

## Završni ispit

28. siječnja 2015.

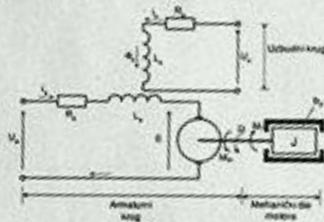
Ime i Prezime:

Matični broj:

Napomena: Zadatci obvezno predati s rješenjima nakon završetka testa.

### 1. zadatak (15 bodova)

Nadomjesna shema istosmjernog motora s nezavisnom i konstantnom uzbudom prikazana je na slici 1. Istosmjerni se motor napaja iz tristororskog usmjerivača. Brzina vrtnje istosmjernog motora regulira se kaskadnim sistemom upravljanja koji sadrži regulacijski krug struje armature i regulacijski krug brzine vrtnje motora. Obzi regulatora su PI strukture. Struja armature i brzina vrtnje se mijere pomoću odgovarajućih mjernih članova. Viskozno trenje se može zanemariti.



Slika 1: Nadomjesna shema istosmjernog motora s konstantnom i nezavisnom uzbudom.

Parametri istosmjernog motora, uključujući parametre mjernih članova struje armature, brzine vrtnje te tristororskog usmjerivača dani su slijedećom tablicom

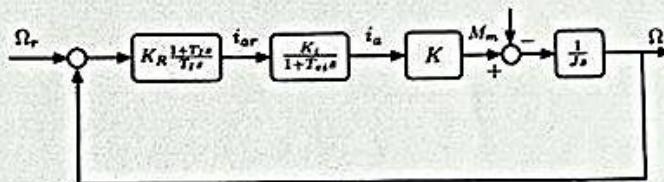
Parametar	Opis
$R_a = 0.2 \Omega$	opor strujne motora
$L_a = 5 [mH]$	induktivitet strujne motora
$K = c_s = c_m = 1.0 [Vs/rad]$	konstanska konstanta motora
$J = 2 [kgm^2]$	ukupni moment inercije rotora i radnog mehaničkog sustava
$K_t = 25$	pojačanje tristororskog usmjerivača
$T_{int} = 2 [ms]$	nadomjesno vrijeme reakcije konstanta tristororskog usmjerivača
$K_1 = 0.1 [V/A]$	pojačanje mjerne članove struje armature
$T_{f1} = 2 [ms]$	vremenska konstanta mjerne članove struje armature
$K_2 = 0.0025 [Vs]$	pojačanje mjerne članove brzine vrtnje
$T_{f2} = 25 [ms]$	vremenska konstanta mjerne članove brzine vrtnje

Potreban je:

- (5 bodova) Naznati strukturni blokovički prikaz kaskadne regulacije brzine vrtnje istosmjernog motora s konstantnom i nezavisnom uzbudom.
- (3 bodova) Projektišati PI regulator struje armature  $G_{R1}(s)$  prema tehničkom optimumu kao i prefilter referentne vrijednosti struje armature  $G_{Rf1}(s)$ .
- (3 bodova) Projektišati regulator brzine vrtnje motora  $G_{R2}(s)$  prema simetričnom optimumu uz  $\alpha = 2$ . Također je potreban projektirati prefilter u referentnoj granici brzine vrtnje  $G_{Rf2}(s)$ .
- (4 bodova) Izvesti izraz za ovisnost faznog osiguranja o parametru  $\alpha$  kod simetričnog optimuma.

**2. zadatak (15 bodova)**

Nadređena petlja upravljanja brzinom vrtnje istosmjernog motora s nezavisnom i konstantnom uzbudom prikazana je blokovskom shemom na slici 2. Pritom su:  $K_i = 1$ ,  $T_{ei} = 5 \text{ ms}$ ,  $K = 1.33 \text{ Vs/rad}$  i  $J = 3 \text{ kgm}^2$ . (Pretpostavljeno je idealno mjerjenje brzine vrtnje.)



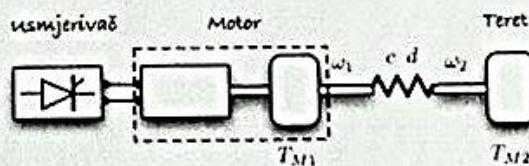
Slika 2: Blokovska shema upravljanja brzinom DC motora s nezavisnom uzbudom

Potrebito je:

- (3 boda) Odrediti prijenosnu funkciju zatvorenog kruga
- (7 bodova) Odrediti parametre PI regulatora brzine, tako da karakteristični polinom zatvorenog kruga bude podešen prema optimumu dvostrukog odnosa uz  $D_i = 0.5$ .
- (2 boda) Odrediti prefiltar u grani reference kojim se krate neželjene nule
- (3 boda) Odrediti prefiltar u grani reference umjesto prefiltara u c) dijelu zadatka kojim se osigurava točnost slijedenja linearno rastuće referentne veličine ( $\omega_r(t) = t$ )

**3. zadatak (10 bodova)**

Za elektromehanički sustav s elastičnim prijenosom zadani su sljedeći normirani parametri:  $T_{M1} = 1.0 \text{ s}$  - motor;  $T_{M2} = 3.0 \text{ s}$  - teret;  $c = 100 \text{ Nm/rad}$  - konstanta krutosti;  $d = 0.5 \text{ Nms/rad}$  - konstanta prigušenja;  $T_B = 1 \text{ s}$  - normirana vremenska konstanta.



Slika 3: Skica radnog stroja s remenskim prijenosom

- (3 boda) Načrtati strukturu blokovsku shemu nadomjesnog kontinuiranog regulacijskog kruga brzine vrtnje s  $PI_{\Delta\omega}$  regulatorom brzine vrtnje.
- (4 bodova) Odrediti parametre regulatora uz korištenje optimuma dvostrukog odnosa uz  $D_i = 0.5$  uz nadomjesnu vremensku konstantu podredenog regulacijskog kruga struje  $T_{ei} = 0.01 \text{ s}$  i vrijeme uzorkovanja  $T = 0.001 \text{ s}$ . Nadomjesnu vremensku konstantu zatvorenog kruga, odredite koristeći približnu relaciju tako da se postigne najbrži mogući odziv.
- (3 boda) Koliko pri tome iznosi karakteristični odnos  $D_5$ ?

21-2015

$$R_a = 0.2 \Omega \quad \rightarrow \quad T_a = \frac{L_a}{R_a} = \frac{25}{0.2} \text{ ms}, \quad K_a = \frac{1}{R_a} = 5 \text{ A/V}$$

$$L_a = 5 \text{ mH}$$

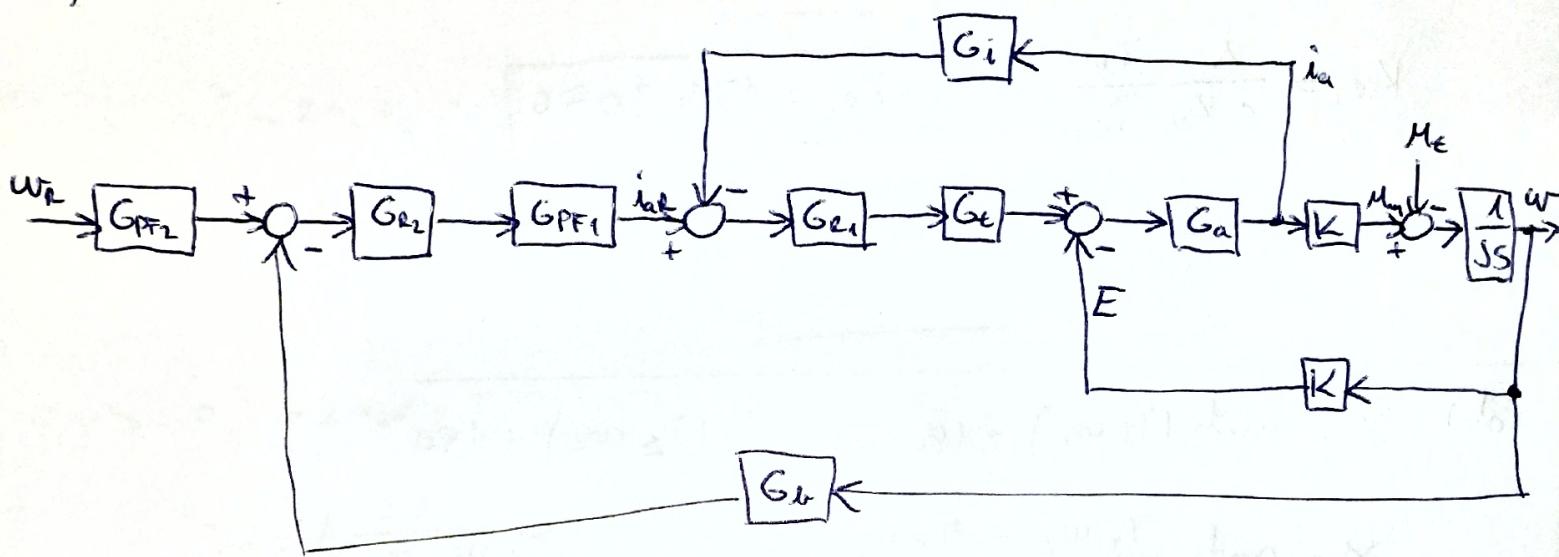
$$K = 1.9 \text{ Vs/vol}, \quad J = 2 \text{ kg/m}^2$$

$$K_e = 25, \quad T_{m1} = 2 \text{ ms}$$

$$K_i = 0.1 \text{ V/A}, \quad T_{f1} = 2 \text{ ms}$$

$$K_b = 0.0915, \quad T_{fb} = 25 \text{ ms}$$

a)



b)  $G_{pi}(s) = \frac{K_e K_a K_i}{(1+T_{m1}s)(1+T_as)(1+T_{f1}s)}$

$$G_{s1}(s) = \frac{K_{s1}}{(1+T_{m1}s)(1+T_{f1}s)} \rightarrow K_{s1} = K_e K_a K_i = 12.5$$

$$T_{s1} = T_{m1} + T_{f1} = 4 \text{ ms}$$

$$T_{s1} = T_a \rightarrow T_{s1} = 25 \text{ ms}$$

$$K_{a1} = \frac{1}{2K_{s1}} \frac{T_{s1}}{T_{s1}} \rightarrow K_{a1} = 0.25$$

$$G_{PF1}(s) = \frac{K_i}{1+T_{f1}s}$$

c)  $a = 2$

$$G_{CL_1}(s) = \frac{1}{2\tilde{T}_{\Sigma_1} s^2 + 2\tilde{T}_{\Sigma_1} s + 1} \approx \frac{1}{1 + 2\tilde{T}_{\Sigma_1} s}$$

$$G_{P_2}(s) = \frac{K_K a}{s(1 + 2\tilde{T}_{\Sigma_1} s)(1 + T_{PF}s)}$$

$$G_{S_2}(s) = \frac{K_{S_2}}{\tilde{T}_u s (1 + \tilde{T}_{\Sigma_2} s)} \rightarrow \frac{K_{S_2}}{\tilde{T}_u} = \frac{K_K a}{s} = 0.08 G_3$$

$$\tilde{T}_{I_2} = a^2 \tilde{T}_{\Sigma_2} \Rightarrow \boxed{\tilde{T}_{I_2} = 132 \text{ ms}}$$

$$\tilde{T}_{\Sigma_2} = 2\tilde{T}_{\Sigma_1} + \tilde{T}_{PF} = 33 \text{ ms}$$

$$K_{e_2} = \frac{1}{a K_{S_2}} \frac{\tilde{T}_u}{\tilde{T}_{\Sigma_2}} \Rightarrow \boxed{K_{e_2} = 174,3056}$$

$$G_{PF_2}(s) = \frac{K_K}{(1 + \tilde{T}_{\Sigma_2} s)(1 + T_{PF}s)}$$

d)  $\gamma = \arctg(\tilde{T}_I \omega_c) - 180^\circ - \arctg(\tilde{T}_{\Sigma} \omega_c) + 180^\circ$

$$\gamma = \arctg \frac{\tilde{T}_I \omega_c - \tilde{T}_{\Sigma} \omega_c}{1 + \tilde{T}_I \tilde{T}_{\Sigma} \omega_c^2}$$

$$\tilde{T}_{\Sigma} \omega_c = \frac{1}{a}$$

$$\tilde{T}_I \omega_c = a$$

$$\gamma = \arctg \left[ \frac{1}{2} \left( a - \frac{1}{a} \right) \right]$$

②

$$K_i = 1, T_{ai} = 5 \text{ ms}$$

$$K = 1.33 \text{ Vs/mol}, S = 3 \text{ J/m}^2$$

a)

$$G_r(s) = \frac{T_I s + 1}{\frac{J T_{ai} T_I}{K_a K_i K} s^3 + \frac{J T_I}{K_a K_i K} s^2 + T_I s + 1}$$

$$b) D_i = 0.5$$



$$\alpha_1 = T_I \quad \alpha_2 = -\frac{J T_I}{K_a K_i K} \quad \alpha_3 = \frac{J T_{ai} T_I}{K_a K_i K}$$

$$\rightarrow \alpha_2^2 - 2\alpha_1\alpha_3 = 0$$

$$K_a = \frac{J}{2 K_i K T_{ai}} \Rightarrow K_a = 225.563 \text{ g}$$

$$\rightarrow \alpha_1^2 - 2\alpha_0\alpha_1 = 0$$

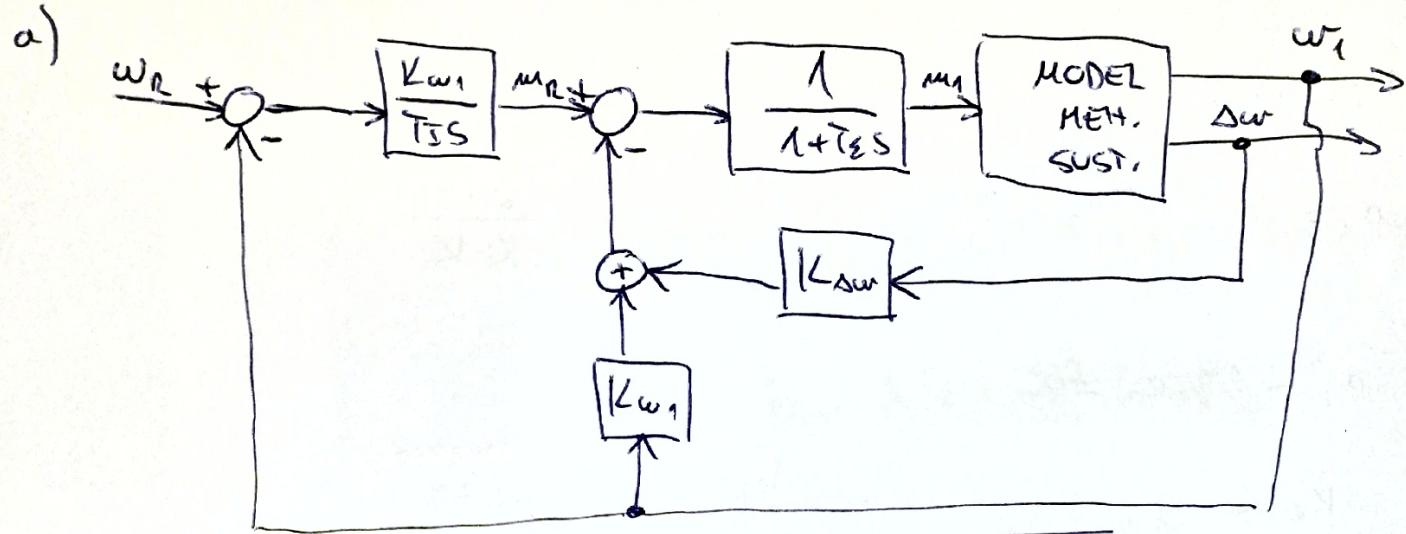
$$T_I = \frac{2J}{K_a K_i K} \Rightarrow T_I = 20 \text{ ms}$$

$$c) G_{pp}(s) = \frac{1}{T_I s + 1}$$

$$d) \boxed{G_{pp}(s) = 1}$$

$$\omega_\infty = \lim_{s \rightarrow 0} \left\{ s [1 - G_r(s)] - \frac{1}{s^2} \right\} = 0$$

$$\begin{aligned}
 ③ T_{M1} &= 1 \text{ s} & \rightarrow T_{M2} &= 4 \text{ s} \\
 T_{M2} &= 3 \text{ s} \\
 c &= 100 \text{ } \mu\text{m/vol} \\
 d &= 0.5 \text{ } \mu\text{m s/vol} \\
 T_B &= 1
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 b) T_{I1} &= 10 \text{ ms} \\
 T &= 1 \text{ ms} \quad \left. \begin{aligned} T_2 &= 11 \text{ ms} \\ \end{aligned} \right\} \quad \text{?}
 \end{aligned}$$

$$D_i = 0.5$$

$$D_{O2} = \frac{c}{\sqrt{T_B + T_{M2}}} = \frac{1053}{3} \text{ mol/s} \quad g_2 = \frac{d}{2c} T_B D_{O2} = \frac{\sqrt{3}}{120}$$

$$\rightarrow T_e = \frac{3}{2} T_2 + \sqrt{\frac{21}{4} T_2^2 + \frac{8}{D_{O2}^2}} = 1.1939 \text{ s}$$

$$\rightarrow a_1 = T_I + \frac{d}{c} = T_e \rightarrow T_I = 1.1889 \text{ s}$$

$$\rightarrow K_{w1} = \frac{T_I T_{M2} D_{O2}^2}{D_2 T_e^2 D_{O2}^2 - 2 g_2 (T_e D_{O2} - 2 g_2)} - 1$$

$$K_{w1} = 7.0271$$

$$c) D_5 = ?$$

$$g = \frac{d}{2C} T_B R_o = \frac{\sqrt{3}}{60}$$

$$R_o = \sqrt{\frac{C}{T_B} \left( \frac{1}{T_{m1}} + \frac{1}{T_{m2}} \right)} = \frac{20\sqrt{3}}{3}$$

$$D_5 = \frac{a_5 a_3}{a_4^2} \Rightarrow a_5 = \frac{T_I T_{m2} T_E}{K w_i R_o^2} = 5.5832 \cdot 10^{-5}$$

$$a_4 = \frac{T_I T_{m2} T_E}{K w_i} \left( \frac{2 g T_E}{R_o} + \frac{1}{R_o^2} \right) = 5.1129 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = \frac{T_I T_{m2}}{K w_i} \left( T_E + \frac{2 g}{R_o} \right) + \cancel{a_3} + \cancel{a_3} \frac{T_E}{R_o^2}$$

$$a_3 = 0.0354$$

$$D_5 = 0.0763$$