

# Cvičenie 7

## Riadenie a Umelá Inteligencia

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.,

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Technická univerzita v Košiciach

LS 2015/2016

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

**Úloha 1:** Analyticky vypočítajte koeficienty (parametre) diskrétného regulátora na základe predpísania pólov uzavretého regulačného obvodu

- 1 Pri metóde sa predpíšu póly uzavretého regulačného obvodu  $\cong$  želaná dynamika s navrhovaným regulátorom

Predpísané póly:  $z_1 = 0.1, z_2 = 0.2, z_3 = 0.3, z_4 = 0.4$

Referenčný polynóm:

$$C_d(z) = (z - z_1)(z - z_2)(z - z_3)(z - z_4)$$

$$C_d(z) = z^4 - z^3 + 0.35z^2 - 0.05z + 0.0024$$

## Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

- 2 diskrétna prenosová funkcia s tvarovačom '0.' rádu (cvičenie 6)

$$G_p(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{1.79z^{-1} + 1.507z^{-2}}{1 - 1.586z^{-1} + 0.586z^{-2}}$$

parametre procesu:

$$b_1 = 1.79, b_2 = 1.507, a_1 = -1.586, a_2 = 0.586$$

- 3 navrhovaná štruktúra regulátora  $F_r(z)$  :

$$G_r(z) = \frac{q_0 + q_1z^{-1} + q_2z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 - p_1z^{-1})},$$

kde  $q_0, q_1, q_2, p_1$  sú hľadané koeficienty regulátora

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

- 4 charakteristická rovnica uzavretého regulačného obvodu:

$$1 + G_p(z)G_r(z) = 0$$

$$1 + \frac{Q(z) B(z)}{P(z) A(z)} = 0 \Rightarrow A(z)P(z) + B(z)Q(z) = 0$$

- ▶ roznásobiť polynómy charakteristickej rovnice
- ▶ upraviť koeficienty pri mocninách  $z^{-1}, z^{-2}, z^{-3}, z^{-4}$

- 5  $A(z)P(z) + B(z)Q(z) = C(z)$  - charakteristický polynóm

$$1 + [a_1 - (1 + p_1) + q_0 b_1]z^{-1} + [a_2 - a_1(1 + p_1) + p_1 + q_0 b_2 + q_1 b_1]z^{-2} + [a_1 p_1 - a_2(1 + p_1) + b_2 q_1 + b_1 q_2]z^{-3} + [p_1 a_2 + b_2 q_2]z^{-4} = C(z)$$

## Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

- 6  $C_d(z) = C(z) \rightarrow$  porovnaním referenčného charakteristického polynómu  $C_d(z)$  pri rovnakých mocninách získame sústavu rovníc z ktorých vypočítame:

$$q_0, q_1, q_2, p_1$$

$$1 = 1$$

$$a_1 - (1 + p_1) + q_0 b_1 = -1$$

$$a_2 - a_1(1 + p_1) + p_1 + q_0 b_2 + q_1 b_1 = 0.35$$

$$a_1 p_1 - a_2(1 + p_1) + b_2 q_1 + b_1 q_2 = -0.05$$

$$p_1 a_2 + b_2 q_2 = 0.0024$$

## Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

- 7 prepis na maticový tvar (numerické riešenie v Matlabe):

$$\begin{pmatrix} 1.79 & 0 & 0 & -1 \\ 1.5 & 1.79 & 0 & 2.58 \\ 0 & 1.5 & 1.79 & -2.17 \\ 0 & 0 & 1.5 & 0.58 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ p_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.58 \\ -1.82 \\ 0.536 \\ 0.002 \end{pmatrix}$$

- 8 Parametre polynomiálneho regulátora:

$$q_0 = 0.5746, q_1 = -0.699, q_2 = 0.2156, p_1 = -0.5528$$

- 9 prenos polynomiálneho regulátora:

$$G_r(z) = \frac{0.5746 - 0.699z^{-1} + 0.2165z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 + 0.5528z^{-1})} = \frac{U(z)}{E(z)}$$

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

10 rekurentný tvar riadiaceho zásahu:

$$u(k) = (1 - p_1)u(k-1) + p_1u(k-2) + q_0e(k) + q_1e(k-1) + q_2e(k-2)$$

11 výpočet ustálených hodnôt  $y(k)$ ,  $e(k)$ ,  $u(k)$  :

$$y(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1}) \underbrace{G_{Y/W}(z)W(z)}_{Y(z)} = 1$$

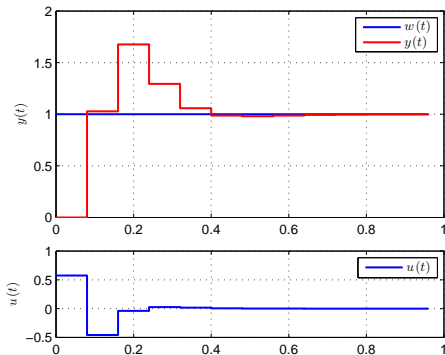
$$e(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})E(z) = 0$$

$$u(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 - z^{-1})U(z)$$

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím metódy umiestnenia pólov

**Úloha 2:** Naprogramujte funkciu pre polynomiálny regulátor a simulačne overte riadenie uhlovej rýchlosti jednosmerného motora s navrhnutým diskretným regulátorom v riadiacej štruktúre pre definovanú  $w_\omega(k)$  a za pôsobenia porúch  $d(k)$ .

Výsledky simulácie pre  $w_\omega(k) = 1$  a pre  $T_{vz} = 0.08$ .





## Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím dead-beat regulátora

**Úloha 3:** Vypočítajte koeficienty DB-regulátora bez ohraničenia na riadiaci zásah (riadenie  $\omega(t)$  za konečný počet krokov)

- ① diskrétna prenosová funkcia prenosu:  $G_p(z) = \frac{1.79z^{-1} + 1.5z^{-2}}{1 - 1.58z^{-1} + 0.58z^{-2}}$
- ② koeficienty regulátora:

$$q_0 = \frac{1}{b_1 + b_2} = 0.302$$

$$q_1 = a_1 q_0 = -0.4798; \quad p_1 = b_1 q_0 = 0.54$$

$$q_2 = a_2 q_0 = 0.1774; \quad p_2 = b_2 q_0 = 0.455$$

- ③ riadiaci zásah  $u(k)$  :

$$u(k) = p_1 u(k-1) + p_2 u(k-2) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2)$$

$$u(k) = 0.54u(k-1) + 0.455u(k-2) + 0.302e(k) - 0.479e(k-1) + 0.177e(k-2)$$

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím dead-beat regulátora

- 4 prenosová funkcia dead-beat regulátora:

$$G_r(z) = \frac{Q(z)}{1 - P(z)}$$

- 5 prenosová funkcia URO:

$$G_{Y/W}(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} = P(z) = 0.544z^{-1} + 0.455z^{-2}$$

$$Y(z) = P(z)W(z) = 0.544z^{-1} + z^{-2} + \dots, \quad (n = 2)$$

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím dead-beat regulátora

- 6 riadiaci zásah:

$$E(z) = W(z) - Y(z) = 1 - \frac{0.544z^{-1} - 0.455z^{-2}}{1 - z^{-1}} = 1 + 0.45z^{-1}$$

- 7 prenosová funkcia URO:

$$U(z) = \frac{0.302 - 0.47z^{-1} + 0.177z^{-2}}{1 - z^{-1}} = 0.302 - 0.17z^{-1}$$

- 8 výpočet ustálených hodnôt  $e(k)$ ,  $u(k)$ ,  $y(k)$

→ analyticky

→ programovo

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím dead-beat regulátora

**Úloha 4:** Naprogramujte funkciu pre výpočet parametrov DB regulátora a simulačne overte v URO riadenie  $\omega(t)$  na konečný počet krokov (riadiacu štruktúru navrhnete a implementujete do prostredia Simulink). Algoritmicky vypočítajte ustálené hodnoty  $e(k)$ ,  $u(k)$ ,  $y(k)$ .

**Úloha 5:** Vypočítajte naprogramujte funkciu pre zistenie parametrov DB regulátora s ohraničením na riadiaci zásah, pričom predpokladáme, že  $u(0) \leq 0.2 \Rightarrow q_0 = u(0) = 0.2$

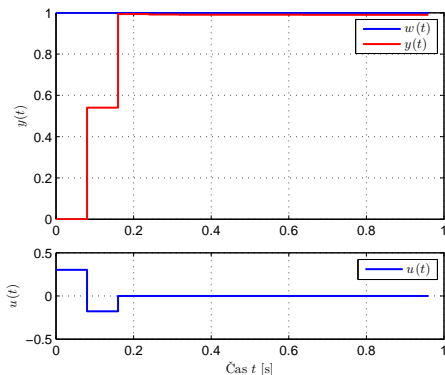
$$q_1 = -0.2149, q_2 = -0.045, q_0 = 0.060075$$

$$p_1 = 0.359, p_2 = 0.485, p_3 = 0.154$$

zostavte:

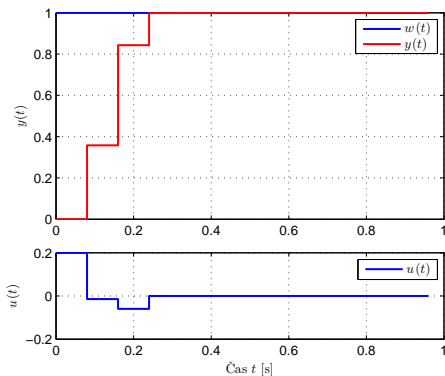
- $G_r(z)$
- $G_{Y/W}(z)$ ,  $Y(z)$
- $E(z) = W(z) - Y(z)$
- rekurentný tvar zákona riadenia  $u(k)$  z  $G_r(z)$

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím dead-beat regulátora



Obr.: Výsledky simulácie riadenia s využitím DB regulátora bez ohraničenia akčného zásahu -  $T_{vz} = 0.08$

# Regulácia uhlovej rýchlosti $\omega(t)$ pre jednosmerný motor s využitím dead-beat regulátora



Obr.: Výsledky simulácie riadenia s využitím DB regulátora s ohraničením akčného zásahu -  $T_{vz} = 0.08$