

cvičení 4 – pracovní verze

SVM Servomechanismy

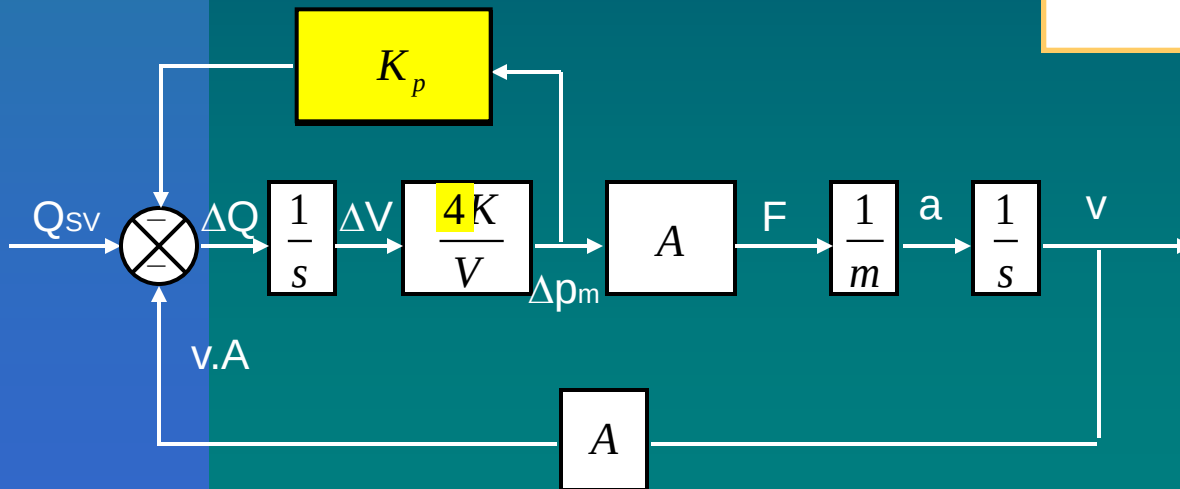
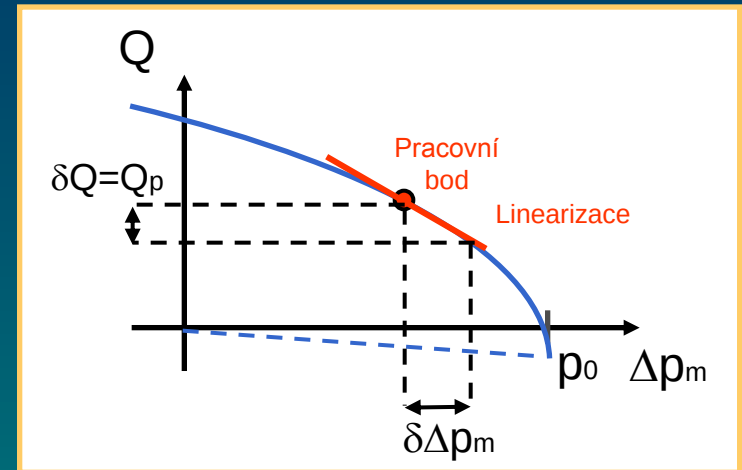
Ing. Radomír Mendřický, Ph.D.

TLUMENÍ

- Tlumení hydraulického válce
- Tlumení rotačního hydromotoru

Model motoru

- Pro jednoduchost neuvažujeme K_z
- Schema pro min. tuhost (v místě 1/2)



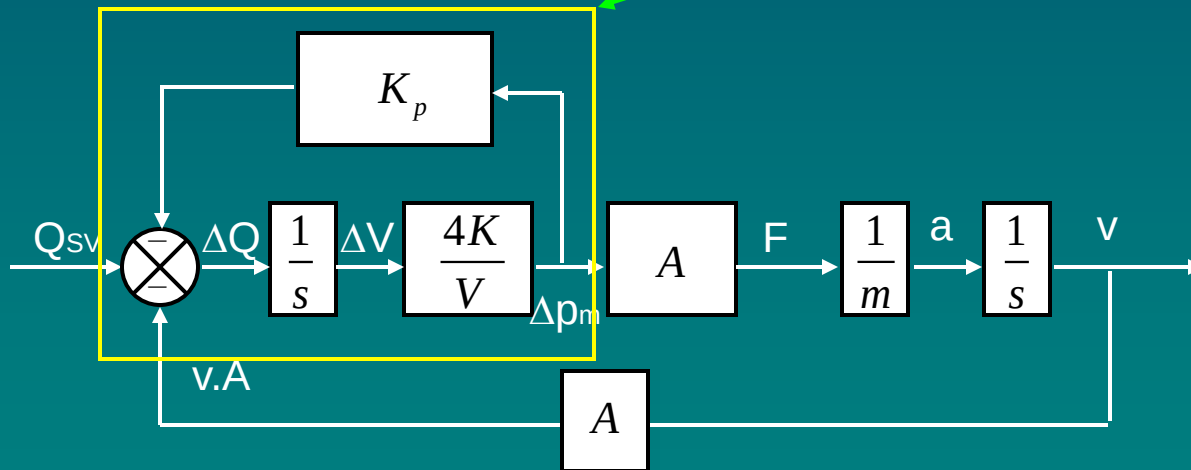
$$K_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta p_m} \right)_{\Delta p_m}$$

Tlumení

- Pro odvození tlumení si spočítáme přenos (2. řádu) motoru

Do normovaného tvaru

$$\frac{\Delta p_m}{Q_{sv}} = \frac{\frac{4K}{V \cdot s}}{1 + \frac{4K \cdot K_p}{V \cdot s}} = \frac{4K}{V \cdot s + 4K \cdot K_p} = \frac{\frac{1}{K_p}}{\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1}$$

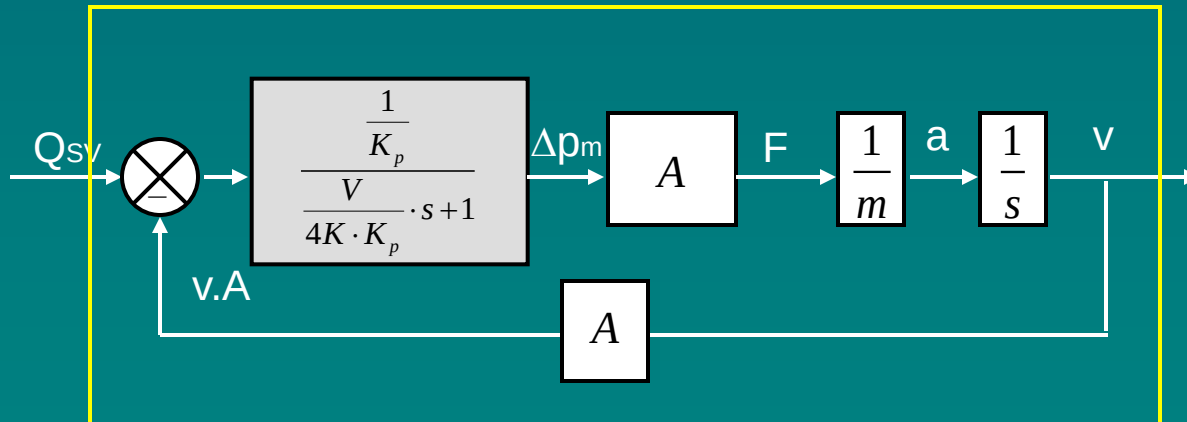


Tlumení

- Pro odvození tlumení si spočítáme přenos (2. řádu) motoru

$$\frac{v}{Q_{SV}} = \frac{\frac{\frac{1}{K_p}}{\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1} \cdot \frac{A}{m \cdot s}}{1 + \frac{\frac{1}{K_p}}{\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1} \cdot \frac{A}{m \cdot s} \cdot A} = \frac{\frac{A}{K_p}}{\left(\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1 \right) \cdot m \cdot s + \frac{A^2}{K_p}} = \frac{\frac{A}{K_p}}{\frac{V \cdot m}{4K \cdot K_p} \cdot s^2 + m \cdot s + \frac{A^2}{K_p}} =$$

roznásobíme



Tlumení

- Pro odvození tlumení si spočítáme přenos (2. řádu) motoru

$$\frac{v}{Q_{SV}} = \frac{\frac{\frac{1}{K_p}}{\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1} \cdot \frac{A}{m \cdot s}}{1 + \frac{\frac{1}{K_p}}{\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1} \cdot \frac{A}{m \cdot s} \cdot A} = \frac{\frac{A}{K_p}}{\left(\frac{V}{4K \cdot K_p} \cdot s + 1 \right) \cdot m \cdot s + \frac{A^2}{K_p}} = \frac{\frac{A}{K_p}}{\frac{V \cdot m}{4K \cdot K_p} \cdot s^2 + m \cdot s + \frac{A^2}{K_p}} =$$

roznásobíme

Do normovaného tvaru

$$= \frac{\frac{1}{A}}{\underbrace{\frac{V \cdot m}{4K \cdot A^2}}_{\frac{1}{\Omega^2}} s^2 + \underbrace{\frac{m \cdot K_p}{A^2}}_{\frac{2\xi}{\Omega}} s + 1}$$

Tlumení – „frekvence“

$$\frac{v}{Q_{SV}} = \frac{\frac{1}{A}}{\frac{V \cdot m}{4K \cdot A^2} \cdot s^2 + \frac{m \cdot K_p}{A^2} \cdot s + 1}$$

$\frac{1}{\Omega^2}$

- Z toho frekvence je:

$$\frac{1}{\Omega^2} = \frac{V \cdot m}{4K \cdot A^2} \quad \Omega = \sqrt{\frac{4K \cdot A^2}{V \cdot m}}$$

=

- Minimální tuhost válce byla (odvozeno na minulém cvičení)

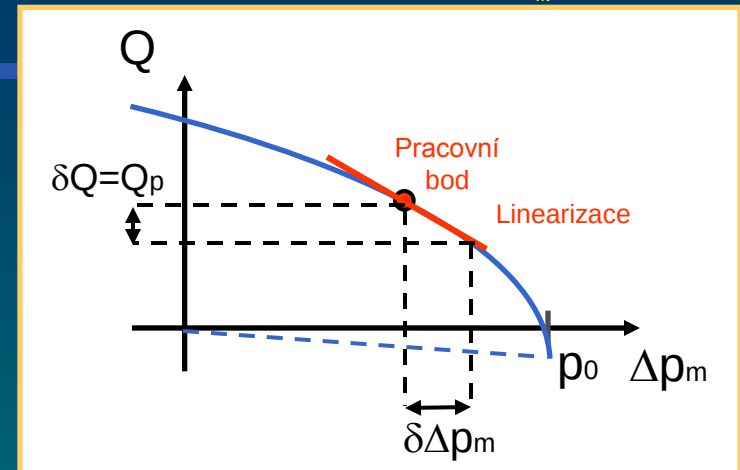
$$k_{cMIN} = \frac{4 \cdot K \cdot A^2}{V}$$

Tlumení

$$\frac{v}{Q_{SV}} = \frac{\frac{1}{A}}{\frac{V \cdot m}{4K \cdot A^2} \cdot s^2 + \frac{m \cdot K_p}{A^2} \cdot s + 1}$$

$\frac{2\xi}{\Omega}$

$$K_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial \Delta p_m} \right)_{\Delta p_m}$$



- Z toho tlumení je:

$$\frac{2\xi}{\Omega} = \frac{m \cdot K_p}{A^2} \quad \xi = \frac{\Omega}{2} \cdot \frac{m \cdot K_p}{A^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4K \cdot A^2}{V \cdot m}} \cdot \frac{m \cdot K_p}{A^2} = \frac{K_p}{A} \sqrt{\frac{K \cdot m}{V}}$$

Konstanta **C**

- Tlumení je úměrné jen K_p (sklonu průtokové charakteristiky v pracovním bodě)

$$\xi = K_p \cdot C$$

Jak je tlumení veliké?

■ Příklad

Válec $\varnothing D = 44\text{mm} \rightarrow A = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{m}^2$
 $L = 1\text{m} \rightarrow V = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{m}^3$
 $m = 50\text{kg}$

Výpočtem dostaneme, že tlumení je

$$\xi = K_p \cdot 4,39 \cdot 10^9$$

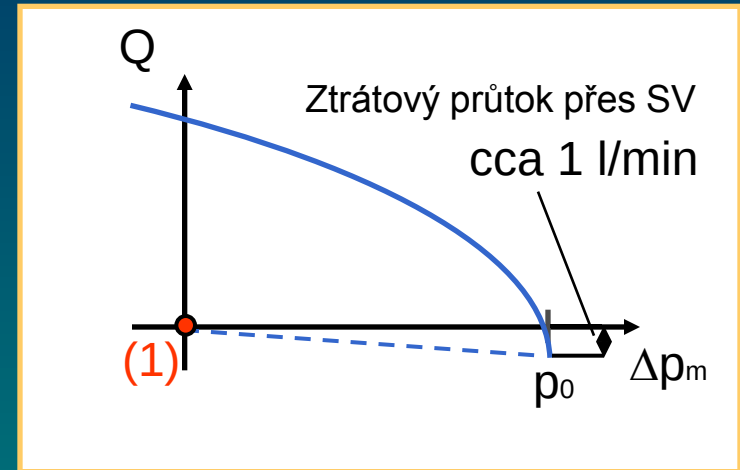
Pozn.: Zdá se velké, ALE K_p je velmi malé

$$(1) \quad K_p(\Delta p_m = 0, Q = 0) = \frac{1 \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right]}{10 [\text{MPa}]} = \frac{1}{\frac{1000 \cdot 60}{10^7}} = 1,67 \cdot 10^{-12}$$

$$\xi = 1,67 \cdot 10^{-12} \cdot 4,39 \cdot 10^9 = \underline{7,3 \cdot 10^{-3}}$$

V podstatě tlumení NULA

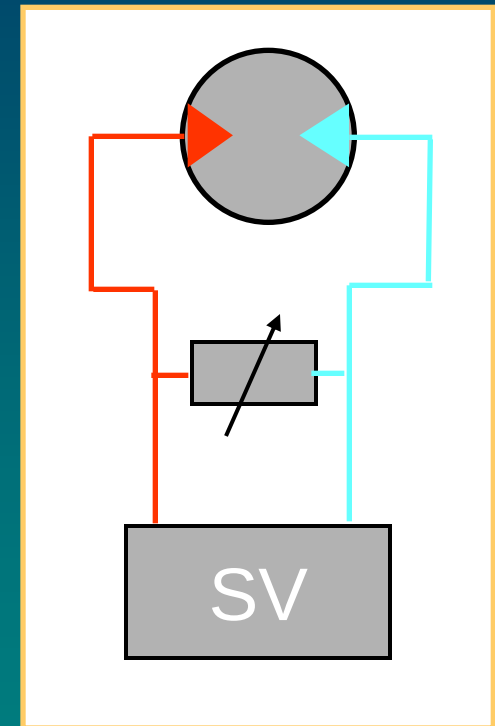
Pro model se používá $\xi \cong 0,05$



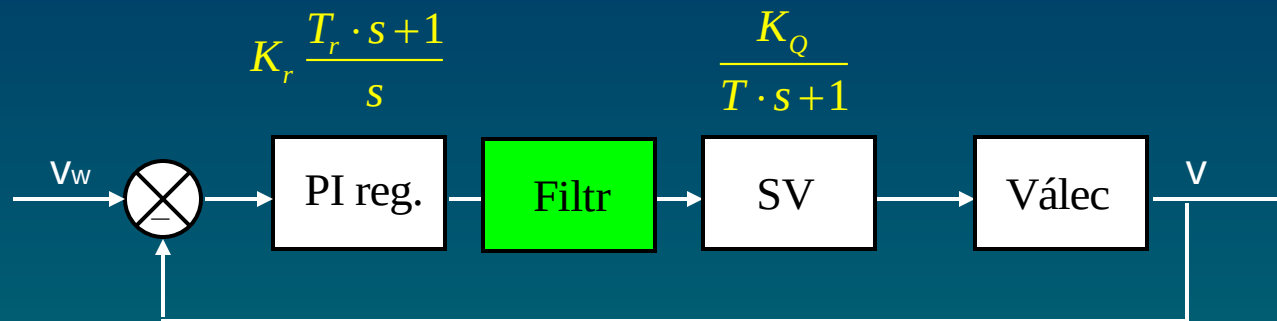
$$p_0 = 10\text{MPa}$$

Stabilizace hydraulického válce

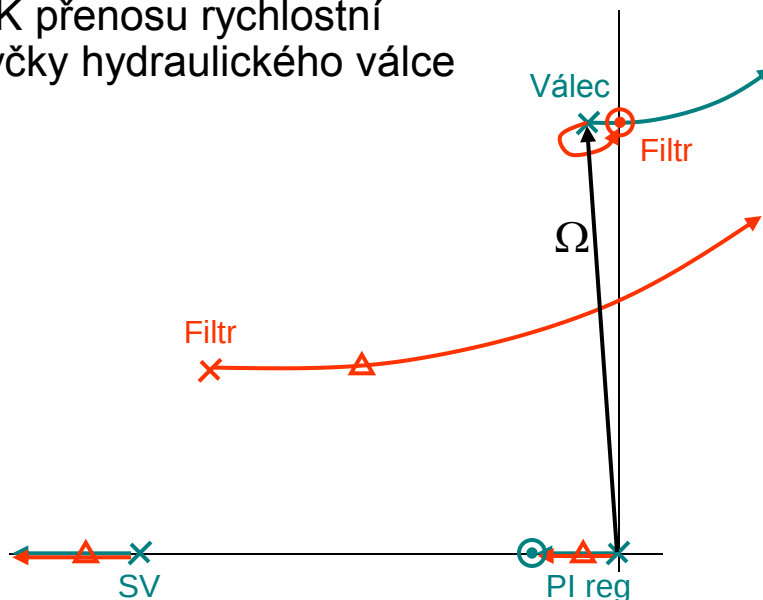
- Pro zvýšení tlumení se přidává (u rotačního motoru) paralelně k SV odpor
- U lineárního motoru by pro dostatečnou účinnost musel být velký průtok přes tento odpor – velké ztráty energie – nelze použít
- U lineárního motoru proto řešíme zvýšení tuhosti přidáním FILTRU do regulace (přidání jednoho pólu a nuly na stejné frekvenci)



Stabilizace hydraulického válce



GMK přenosu rychlostní
smyčky hydraulického válce



Nulu na img. osu na
stejně frekvenci Ω

$$\text{Filtr} \cdot \frac{s^2}{\Omega^2} + 1 \cdot \frac{1}{\frac{s^2}{\Omega^2} + 2\xi \frac{s}{\Omega} + 1} \cdot \frac{1}{\frac{s^2}{\Omega^2} + 2\xi \frac{s}{\Omega} + 1} \cdot \text{Válec}$$

Pól filtru na stejné frekvenci Ω ,
a tlumení $\zeta = \text{cca } 0,7$

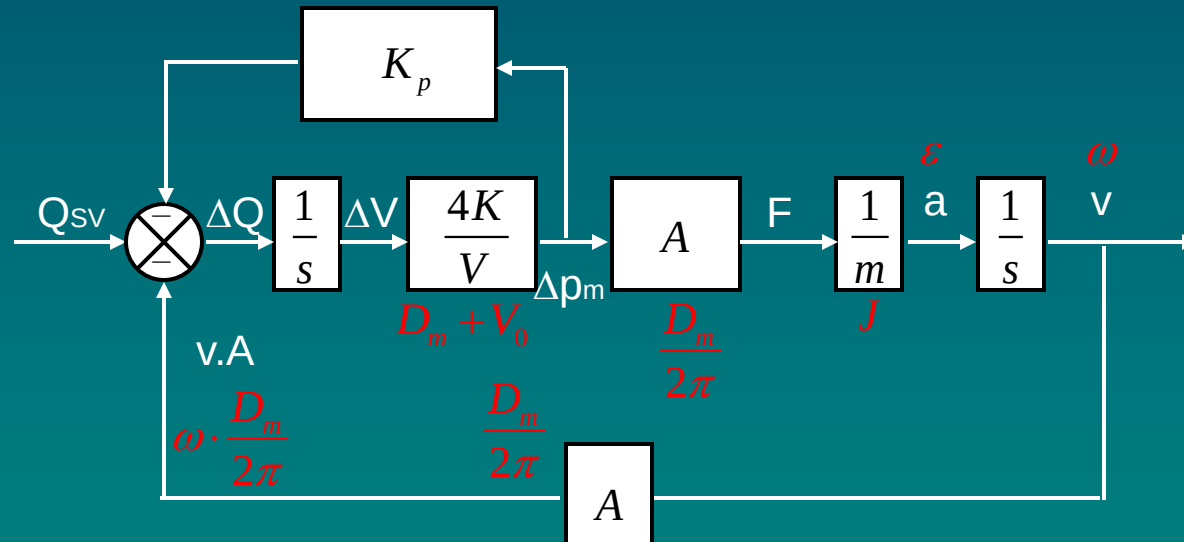
$$\xi_v \rightarrow 0, = 0$$



Zvýší se tlumení (stabilizace),
pól válce omezený vliv

Tlumení rotačního motoru

- Blokové schéma je ekvivalentní schématu hydraulického válce (**nahrazení**)



Tlumení rotačního motoru

Válec

$$\xi = \frac{K_p}{A} \sqrt{\frac{K \cdot m}{V}} \quad V \rightarrow 1,2D_m \quad A \rightarrow \frac{D_m}{2\pi} \quad m \rightarrow J$$

Motor

$$\xi = \frac{2\pi \cdot K_p}{D_m} \sqrt{\frac{J \cdot K}{1,2D_m}} = K_p \cdot C_r \rightarrow C_r = \frac{2\pi}{D_m} \sqrt{\frac{J \cdot K}{1,2D_m}}$$

$$D_m = 30 \frac{\text{cm}^3}{\text{ot}} = 30 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{ot}}$$

$$J = 0,02 \text{ kgm}^2$$

$$C_r = \frac{2\pi}{30 \cdot 10^{-6}} \sqrt{\frac{0,02 \cdot 1,3 \cdot 10^9}{1,2 \cdot 30 \cdot 10^{-6}}} = \underline{1,78 \cdot 10^{11}}$$

(1)

$$K_p (\Delta p_m = 0, Q = 0) = 1,67 \cdot 10^{-12}$$

$$\xi = 1,67 \cdot 10^{-12} \cdot 1,78 \cdot 10^{11} \cong 0,3$$

■ pro nezatížený stojící motor

$$\underline{\xi = 0,2 - 1,2}$$

Tlumení rotačního motoru

$$\frac{\text{tlumení motoru}}{\text{tlumení válce}} = \frac{\xi_m}{\xi_v} = \frac{0,3}{0,0073} \cong 40$$

- Tlumení motoru se stejným SV nám vyšlo cca 40x vyšší než u válce

- Pokud snížím odpor – stejný účinek, jako bych zvýšil K_p v průt. charakteristice – tedy křivka zvýší sklon – pak je více stabilní

