



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií



TECHNICKÉ PROSTŘEDKY ŘÍZENÍ

Oddělení řízení procesů

Lukáš Hubka, Petr Školník, Jaroslav Hlava

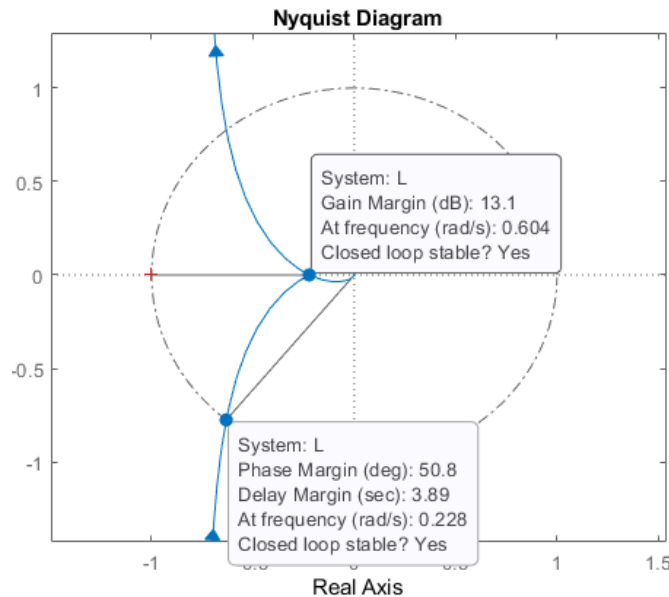
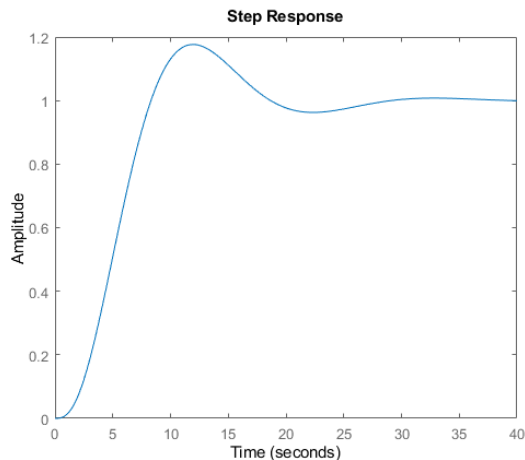




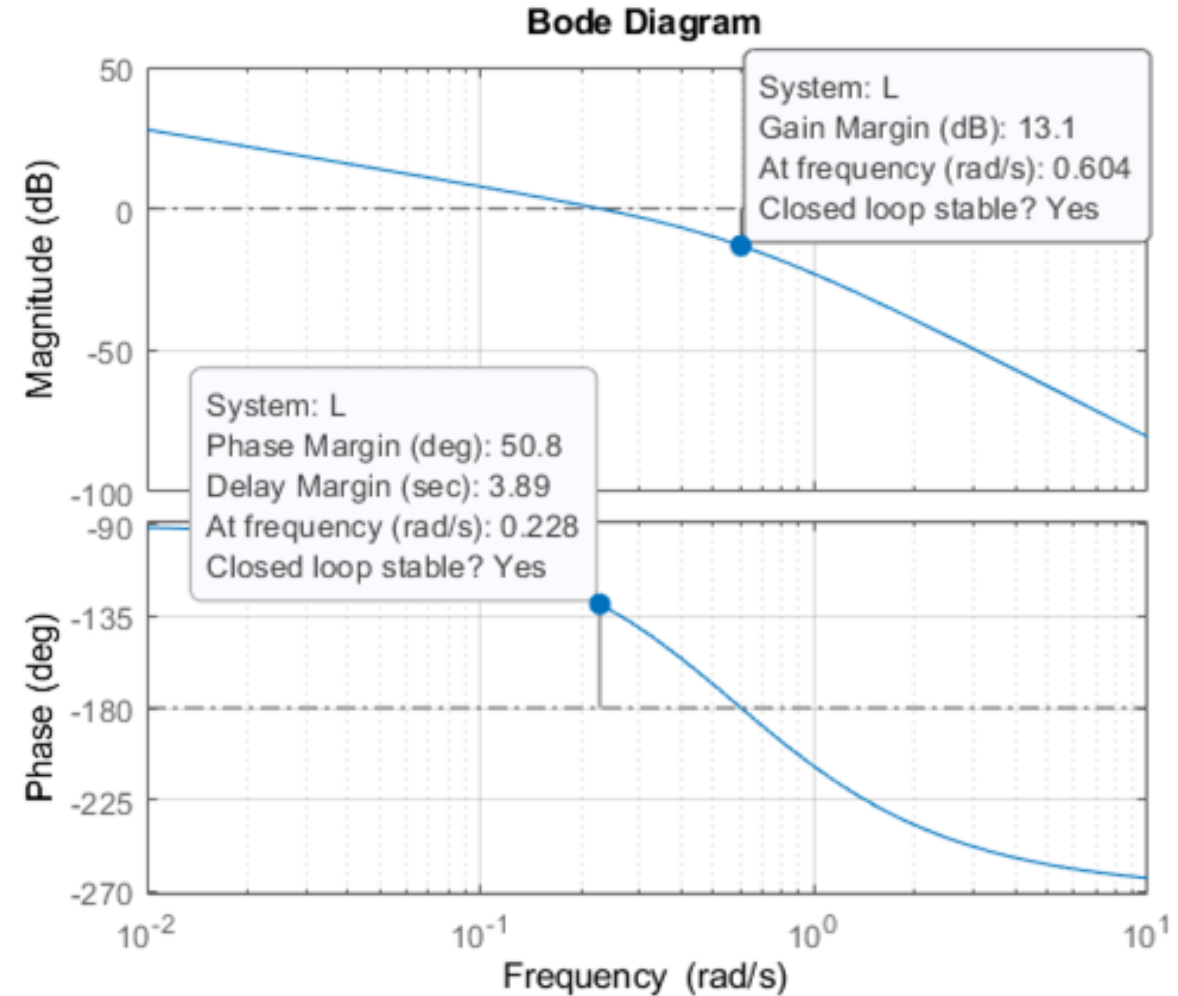
7. CVIČENÍ

***Amplitudová a fázová bezpečnost.
Smith prediktor.***

- ❑ Nezajímá nás pouze samotná absolutní stabilita systému, **ale i jak moc je systém stabilní.**
- ❑ Relativní stabilita = jak blízko/daleko je Nyquistova trajektorie od kritického bodu $[-1; 0i]$



Amplitudová a fázová bezpečnost



❑ **Udává, kolikrát je možno zvětšit zesílení, aby se uzavřený obvod dostal na mez stability.**

❑ Nechť ω_1 je frekvence průsečíku frekvenční charakteristiky s reálnou osou ($\text{Im}\{L(i\omega_1)\} = 0$).

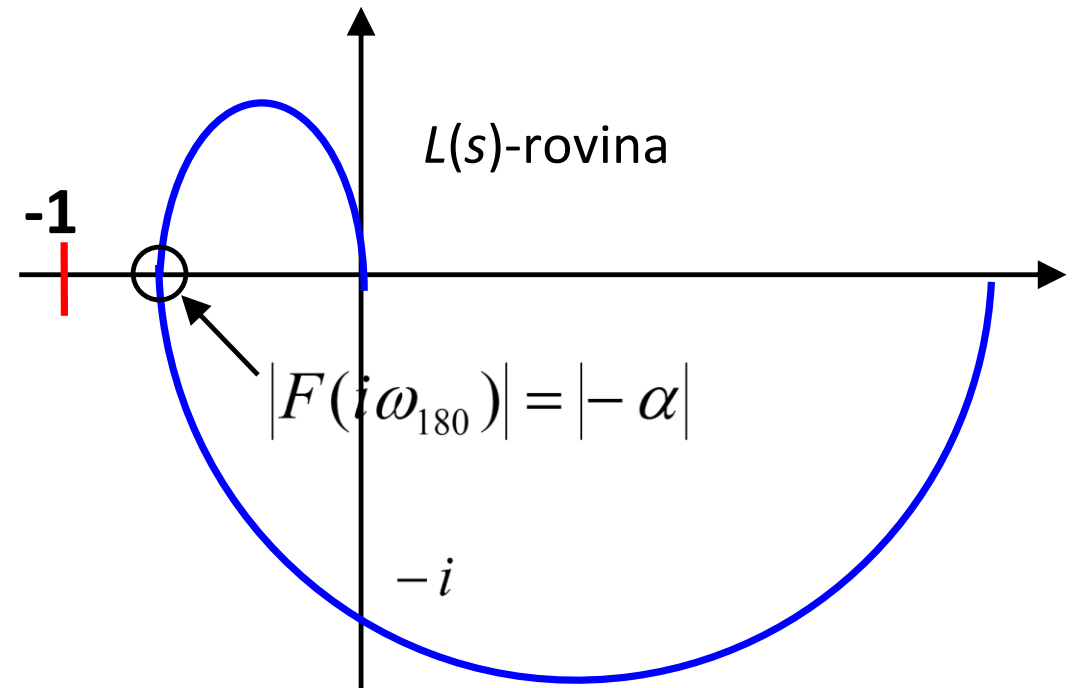
❑ Amplituda je

$$GM = \frac{1}{|L(i\omega_1)|} = \frac{1}{\alpha}$$

❑ Velikost amplitudové bezpečnosti je

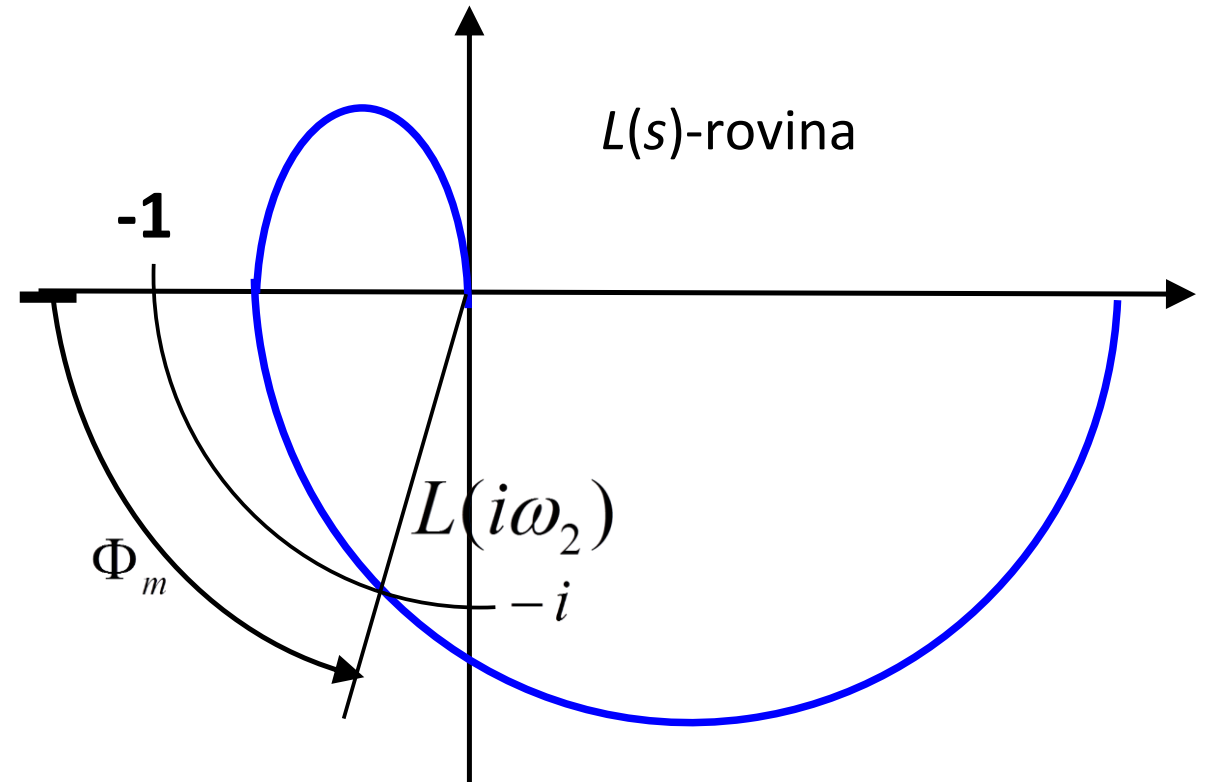
$$\begin{aligned} GM|_{\text{dB}} &= 20 \cdot \log \frac{1}{|L(i\omega_1)|} = \\ &= -20 \cdot \log |L(i\omega_1)| \end{aligned}$$

Amplitudová bezpečnost



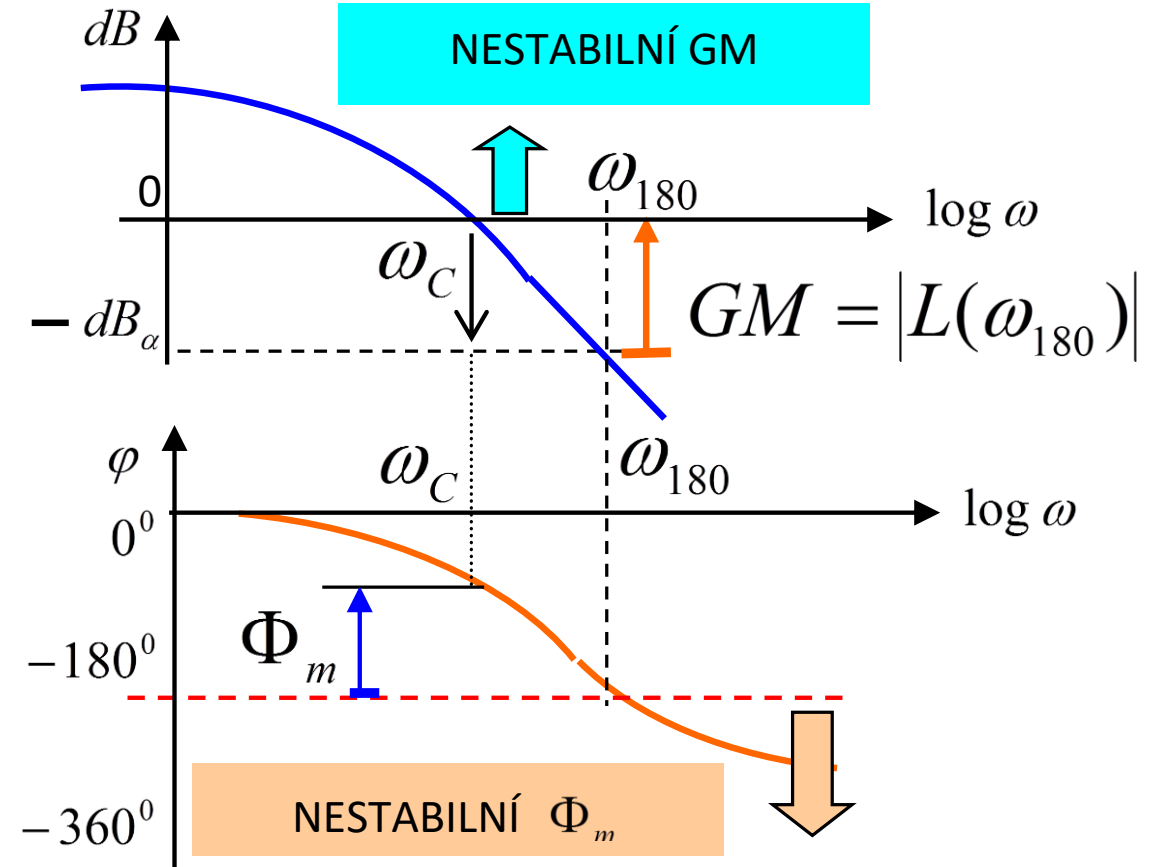
Fázová bezpečnost

- ❑ Necht' ω_2 je frekvence průsečíku frekvenční charakteristiky s jednotkovou kružnicí (střed v počátku). Fázová bezpečnost je úhel, který se měří od záporné části reálné osy v kladném smyslu k průvodiči průsečíku.
- ❑ Fázová bezpečnost je
$$\Phi_m = \arg\{L(i\omega_2)\} - 180^\circ$$



Amplitudová a fázová bezpečnost v Bodeho grafu

- Uzavřený regulační obvod je stabilní právě tehdy, když bude **amplitudová bezpečnost GM** v decibelech **záporná** (měří se od nulové osy) a **fázová bezpečnost kladná** (nad osou -180°) a $\omega_1 > \omega_2$, ($\omega_{180^\circ} > \omega_c$).
- Význam fázové bezpečnosti není jen v kontrole stability, ale využívá se i při návrhu regulátorů.



Problém #1 – Amp./fáz. bezpečnost

- Mějme systém popsáný přenosem $G(s)$. Tento systém je ve zpětné vazbě řízen regulátorem $R(s)$.

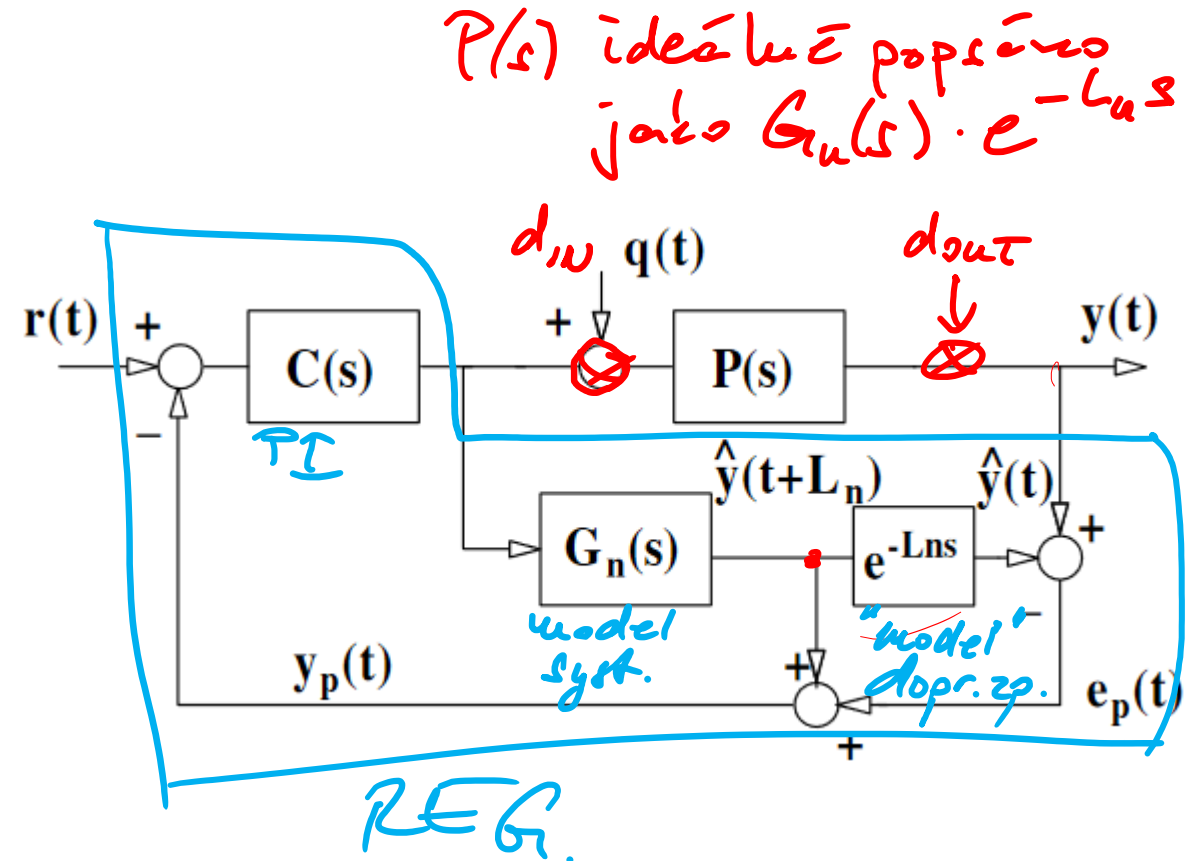
$$G(s) = \frac{0,75}{(0,5s + 1)(3s + 1)^3(10s + 1)}, R(s) = r_0 \left(1 + \frac{1}{3,3s} \right)$$

1. Nalezněte jaká je amplitudová a fázová bezpečnost pro $r_0 = 0,2$. Nakreslete odezvu obvodu na jednotkový skok $r = 1(t)$.
 2. Zkoumejte, jak se změní amplitudová a fázová bezpečnost, když bude mít systém dopravní zpoždění $T_d \in \{5; 10\}$, proporcionální zesílení regulátoru je $r_0 = 0,2$. Nalezněte odezvy na jednotkový skok $r = 1(t)$ a porovnejte mezi sebou.
 3. Zkoumejte, jak se změní amplitudová a fázová bezpečnost pro $r_0 \in \{0,5; 1,2\}$, systém bez dopravního zpoždění. Nalezněte odezvy na jednotkový skok $r = 1(t)$ a porovnejte mezi sebou.
- Pozn.: Sestavte skript, kde pro simulaci využijte přenos

$$F_{yw}(s) = T(s) = \frac{L(s)}{1 + L(s)}, L(s) = R(s)G(s)$$

Smith prediktor

- Smithova predikční struktura (Smithův regulátor) má pro nominální případ (model zcela odpovídá realitě) tři základní vlastnosti:
 1. Kompenzace dopravního zpoždění
 2. Predikce
 3. Dynamická kompenzace
- **Regulátor je vždy laděn pro proces bez dopravního zpoždění $G_n(s)$!**



„pauze datorului fizicului“

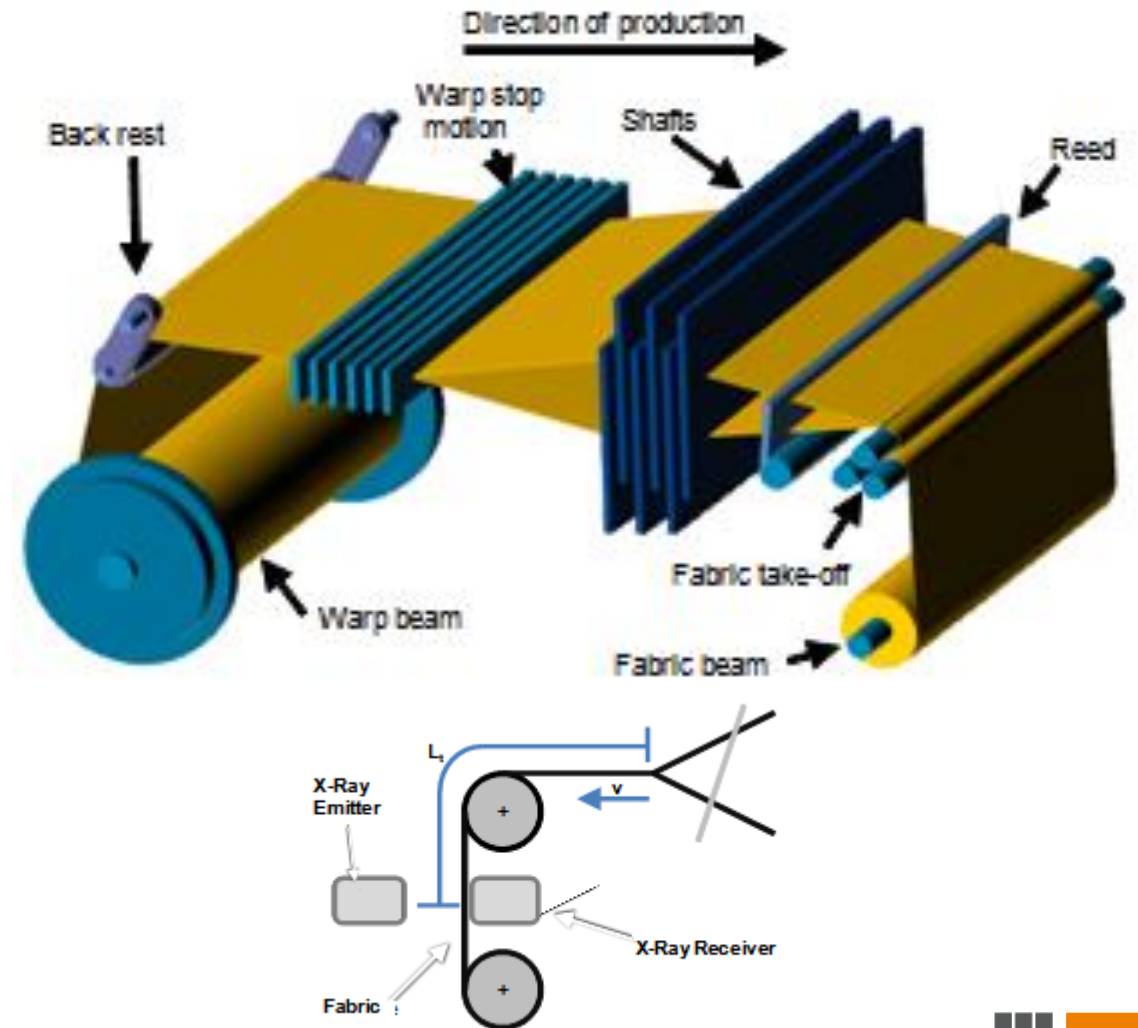
-
- The diagram illustrates an internal combustion engine system with the following components and measurements:
- Throttle Angle α** : Indicated by a blue arrow pointing to the throttle body.
 - Air Mass Flow Rate \dot{m}_a** : Indicated by a blue arrow pointing to the intake manifold.
 - Intake Manifold**: The air intake system, featuring a **Pressure Sensor** and a **Pressure P_{im}** measurement point.
 - Fuel Injector**: Located in the intake manifold, with a **Fuel Mass Flow Rate \dot{m}_f** measurement point.
 - EGR Valve**: Exhaust Gas Recirculation Valve, located in the exhaust manifold.
 - Spark Plug**: Located in the combustion chamber.
 - Combustion**: The process occurring in the **Cylinder**.
 - Piston**: The moving part of the cylinder.
 - Cylinder**: The combustion chamber.
 - Lambda Sensor**: Located in the exhaust manifold, measuring the air-fuel ratio.
 - Exhaust Gas**: The gas exiting the engine.
 - Indicated Torque T_e** : The torque produced by the engine, measured at the crankshaft.
 - Crank Shaft Speed ω_e** : The rotational speed of the crankshaft.
- Red handwritten annotations include a checkmark next to the Fuel Injector, a circle around the Lambda Sensor, and a checkmark next to the Crank Shaft Speed ω_e .



- 

Problém #3 – Výroba příze – tkalcovský stav

- ❑ Tkaniny jsou vytvářeny na stavech křížením tzv. osnovních a útkových přízí. Tkalcovské stavy používají k přepravě útkové příze po šířce stroje transportní média, jako je voda nebo vzduch. Typická rychlost stroje je kolem 1200 ot/min, což znamená také 1200 vložení útku za minutu! V závislosti na požadované hustotě útku (útky na cm) je typická výrobní rychlost kolem 0,8 m tkaniny za minutu.
 - ❑ Jedním z klíčových kritérií kvality tkanin je jejich plošná hustota. Ta je měřena rentgenovým senzorem.
 - ❑ Skoková změna na hustotě příze z 12 na 20 vláken/cm vyvolá změnu hustoty (těžkosti) materiálu z 263 na 334 g/m². Převodní konstanta mezi hustotou (g/m²) a napětím akčního členu je 0,0026 Vm²/g. Proces výroby má časovou konstantu 1,42 s a zpoždění 1,3 s (FOPDT). Díky vzdálenosti (L_t) mezi senzorem a útkem je těžkost změřena až po 225 s (rychlost 600 ot/min).
1. **Sestavte přenosovou funkci systému a navrhnete klasické řízení těžkosti příze pomocí Smith prediktoru.**
 2. **Při změně rychlosti stroje dojde ke zkrácení doby změření těžkosti materiálu. Otestujte chování regulačního obvodu pro čas 168,75 s (800 ot/min).**





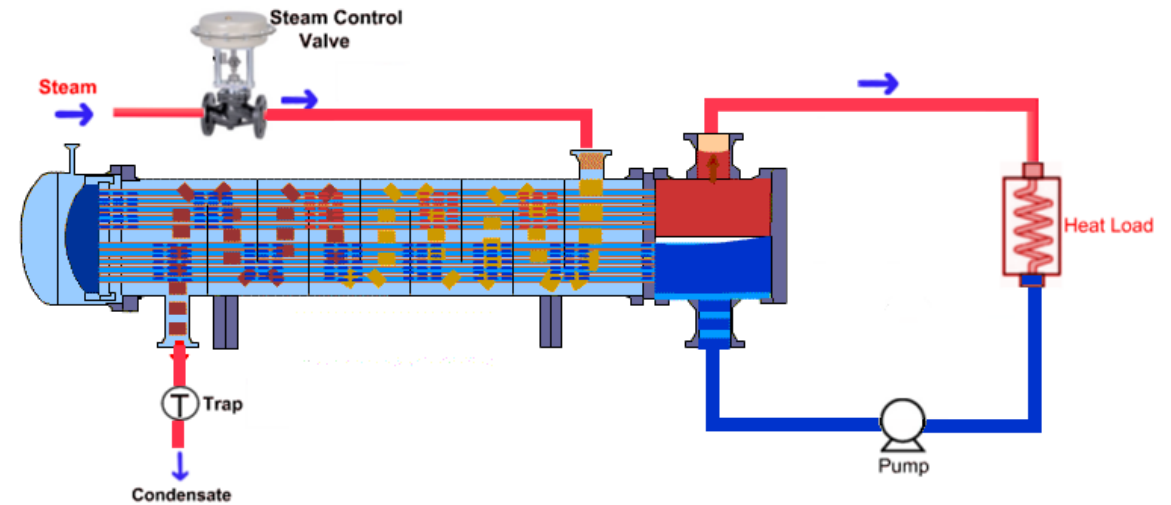
GAIN SCHEDULING

- Předpokládejme parní výměník v CZT. Průtok páry výměníkem je řízen ventilem. Proces tepelné výměny (odezvu na změnu polohy ventilu) lze popsat přenosem $G(s)$. Statické zesílení ventilu je nelineární a popsané funkcí $v = u^4$.

$$G(s) = \frac{0,6}{(2s + 1)(3s + 1)^4}$$

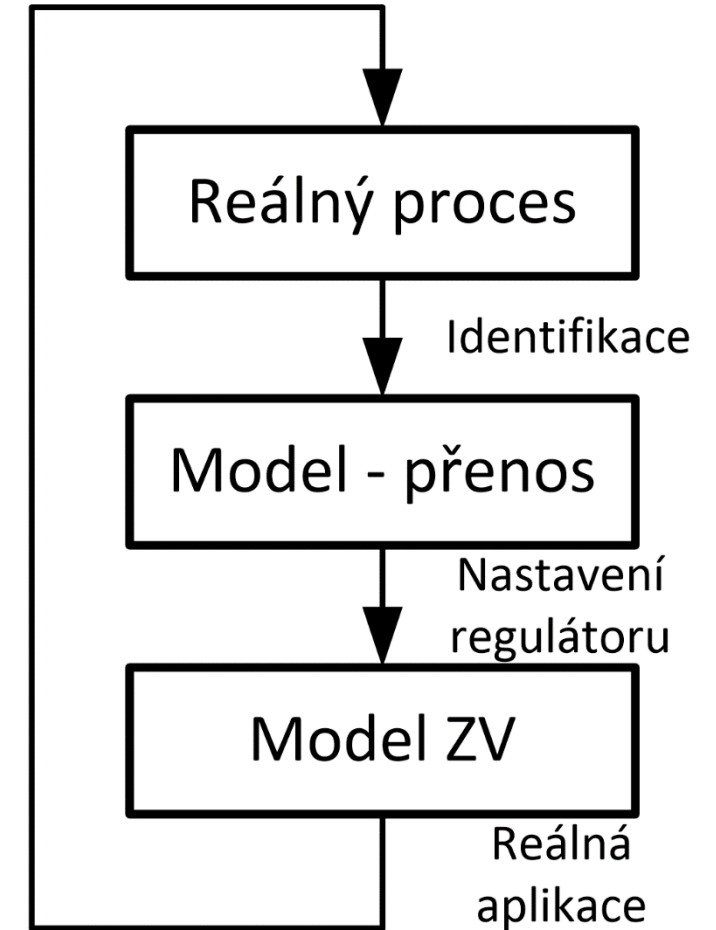
1. Zjistěte převodní charakteristiku ventilu a jeho faktické zesílení pro otevření $0 \div 1$.
2. Nalezněte nastavení PI regulátoru, který umožní řídit přehřívák, pokud je ventil v rozsahu $0 \div 0,5$, tedy např. pro žádaný výstup $r = 0,05 \cdot 1(t)$. Ustálení do 200 s, překmit pod 10 %.
3. Simulačně ověřte chování PI regulátoru v celém rozsahu otevření ventilu $0 \div 1$ (žádaný výstup $0,01 \div 0,5$).
4. Nalezněte způsob, jak řídit soustavu pomocí PI regulátoru v celém rozsahu otevření ventilu $0 \div 1$ (žádaný výstup $0 \div 0,6$) se stále přibližně stejnou dynamikou odezvy na skok žádané hodnoty $r = A \cdot 1(t)$, $A \in (0,01; 0,5)$.

Problém #4 – Výměník s ventilem



Princip nastavení regulátoru v praxi

1. Pracujeme s reálným procesem
2. Aproximujeme chování reálného systému pomocí vhodného přenosu – model reálného systému
3. Zvolíme (dostaneme) požadavky na regulaci
4. Nalezneme parametry regulátoru (pomocí modelu)
5. Pokud máme možnost, simulačně otestujeme nastavení regulátoru na modelu
6. Aplikujeme parametry regulátoru na reálném procesu



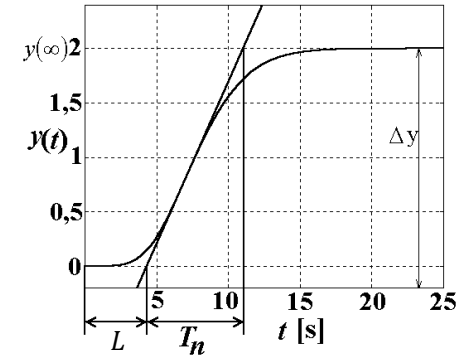
Metoda Ziegler-Nichols

1. **varianta:** metoda ustálených kmitů – při vypnuté I a D složce je postupně zvětšováno proporcionální zesílení až do okamžiku, kdy se celý obvod dostane na mez stability a objeví se netlumené kmity s konstantní amplitudou. Frekvence těchto kmitů je rovna kritické frekvenci $f_k = 1/T_k$ a zesílení P regulátoru (tzv. kritické zesílení) r_k je převrácenou hodnotou zesílení regulované soustavy na této frekvenci.

Regulátor	r_0	T_i	T_d
P	$0,5r_k$		
PI	$0,45r_k$	$0,85T_k$	
PID	$0,6r_k$	$0,5T_k$	$0,125T_k$

2. **varianta:** vyhodnocení přechodové charakteristiky. Na základě doby průtahu T_u , doby náběhu T_n a statického zesílení K pak lze nastavit regulátor podle pravidel v tabulce.

$$u(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) e(s)$$



Regulátor	r_0	T_i	T_d
P	$T_n/(KL)$		
PI	$0,9T_n/(KL)$	$1,2L$	
PID	$1,2T_n/(KL)$	$2L$	$0,5L$

Metoda Chiens, Hrones, Reswick

$G(s) = K \frac{e^{-Ls}}{Ts + 1}$ Regulátor	Aperiodický regulační pochod		Překmit max. 20%	
	Sledování skokových změn žádané hodnoty	Potlačení poruchových veličin	Sledování skokových změn žádané hodnoty	Potlačení poruchových veličin
P	$r_0 = 0,3 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,3 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$
PI	$r_0 = 0,35 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 1,2T$	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 4L$	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = T$	$r_0 = 0,7 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2,3L$
PID	$r_0 = 0,6 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = T$ $T_d = 0,5L$	$r_0 = 0,95 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2,4L$ $T_d = 0,42L$	$r_0 = 0,95 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 1,35T$ $T_d = 0,47L$	$r_0 = 1,2 \frac{T}{K \cdot L}$ $T_i = 2L$ $T_d = 0,42L$