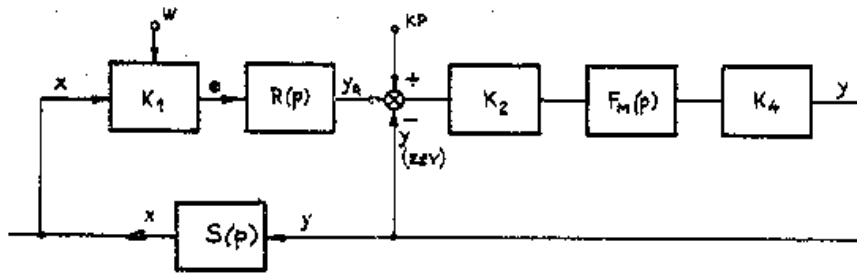
Používá se pro přepínání ovládání regulátoru z ručního na automatické. Jak je patrné z obrázku, po dobu ručního ovládání působí odchylka  $e$  na vstupy P, I a D členů regulátoru. Napětí na výstupech těchto členů, spolu se zápornou zpětnou vazbou od polohy regulačního orgánu (ZZV) a s přidavným napětím, určujícím klidovou polohu regulačního orgánu (KP), jsou zesilována sčítacím zesilovačem. Výstup často vývá v saturaci. Pokud se podaří ručním řízením přivést regulační obvod do rovnovážného stavu ( $e=0$ ), bývá výstup integračního členu již v saturaci. Na výstupu součtového členu je pak napětí, které při přepnutí z manuálního na automatické řízení způsobí změnu polohy regulačního orgánu. **Nulové napětí na výstupu zajistí záporná zpětná vazba pomocí R na integrační člen.** (R – odpor malé hodnoty)



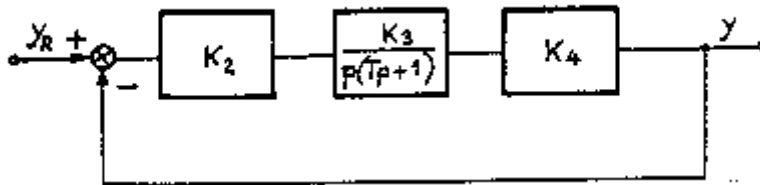
### Zpětná vazba od pohonu

Situace: Na výstupu regulátoru je akční veličina, akční veličina dále ovládá servomotor, servomotor mění stav regulované soustavy. Problém: Přenos servomotoru (pohonu) je integrační s jednodukapacitním zpožděním  $1/[p(Tp+1)]$ , tedy astatický. To odporuje požadavkům syntézy regulačního obvodu a je nutné astaticismus odstranit. Servomotor potřebujeme. Jak tedy? Zavedeme zápornou zpětnou vazbu v podstatě z výstupu

servomotoru na vstup servomotoru (kolem servomotoru jsou jenom konstanty (zesilovač servomotoru  $K_2$ , lineární konstanta poloha servomotoru/velikost akční veličiny  $K_4$ )). Zápornou zpětnou vazbou (ZZV) získáme statický přenos 2.řádu, který, jelikož je statický, vyhovuje. Typické zapojení soustavy:



Na obrázku jsou zobrazeny body KP a ZZV, které odpovídají symbolům u obvodu beznáraz.přep. Na následujícím obrázku je pro ilustraci jen zapojení pohonu (akčního členu) se ZZV:



## Základní typy a konstrukce nespojitých regulátorů.

### Bez zpětné vazby

Nejjednodušší, pro méně náročné regulace (např. jednoduché elektrické topení)

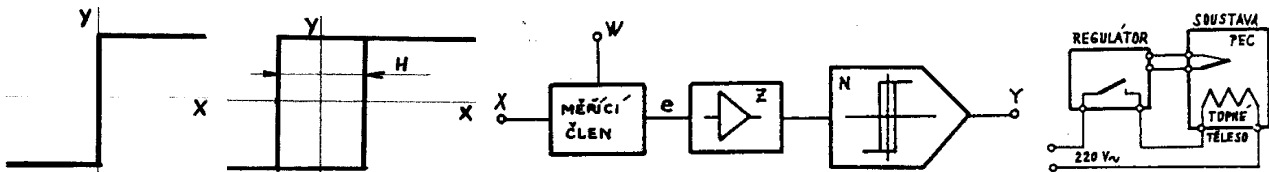
#### **Dvupolohový regulátor**

Bez hysterese

S hysterézí

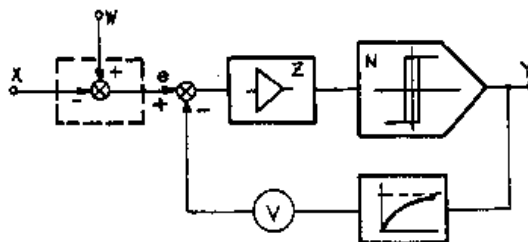
Schéma regulátoru

Regulátor + soustava



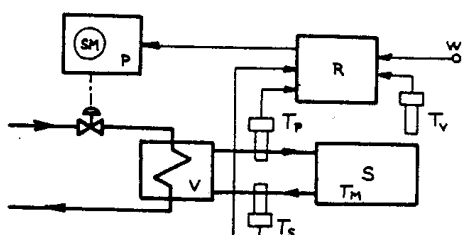
### Se zpětnou vazbou

Při velkých překmitech regulované veličiny se zavede zpětná vazba, ve které je obvod (jakýsi model regulované soustavy), který předvídá chování soustavy dříve, než ve skutečné soustavě dojde k nežádoucímu překmitu a způsobí včasné přepnutí regulátoru.



### Ekvitermní regulace.

Slouží k regulaci ústředního vytápění. (K regulaci přívodu tepla do výměníku v závislosti na venkovní teplotě a na teplotě vody v sekundárním okruhu otopné soustavy.)



- $T_p$  ... teplota přívodní vody
- $T_v$  ... venkovní teplota
- $T_m$  ... teplota místnosti uvnitř otopné soustavy
- R ... regulátor
- S ... regulovaná otopná soustava
- V ... výměník tepla
- P ... elektrický pohon ventilu

Cílem regulace je udržet teplotu místnosti  $T_m$  na konstantní teplotě i při změnách venkovní teploty  $T_v$ . Regulovanou veličinou je teplota přívodní vody do otopné soustavy.



## Algoritmy samonastavování

Cílem těchto algoritmů v číslicových PSD regulátorech je, aby regulátor po připojení na soustavu sám našel optimální hodnoty konstant regulátoru. Při větších výkyvech žádané veličiny, regulované veličiny nebo případných poruchách je též vhodné adaptovat parametry regulátoru

Regulátory využívají přírůstkového tvaru PID (viz. níže), konstanty pro výpočet se získávají různě:

- **Ziegler-Nichols**
- **podle průběhu přechodové charakteristiky**
- **vyhodnocením míry kmitavosti nebo tlumení regulační odchylky**
- **zjištění globální časové konstanty (pomalost regulačního procesu)** – úměrně nastavuje časovou konstantu regulátoru
- **kompenzace zesílení regulované soustavy**

*Algoritmy jsou velmi složité – mnoho stránek A4*

### **Přírůstkový tvar PID regulátoru:**

Chování spojitého ideálního PID regulátoru vyjadřuje známá rovnice:

$$u(t) = K_p(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt})$$

kde  $u$  je akční veličina,  $e$  regulační odchylka,  $K_p$  zesílení regulátoru,  $T_I$  integrační a  $T_D$  derivační časová konstanta.

Při realizaci PID regulačního zákona číslicově, je nutné tuto rovnici aproximovat. Integrál se obvykle nahrazuje součtem podle lichoběžníkového nebo obdélníkového pravidla a derivace diferencí. Obě aproximace fungují s periodou algoritmu  $T_0$ . Tak vznikne číslicový PID regulátor (výstižněji PSD).

Se zvětšováním  $T_0$  se vlastnosti číslicového PID regulátoru liší od jeho analogového vzoru. Doporučuje se volit periodu algoritmu  $T_0$  asi desetinu doby náběhu  $T_n$  nebo přibližně rovnou době průtahu  $T_u$ .

Mechanismus činnosti číslicového PID regulátoru vyjadřuje při  $t=kT_0$  tzv. absolutní (nerekurzivní) tvar zpětné vazby:

$$u(k+1) = K_p(e(k) + \frac{T_0}{T_I} (\frac{e(0)+e(k)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1} e(i))) + \frac{T_D}{T_0} (e(k) - e(k-1)))$$

náhradou integrace součtem použitím lichoběžníkového pravidla nebo:

$$u(k+1) = K_p(e(k) + \frac{T_0}{T_I} \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + \frac{T_D}{T_0} (e(k) - e(k-1)))$$

při použití obdélníkového pravidla.

Rozdíl  $u(k+1) - u(k)$  definuje výpočetně výhodnější tzv. standardní (rekurzivní) přírůstkový tvar PID:

$$\Delta u(k+1) = K_p(\Delta e(k) + \frac{T_0}{2T_I} (e(k) - e(k-1))) + \frac{T_D}{T_0} \Delta^2 e(k)$$

nebo:

$$\Delta u(k+1) = K_p(\Delta e(k) + \frac{T_0}{T_I} e(k-1) + \frac{T_D}{T_0} (\Delta^2 e(k)))$$

podle způsobu aproximace integrálu (lichoběžníkové, obdélníkové pravidlo). Kromě uvedených aproximací je možné použít při náhradě integrálu Simpsonovo pravidlo, u derivace je to dále aproximace tříbodovou parabolou nebo použití metody nejmenších čtverců pro aproximaci pětibodovou parabolou.

Někdy je nutné provádět modifikaci uvedených tvarů PID zákona. Např. při velkých změnách žádané hodnoty  $w$  se používá tvaru:

$$\Delta u(k+1) = K_p(\Delta e(k) + \frac{T_0}{T_I} e(k-1) + \frac{T_D}{T_0} \Delta^2 y(k))$$

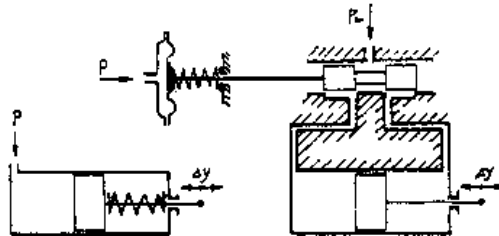
# Pneumatické a hydraulické akční členy

## Pneumatické akční členy

### Pneumatické servomotory

Pracují na principu silového účinku tlaku vzduchu na plochu pístu nebo membrány. Výhoda oproti elektrickým servomotorům – větší silové účinky. Nevýhoda – malá přestavná délka.

*Pístový servomotor:*



Princip jednočinného a dvojjinného pístového servomotoru

## Hydraulické akční členy

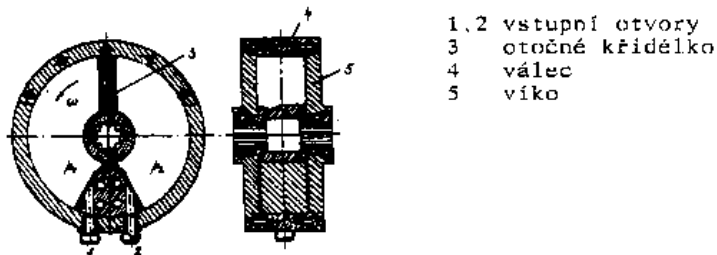
### Hydraulické servomotory

Jsou nedílnou součástí strojů a zařízení. Schopnost vyvinout značné síly při relativně malých rozměrech.

*Pístový:* používá se většinou dvojjinný, podobně jako u pneu, konstrukce je přizpůsobena jinému médium – kapalině.

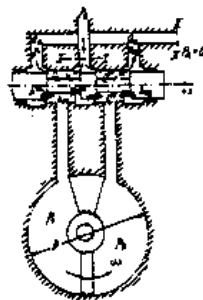
*S rotačním pohybem:*

Hydraulický servomotor s rotačním pohybem je znázorněn na obr. 10.24. Na jeho hřídeli je připevněno křídélko, které se může otáčet ve válci od 0 do 300°. Dělí tak válcový prostor na dvě části. Jeho poloha je závislá na rozdílu tlaků  $p=p_1-p_2$  pracovní kapaliny přiváděné otvory 1 a 2.



Obr. 10.24 Hydraulický servomotor s rotačním pohybem

Rozvod pracovní kapaliny se i v tomto případě provádí pomocí šoupátka, jak je znázorněno na obr. 10.25.



$p_0$  vstupní tlak  
 $p_a$  výstupní tlak  
 $Q_0$  množství pracovní kapaliny na vstupu  
 $Q_a$  množství pracovní kapaliny na výstupu  
 $h$  změna polohy šoupátka  
 $p_1, p_2$  tlaky v odpovídajících částech pracovního prostoru servomotoru

Obr. 10.25 Rozvod pracovní kapaliny do rotačního servomotoru se šoupátkem

### Literatura:

- Stříbrský, Skočdopole, Hyniová: „Technické prostředky pro řízení“. Skripta. Vydavatelství ČVUT FEL, Praha 1994.
- Přednášky „Instrumentace procesů“, asi 1995/6.