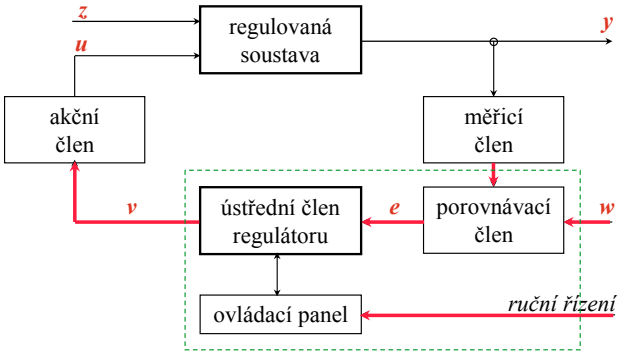
REGULACE

- **přenosové cesty**
- **akční členy**
- **regulátory**
- **regulační pochod**

Přenosové cesty

standardní signály

Blokové schéma regulačního obvodu



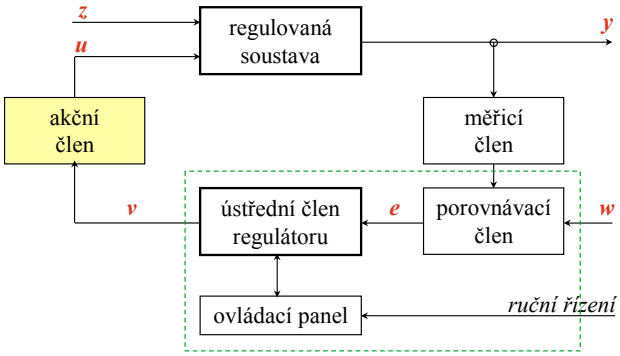
Standardní analogové signály pro přenos informace v obvodech MaR:

- elektrický proudový: 0-5 mA 0-20 mA **4-20 mA**
- elektrický napěťový: 0-10 V 2-10 V 1-5 V
- pneumatický: tlak vzduchu **20-100 kPa**

Akční členy

obecné vlastnosti akčního členu
regulační ventil

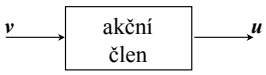
Blokové schéma regulačního obvodu



y ... regulovaná veličina
z ... porucha
u ... akční veličina
w ... žádaná hodnota regulované veličiny
e ... regulační odchylka
v ... výstup z regulátoru

Obecné vlastnosti akčního členu

Blokové schéma:



v ... vstup (signál z regulátoru), ***u*** ... výstup (zásah do regulované soustavy)

Dynamické chování lineárního akčního členu:

a) ideální - jako soustava 0.řádu

$$u = r_A . v$$

r_A ... zesílení akčního členu

b) reálné - obvykle jako soustava 1.řádu

$$T_A \frac{du}{dt} + u = r_A . v \quad , \quad u(0) = r_A . v(0)$$

T_A ... časová konstanta akčního členu

Regulační ventil

průtočná charakteristika
technický popis

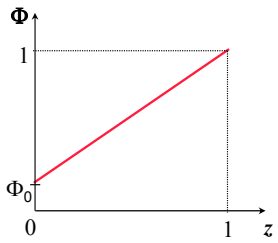
Průtočná charakteristika regulačního ventilu

průtočná charakteristika obecně:

$$Q = f(x)$$

(Q ... průtok ventilem, x ... zdvih, tj. míra otevření ventilu)

požadavek: lineární průtočná charakteristika



bezrozměrný průtok: $\Phi = \dfrac{Q}{Q_{max}}$

bezrozměrný zdvih: $z = \dfrac{x}{x_R}$

(x_R ... jmenovitý zdvih)

Φ_0 ... netěsnost ventilu

Matematické vyjádření $Q = f(x)$

základní rovnice:

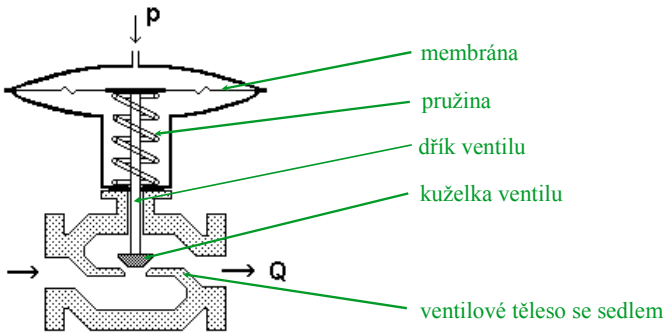
$$Q = 0.1\, K_V \left(\Phi_0 + m\,.\,z\right)\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \qquad (\mathrm{m^3/h})$$

K_V ... jmenovitá kapacita ventilu (m³/h) - *udává výrobce*
Φ_0 ... netěsnost ventilu (max. 0.02) (1)
$z = x / x_R$ ... zdvih ventilu (1) - x_R *udává výrobce*
m ... sklon (směrnice) charakteristiky (0.98) (1)
Δp ... tlakový spád na ventilu (Pa)
ρ ... hustota protékající kapaliny (kg/m³)

zjednodušená rovnice ($\Phi_0 = 0$ a $m = 1$):

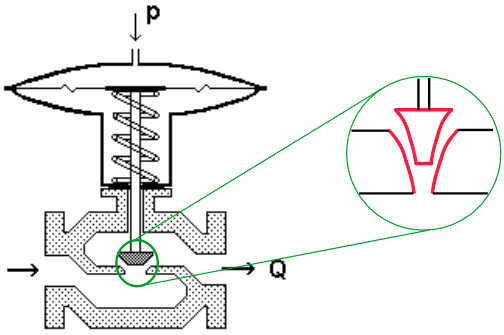
$$Q = 0.1\, K_V z \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \qquad (\mathrm{m^3/h})$$

Schématický řez regulačním ventilem s pneumatickým pohonem



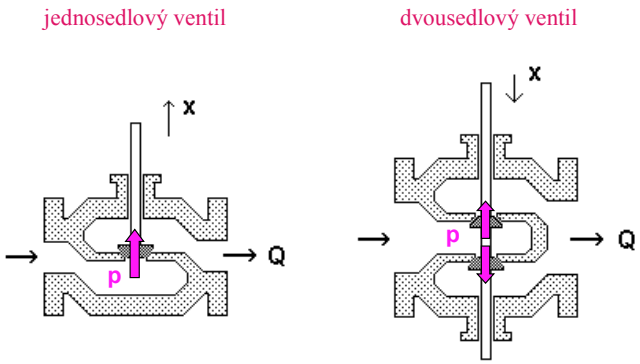
p ... ovládací tlak , **Q** ... průtok kapaliny

Schématický řez regulačním ventilem s pneumatickým pohonem



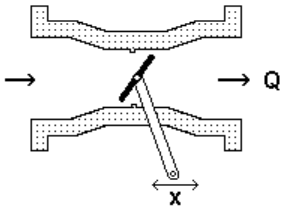
p ... ovládací tlak , **Q** ... průtok kapaliny

Schématický řez tělesem ventilu



x ... zdvih kuželky , **Q** ... průtok kapaliny

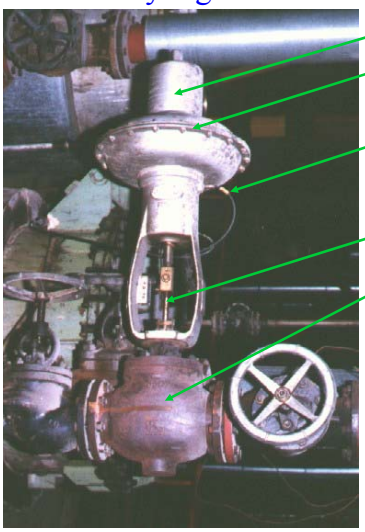
Regulační klapka



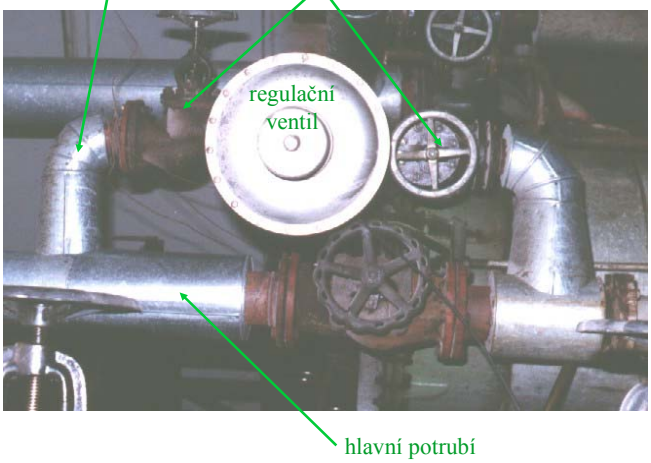
x ... ovládací zdvih , **Q** ... průtok kapaliny

závislost **Q = f(x)** **je nelineární**

Pneumatický regulační ventil



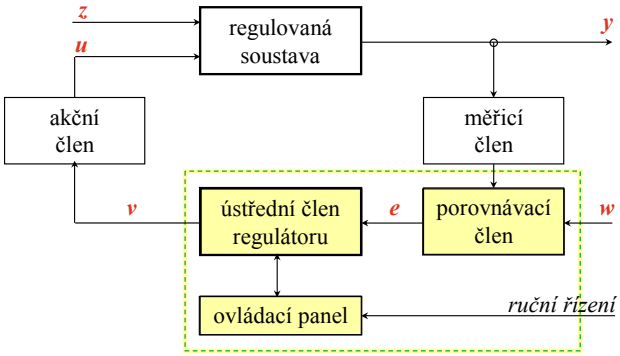
Montáž regulačního ventilu do potrubí



REGULACE

- **zpětnovazební regulační obvod**
- **ústřední člen regulátoru**
- **regulační pochod**
- **nastavování parametrů regulátoru**

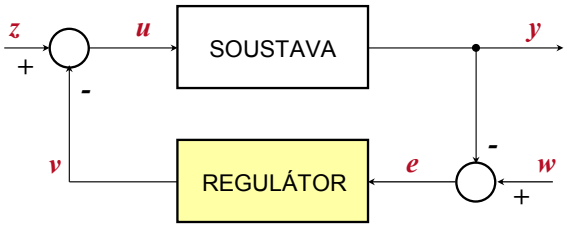
Blokové schéma regulačního obvodu



y ... regulovaná veličina
z ... porucha
u ... akční veličina
w ... žádaná hodnota regulované veličiny
e ... regulační odchylka
v ... výstup z regulátoru

Zpětnovazební regulační obvod

Blokové schéma zpětnovazebního regulačního obvodu



ústřední člen regulátoru

Vlastnosti ústředního členu regulátoru

rovnice chování **ideálního** ústředního členu regulátoru, **bez interakce**

$$v = r_0.e(t) + r_{-1}.\int_0^{\tau} e(t).dt + r_1.\frac{de(t)}{dt}$$

P **I** **D**

e ... regulační odchylka
v ... výstup regulátoru
r_0 ... zesílení regulátoru (proporcionální konstanta)
r_{-1} ... integrační konstanta regulátoru
r_1 ... derivační konstanta regulátoru

přenosová funkce:

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

Vlastnosti ústředního členu regulátoru

rovnice chování **ideálního** ústředního členu regulátoru, **s interakcí**

$$v = r_0\left[e(t) + \frac{1}{T_i}\int_0^{\tau} e(t).dt + T_d\frac{de(t)}{dt}\right]$$

P **I** **D**

e ... regulační odchylka
v ... výstup regulátoru
r_0 ... zesílení regulátoru (proporcionální konstanta)
T_i ... integrační časová konstanta regulátoru
T_d ... derivační časová konstanta regulátoru

přenosová funkce:

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

Vlastnosti ústředního členu regulátoru

rovnice chování **reálného** ústředního členu regulátoru, **s interakcí**

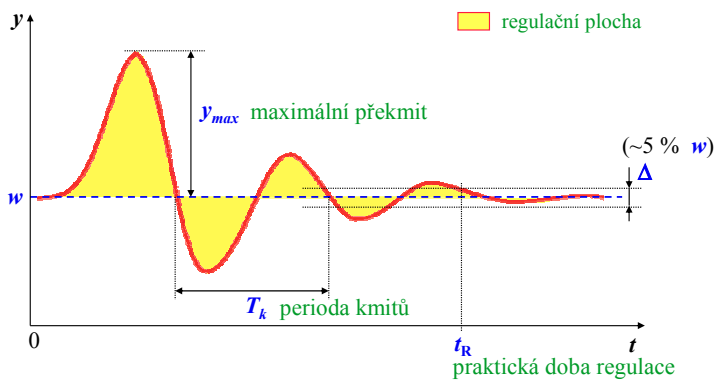
$$T_{ZR}\frac{dv}{dt}+v=r_0\left[e(t)+\frac{1}{T_i}\int_0^{\tau}e(t).dt+T_d\frac{de(t)}{dt}\right]$$

e ... regulační odchylka
v ... výstup regulátoru
r_0 ... zesílení regulátoru (proporcionální konstanta)
T_i ... integrační časová konstanta regulátoru
T_d ... derivační časová konstanta regulátoru
T_{ZR} ... časová konstanta (zpoždění) regulátoru

pásmo proporcionality pp (jiný způsob vyjádření zesílení) :

$$pp=\frac{100}{r_0}\quad(\%)$$

Regulační pochod



kvadratické integrální kritérium kvality regulace $I_2=\int_0^{\infty}[y(t)-y_\infty]^2.dt$

Regulační pochod

Kvalitu regulace lze ovlivnit :

- **volbou typu regulátoru**
  tj. výběrem ústředního členu vhodných vlastností
- **nastavením konstant regulátoru**
  tj. přizpůsobením dynamického chování regulátoru dynamickému chování soustavy

Volba typu regulátoru

P levný, pro méně náročné aplikace, snadno se nastavuje,
pracuje s trvalou regulační odchylkou

PI nejběžnější, pro středně náročné aplikace se středně rychlými změnami regulované veličiny a astatické soustavy, nastavuje se obtížněji,
pracuje bez trvalé regulační odchylky

PID pro nejnáročnější aplikace s rychlými změnami regulované veličiny a astatické soustavy, poměrně obtížně obtížně se nastavuje,
pracuje bez trvalé regulační odchylky

PD málo používaný, pro aplikace s rychlými změnami regulované veličiny,
pracuje s trvalou regulační odchylkou

Současná nabídka trhu:
univerzální mikropočítačové regulátory PID,
konkrétní typ ústředního členu se volí programem

Nastavení konstant regulátoru

A) podle Zieglera a Nicholse

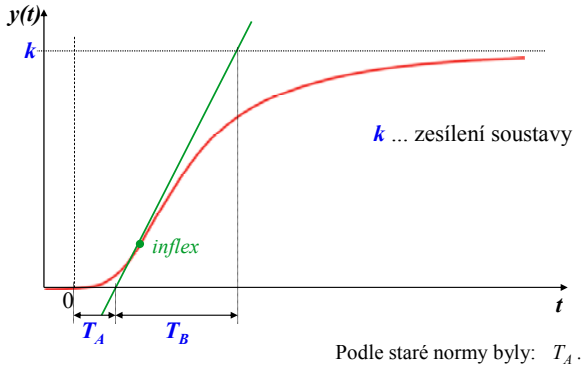
1. vyřadíme **I** a **D** složku
2. zvyšujeme zesílení regulátoru r_0 tak dlouho, až obvod začne kmitat netlumenými kmity - toto zesílení je kritické zesílení $r_{0\ krit}$
3. z průběhu regulované veličiny zjistíme periodu netlumených kmitů T_{krit}
4. konstanty regulátoru určíme podle tabulky (jedna z možných):

	r_0	T_i	T_d
P	$0.5\ r_{0\ krit}$	---	---
PI	$0.45\ r_{0\ krit}$	$0.83\ T_{krit}$	---
PID	$0.6\ r_{0\ krit}$	$0.5\ T_{krit}$	$0.12\ T_{krit}$

Nastavení konstant regulátoru

B) grafickým vyhodnocením přechodové funkce

soustava vyššího řádu, statická



Podle staré normy byly: T_A ... *doba průtahu*
T_B ... *doba náběhu*

Nastavení konstant regulátoru

B) grafickým vyhodnocením přechodové funkce

(k ... zesílení soustavy, T_A , T_B ... doby odečtené z grafu)

konstanty regulátoru se určí z tabulky :

	r_0	T_i	T_d
P	$\frac{1}{k}\frac{T_B}{T_A}$	---	---
PI	$0.9\frac{1}{k}\frac{T_B}{T_A}$	$3.5\ T_A$	---
PID	$1.25\frac{1}{k}\frac{T_B}{T_A}$	$2\ T_A$	$0.5\ T_A$

(z několika existujících tabulek je tato nejjednodušší)

Nastavení konstant regulátoru

Současný trend :

samonastavující se mikropočítačové regulátory

- vyšlou do soustavy definovaný signál (akční zásah),
- vyhodnotí odezvu, tj.vypočtou hodnotu určitého kritéria,
- nastaví hodnoty konstant (zesílení, integrační a derivační konstanta) tak, aby se dosáhlo požadované hodnoty tohoto kritéria