

Příklady k přednášce

10 - Přímá vazba, Feedforward



Michael Šebek
Automatické řízení 2013



- Pro dost kmitavou soustavu s přenosem

$$G(s) = \frac{9}{(s+1)(s^2+0.1s+9)}$$

- a rozumně navržený PI regulátor

$$K = -0.167, T_i = -0.210$$

s vážením set-pointu $b = 0$

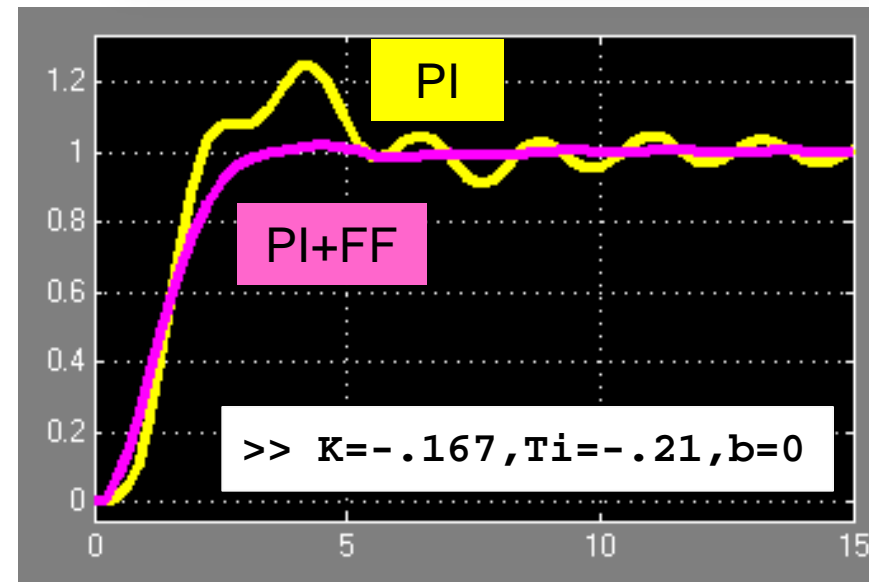
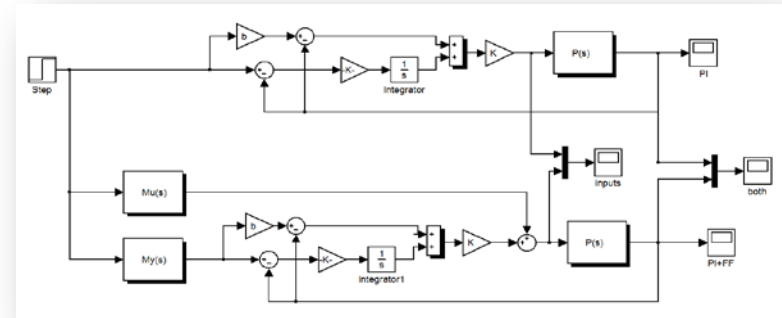
- Docílíme výrazného vylepšení volbou

$$M_y(s) = \frac{9}{(s+1)(s^2+6s+9)}$$

- Což vede na

$$M_u(s) = \frac{s^2+0.1s+9}{s^2+6s+9}$$

AH_5_9_FFforOscilatory.mdl

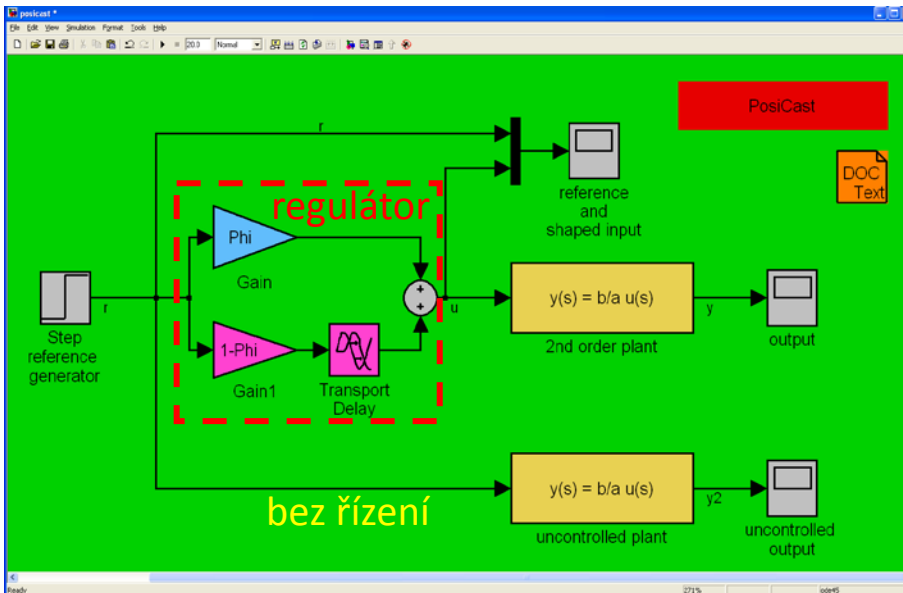
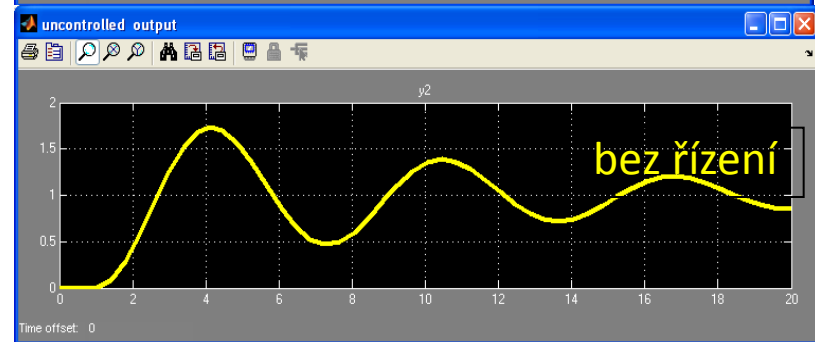
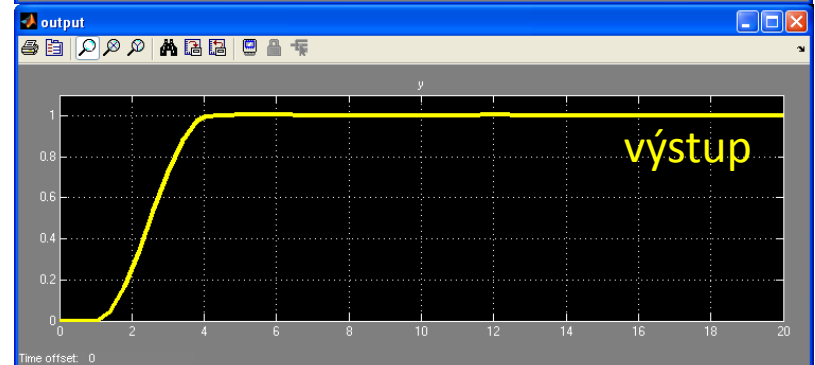




Posicast - simulace

- Simulink: `posicast.mdl` s hodnotami $\omega_n = 1 \text{ rad/s}, \zeta = 0.1$

```
>> omegan=1,zeta=0.1, ...  
    a=s^2+2*omegan*zeta*s+omegan^2,...  
    b=omegan^2  
omegan = 1 , zeta = 0.1000  
a = 1 + 0.2s + s^2  
b = 1  
>> n=1;  
>> tau=n*pi/omegan/(sqrt(1-dzeta^2)),...  
    Phi=1/(1+exp(-tau*zeta*omegan))  
tau = 3.1574, Phi = 0.5783
```

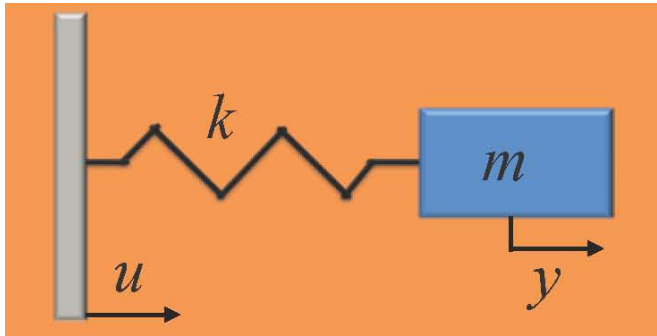




Posicast pro těleso na pružině

Automatické řízení - Kybernetika a robotika

- podobné je to pro jednoduchý systém hmotnost + pružina

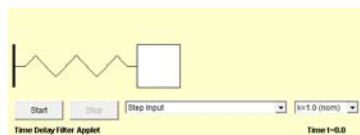


- stejná rovnice, ale bez tlumení

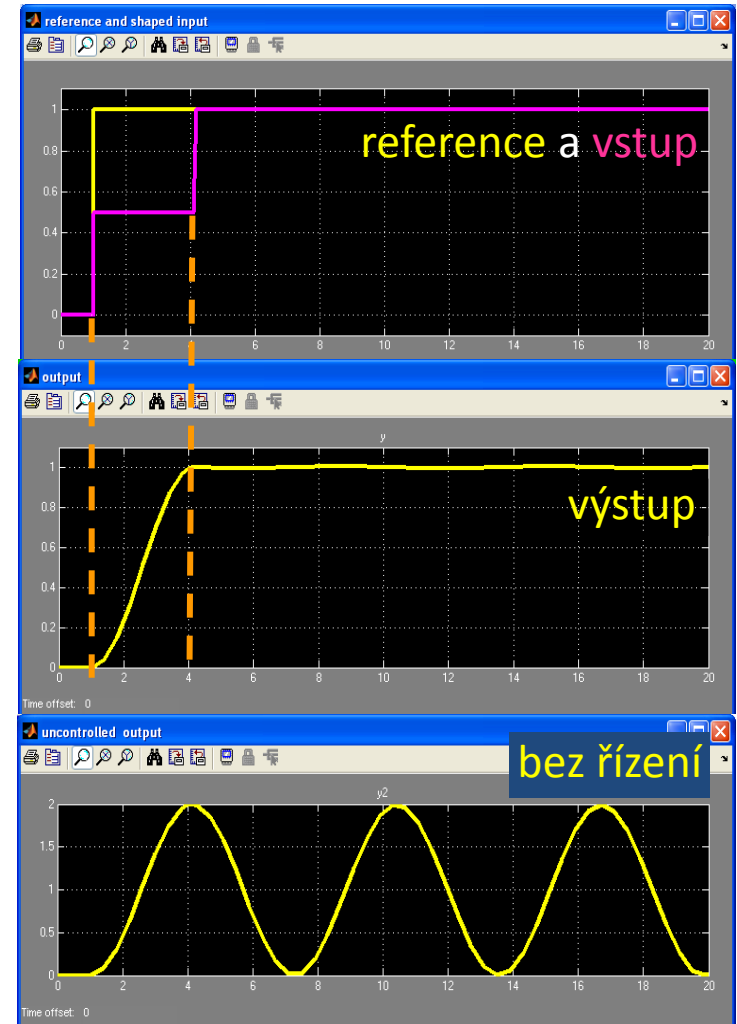
$$\omega_n = 1 \text{ rad/s}, \zeta = 0$$

$$\tau = \pi, \Phi = 0.5$$

- Animace (M. Münchhof, TU Darmstadt)
<http://www.muenchhof.net/introinputshaping.html>



$$\tau = 3.1574, \Phi = 0.5783$$





- Pro soustavu s přenosem $G(s) = \frac{1}{s}$ a specifikace $T_{s2\%} = 0,5s$ a $OS 4\%$ navrhne PI regulátor

$$C(s) = 16 + \frac{128}{s} = \frac{16(s+8)}{s}$$

- který zajistí CL charakteristický polynom

$$c(s) = s^2 + 16s + 128$$

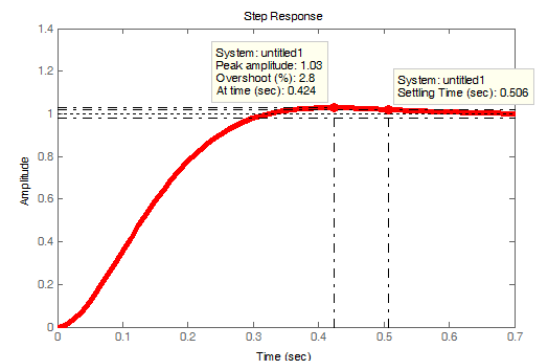
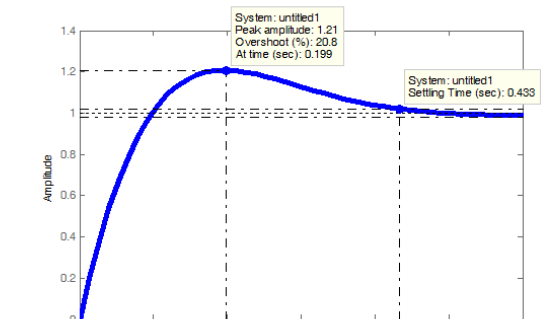
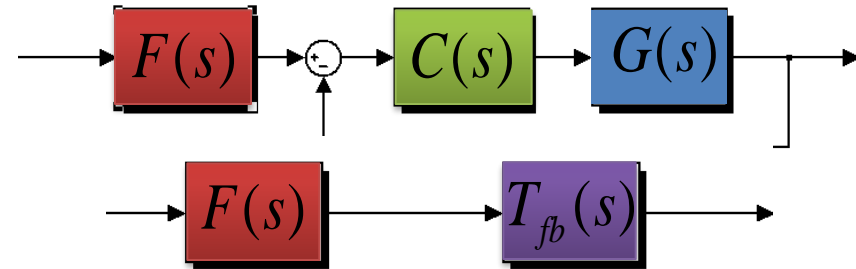
- Jenomže přenos uzavřené smyčky

$$T_{fb}(s) = \frac{16(s+8)}{s^2 + 16s + 128}$$

- má kvůli nule nevyhovující skokovou odezvu
- Zařazení předfiltru změnil celkový přenos na $F(s) = \frac{8}{s+8}$

$$T_{fb}(s) = \frac{128}{s^2 + 16s + 128}$$

s lepší odezvou





Potlačení vibrací dopravního letounu

Automatické řízení - Kybernetika a robotika

- Cílem je redukovat vibrace - prohýbání trupu - flexibilního letounu způsobené agresivními zásahy pilota / autopilota na výškovce
- Požadavky na robustnost (vůči počtu pasažérů, výšce, rychlosti, ...)
- Přenos (normovaný) z výškovky na rychlost klopení

$$\frac{(s + 1.7)(s + 79)(s + 400)(s + 22)(s + 15)(s + 2.85)(s + 0.83)(s + 0.0774)(s^2 + 0.27s + 77.51)}{(s^2 + 0.3692s + 408.7)(s^2 + 1.16s + 722.6)(s^2 + 0.6158s + 9.4)(s^2 + 0.9224s + 12)(s^2 + 1.078s + 1)} \\ \frac{(s + 45.04)(s + 253)(s + 11.38)(s + 22)(s - 0.2908)(s + 0.08)(s^2 + s + 2)(s^2 + 3s + 7.919)}{(s^2 + 0.756s + 78.8)(s^2 + 0.1s + 409.4)(s^2 + 13s + 73.2)(s^2 + 0.2s + 988.9)(s^2 + 0.934s + 13)} \\ (s^2 + 1.1s + 14)$$

obsahuje HBM (hull bending mode) mód na (normované) frekvenci 8.87 rad/s a s (normovaným) tlumením 0.042



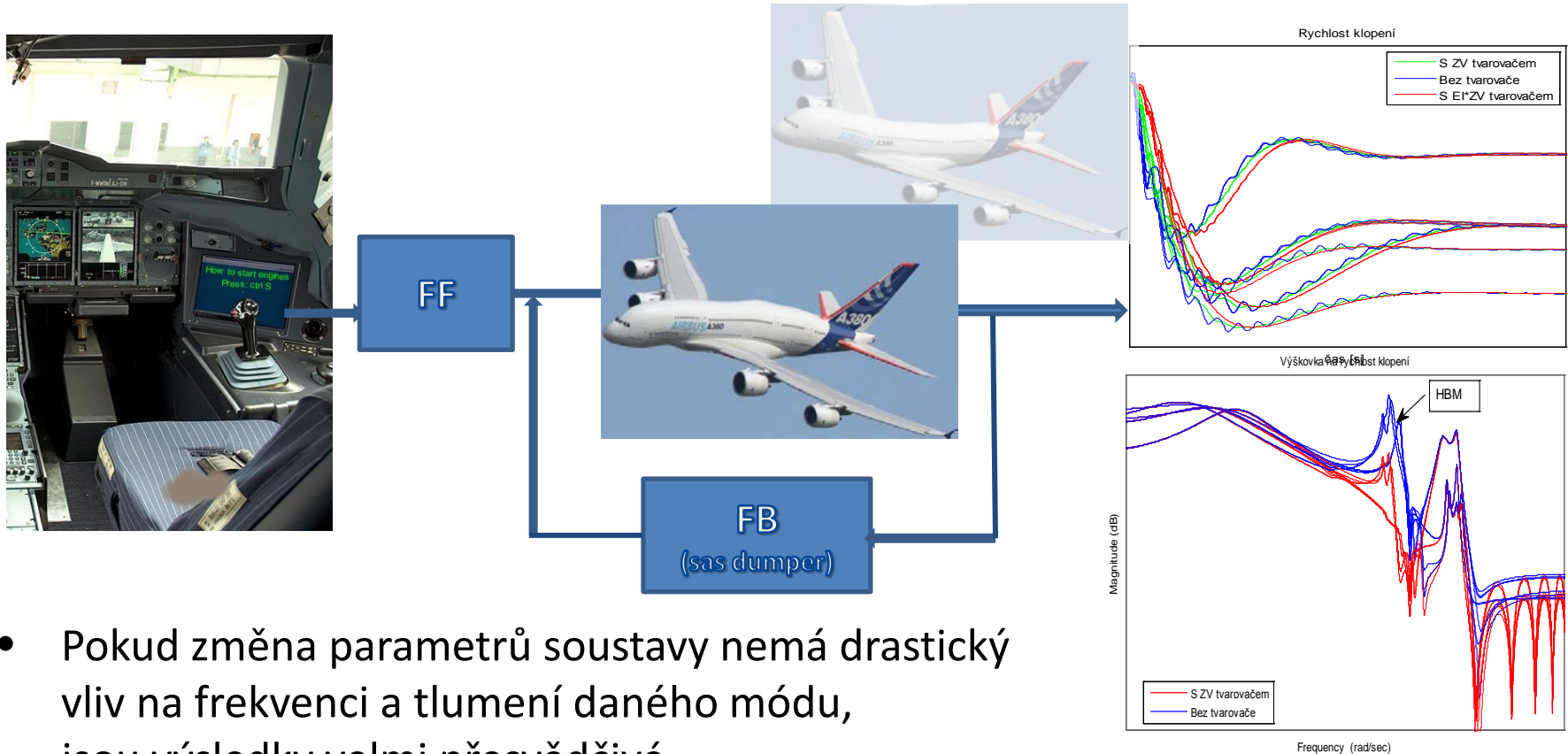
Potlačení vibrací dopravního letounu

Automatické řízení - Kybernetika a robotika

- Zařadíme “signal shaper” (např. PosiCast) naladěný na HBM mód:

```
>> s = tf('s');
```

```
>> IS = 0.43 + 0.57 * ss(exp(-s*0.31));
```



- Pokud změna parametrů soustavy nemá drastický vliv na frekvenci a tlumení daného módu, jsou výsledky velmi přesvědčivé.



Manipulátor s flexibilním nákladem

Automatické řízení - Kybernetika a robotika

- Základem je polohový (rotační) servomechanismus – polohová ZV pro sledování setpointu úhlového natočení ramene
- ZV regulátor je navržený jako rychlý nějakou vhodnou metodou (např. RL, frekvenční metody, ...)
- Rychlé pohyby vybudují flexibilní módy „nákladu“ – pružné tyčky postavené na konci polohovacího ramene





Manipulátor s flexibilním nákladem

Automatické řízení - Kybernetika a robotika

- Signal shaper na referenci:

Charakteristické vlastnosti ramene

- Vlastní frekvence $\omega_n = 15.9$ rad/s
- Tlumení $\xi = 0.2$

```
tau = pi/wn/sqrt(1-a^2);  
phi = 1/(1+exp(-pi*a/sqrt(1-a^2)));  
phi=1-0.35  
tau=0.1973  
s=zpk('s')  
ZV=phi+(1-phi)*ss(exp(-s*tau))
```



- Zajistí „nevybuzení“ flexibilních módů a nezpomalí (výrazně) rychlost odezvy