

# Systemy a řízení

## **Syntéza regulačního obvodu**

### **K2 - Kulička na tyči 2**

**Vojtěch Ruml**

**Pavel Jisl**

# Úkoly syntézy:

## Požadavky na regulaci:

Pro fyzikální systém 'kulička na tyči' navrhnout a odzkoušet vhodné typy regulátorů (P, PI, I, PD, PID), za předpokladu, že je:

- a) povolena odchylka do 5% v ustáleném stavu na skok řídicí veličiny
- b) požadována nulová odchylka v ustáleném stavu na skok řídicí veličiny

Syntézu provést, pokud je to možné, následujícím způsobem a to alespoň jednou ze dvou nabízených metod:

### a) *Empirickými metodami:*

- 'ručně' metodou cyklické optimalizace konstant regulátoru
- podle Ziegler-Nicholse

### b) *Frekvenčními metodami*

- typová frekvenční charakteristika
- zajištění požadované fázové bezpečnosti

### c) *Metodou umístění pólů uzavřené regulační smyčky:*

- pomocí geometrického místa kořenů
- výpočtem polohy dominantních pólů

Návrh provést jak pro ideální varianty PID regulátoru, tak i pro jeho realizovatelnou podobu, která má omezen zisk derivační složky na vyšších frekvencích na hodnotu  $N$ :

$$sT_d \simeq \frac{sT_d}{1 + \frac{sT_d}{N}}, N \in (3-20)$$

## Doporučený postup:

1. Navrhnout regulátor (jak ideální, tak i s omezeními)
2. Odzkoušet regulátor na systému v Simulinku (odezva na skok řídicí veličiny) - porovnejte výsledky syntézy dosažené různými metodami
3. Realizace nejvhodnějších typů regulátorů a jejich odzkoušení na fyzikálním systému. Dohromady pro oba systémy jde max. o 4 regulátory. Regulátory je třeba předvést v činnosti - nutná podmínka zápočtu. Za každý další odzkoušený a zhodnocený regulátor jsou navíc 2 body.
4. Porovnání výsledků formou přechodových charakteristik

## Požadavky na regulaci:

Snažte se o dosažení co nejkratší doby regulace s relativně malým překmitem na skok řídicí veličiny.

## Popis systému:

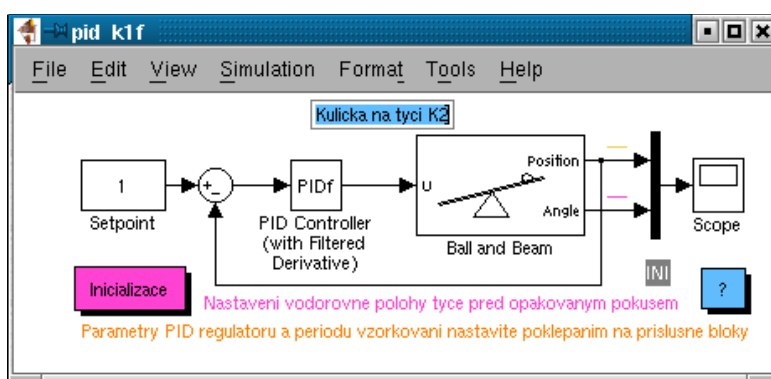
Systém nazývaný kulička na tyči je tvořen tyčí upevněnou v jejím středu. Tyč je osazena odporovým čidlem polohy a kovová kulička, pohybující se po tyči, tento obvod zkratuje a tím se určuje její poloha. Tyč je pomocí hnacího motoru otáčena kolem upevněného středu. Vstupem soustavy je ovládání motorek otáčející tyčí. Výstupy jsou dva, poloha kuličky a úhel naklonění tyče.

Experimentálně nalezený přenos musí být rozhodně astatický. Na první pohled je také vidět, že musí mít astaticismus druhého řádu. Druhý řád astaticismu systému dává poloha kuličky v závislosti na nastavení tyče. Při měření přenosu jsme však zjistili, že vůle modelu výrazně převyšuje změny vyvolané vystavením tyče a proto jsme zredukovaly přenos systému pouze na třetí řád, přestože by se dalo očekávat i řád vyšší, nejspíše čtvrtý. Přenos systému pak je:

$$S(s) = \frac{5}{s^3 + 5 \cdot s^2}$$

Skutečné chování reálného systému se může mírně odlišovat od simulace systému s tímto přenosem. To je obvykle způsobeno změnou vlastností namáháním při provozu. Další nepřesnost vzniká nelinearitou kolem nulového vstupního napětí, kde se vyskytuje pásmo necitlivosti.

Demonstrační soubory potřebné k této úloze jsou umístěny jednak na obvyklých místech na síti.



## Syntéza:

Při požadavku nulové odchylky a při astabilitě druhého řádu tohoto systému nelze použít PI regulátor. Proto pro regulaci použijeme PD regulátor nebo PID regulátor s velmi malou integrační složkou.

### Empirickými metodami

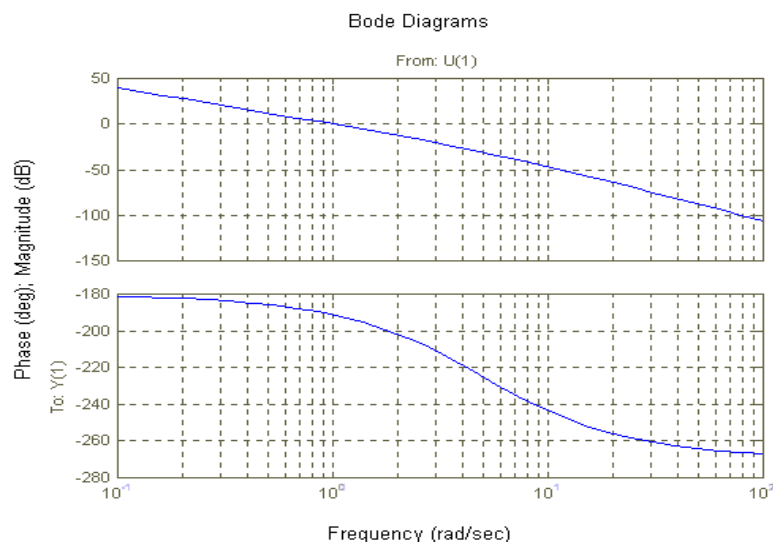
#### Podle Zieglera - Nicholse

Metoda Ziegler - Nichols nelze použít, protože u astatického systému je nemožné nalézt mez stability při zapojení P regulátoru.

### Frekvenčními metodami

#### Zajištění požadované fázové bezpečnosti

Protože je počáteční fáze systému  $-180^\circ$ , proto bylo potřeba pro návrh regulátoru zvolit menší fázovou bezpečnost.



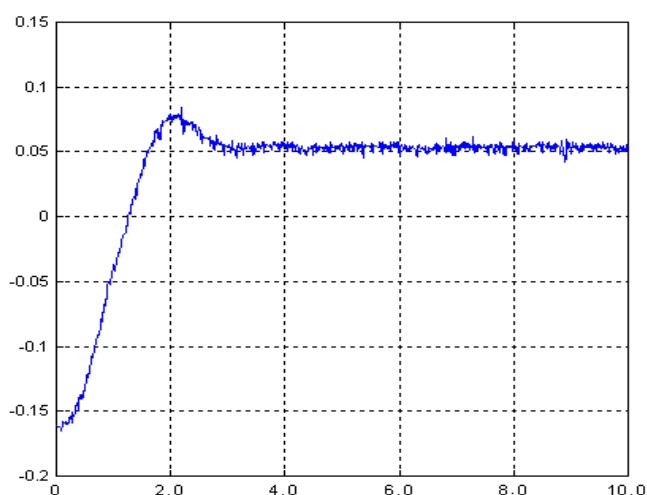
### PD:

Fázovou bezpečnost jsem zvolil  $\Delta\phi = 30^\circ$ .

Pro PD regulátor platí:  $\phi_\Delta = -225^\circ + 30^\circ = -195^\circ$ . Bodeho grafu pak odečteme  $\omega_D = 1,88 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

$|S(j\omega_\Delta)| = -13 \text{ dB} = 0.224$  ,  $r_0 = \frac{1}{\sqrt{2}|S(j\omega_k)|} = 3.16$  ,  $r_1 = \frac{r_0}{\omega_k} = 1.7$  , přenos regulátoru pak je  $R(s) = 1,7 + 3,16 \cdot s = 1,7(s + 1.9)$  .

Po simulaci na reálném modelu vypadá přechodová charakteristika následovně:



Doba ustálení PD regulátoru do požadovaného pásma 5% je asi 2,7 sekundy s překmitem  $\sigma = 11\%$ .

### **PID:**

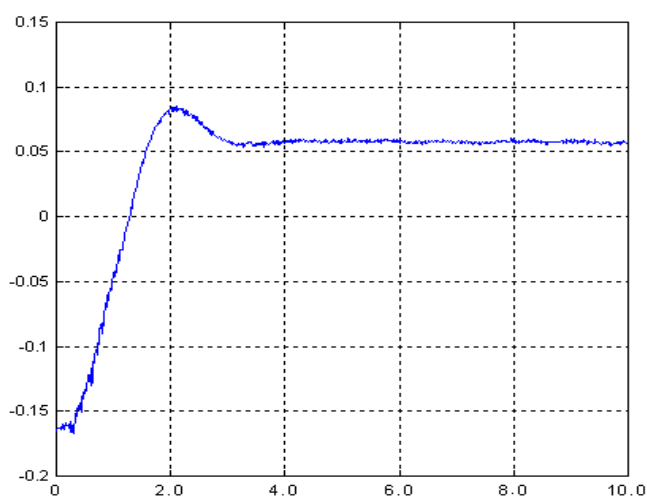
Fázovou bezpečnost jsem zvolil  $\Delta\phi = 30^\circ$  a  $\omega_t = 0,1 \omega_D$ , pak  $\phi_\Delta = -225^\circ + 30^\circ = -195^\circ$ . Z Bodeho grafu jsme odečetli  $\omega_D = 1,88 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  a tedy  $\omega_t = 0,188 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ .

$$|S(j\omega_\Delta)| = -13.1 \text{ dB} = 0,224 \quad , \quad r_0 = \frac{1}{\sqrt{2}|S(j\omega_k)|} = 3,16 \quad , \quad r_1 = \frac{r_0}{1,1\omega_D} = 1,53 \quad ,$$

$r_{-1} = r_1 \omega_t \omega_D = 0,1 r_1 \omega_D^2 = 0,59$  a přenos regulátoru pak je

$$R(s) = 3,16 + 1,53s + \frac{0,59}{s} = \frac{1,53 \cdot (s+1,88)(s+0,188)}{s}$$

Odezva reálného systému je:



Doba ustálení PID regulátoru je přibližně 2,6s což je o něco kratší než v předchozím případě, překmit je  $\sigma = 14\%$ .

## Metodou umístění pólů uzavřené regulační smyčky

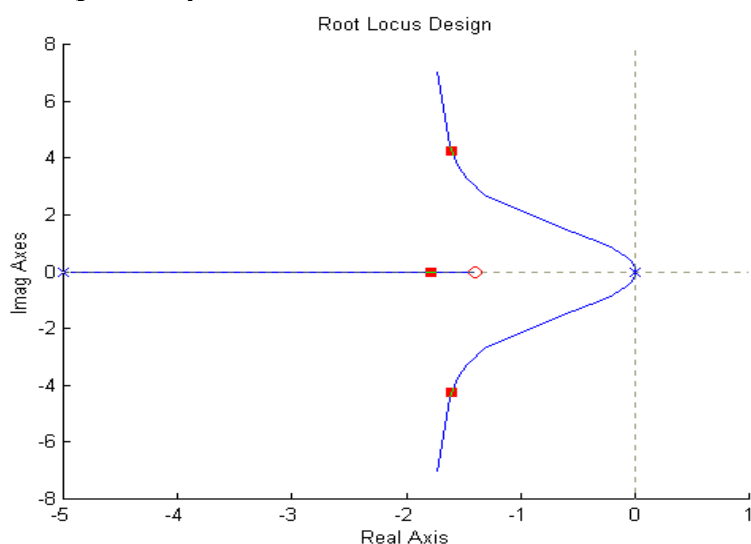
### Pomocí geometrického místa kořenů

Pomocí programu rltool vyšetříme geometrické místo kořenů přenosu soustavy. Pro vytvoření PD regulátoru vhodně přidáme k soustavě nulu nebo dvě nuly pro PID regulátor, abychom dostali geometrické místo kořenů co nejvíce do stabilní oblasti (co nejdále do záporné reálné poloroviny). Poté najdeme zesílení systému tak, aby byly predominantní póly nad sebou.

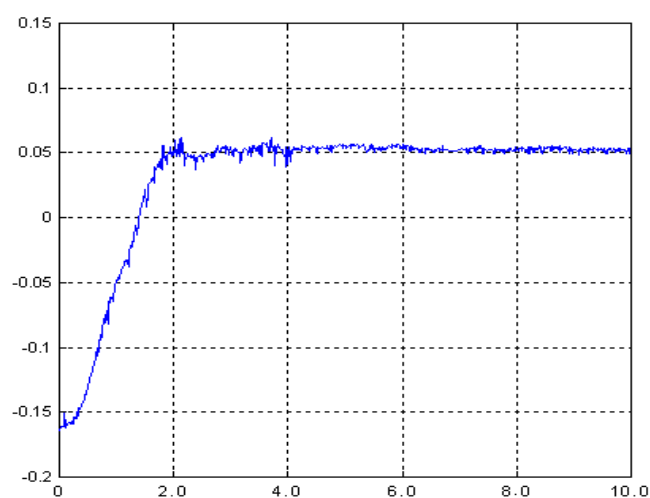
### PD:

Při hledání optimálního PD regulátoru jsem vyzkoušel chování uzavřené smyčky právě v mezi astatismu. (Všechny tři póly nad sebou). Tato varianta regulátoru byla asi ta nejvýhodnější. Výsledný přenos pak je  $R(s) = 4,8s + 6,72 = 4,8(s + 1,4)$ .

Poloha pólů PD regulátoru je:



Simulací na reálném modelu jsme získali tuto odezvu:



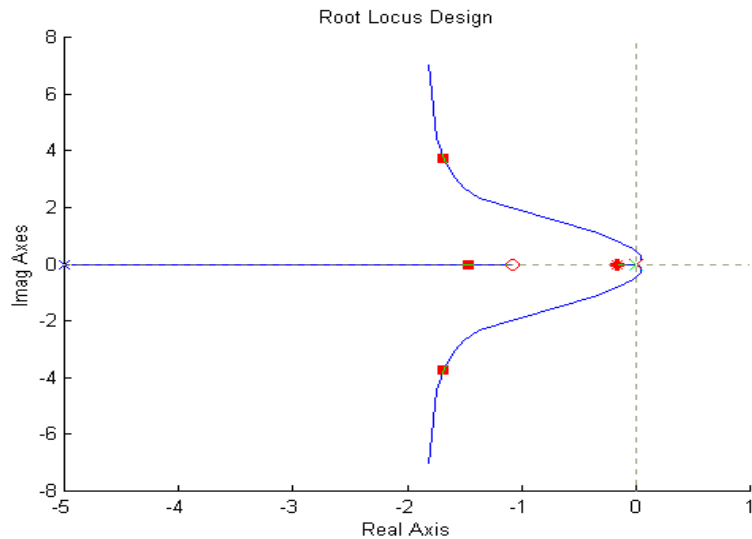
Doba ustálení PD regulátoru je asi 2,1 sekundy s překmitem  $\sigma = 5\%$ .

## PID:

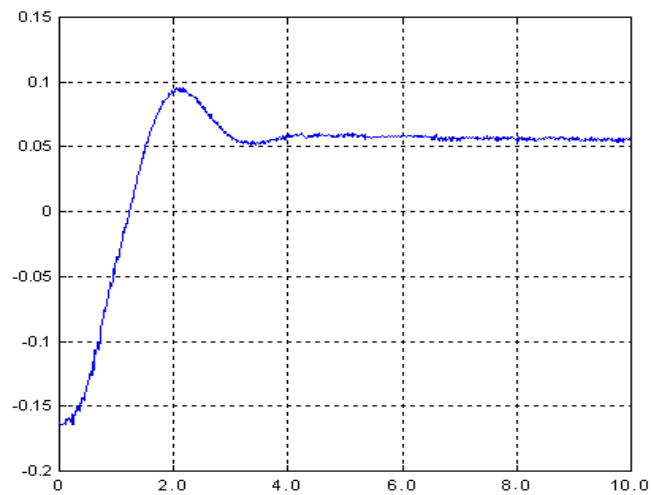
Postup byl velmi podobný jako u PD regulátoru, pouze jsme přidali ještě jednu nulu.

PID regulátor má tvar  $R(s) = \frac{4,2(s+1,1)(s+0,17)}{s} = 2,25 + \frac{0,77}{s} + 4,2s$  a poloha

pólů je:



Odezva reálného systému pak je:



Doba ustálení regulace je kolem 2,8s překmit je  $\sigma = 19\%$ .

## **Závěr**

V úloze jsme se pokusili navrhnout regulátory, vhodné pro soustavu “kulička na tyči” různými metodami. Navržené regulátory ve většině případu vyhovovaly naší představě o chování regulované soustavy a zadání.

Při simulaci reálné soustavy jsme narazili na problém omezeného zisku derivační složky a tak soustava měla o něco horší výsledky, které se projevily delší dobou ustálení a menším překmitem. To je pravděpodobně způsobeno tím, že daný přenos soustavy tuto soustavu přesně neidentifikuje, a také tím, že se soustava v různých dnech měření chovala velmi rozdílně.