

Završni ispit

08. veljače 2016.

docx je kralj!

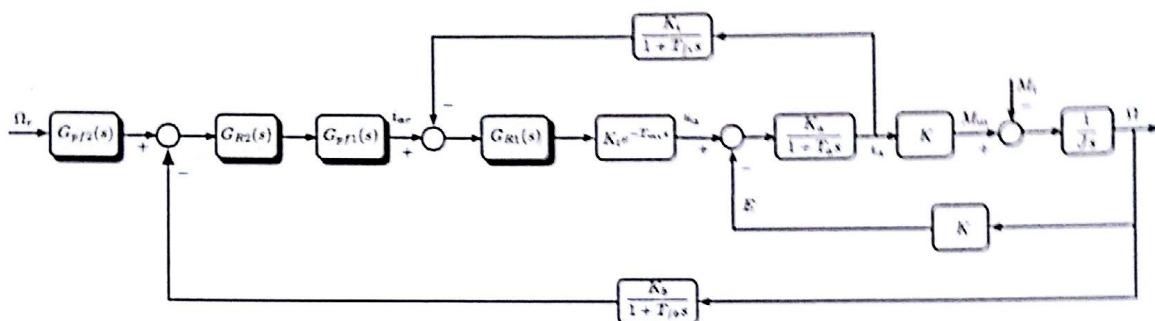
Matlent breh

Ime i Prezime:

Napomena: Zadatke obvezno predati s rješenjima nakon završetka testa.

1. zadatak (15 bodova)

Kaskadna struktura upravljanja brzinom vrtnje istosmjernog motora prikazana je na slici 1, pri čemu pojedini parametri iznose: $K_a = 5 \text{ A/V}$, $T_a = 0.025 \text{ s}$, $K = 1.33 \text{ Vs/rad}$, $K_t = 44$, $T_{mi} = 1.66 \text{ ms}$, $K_t = 0.1 \text{ V/A}$, $T_{f1} = 2 \text{ ms}$, $K_b = 0.0318$, $T_{fb} = 15 \text{ ms}$, $J = 2.4 \text{ kg m}^2$.



Slika 1: Blokovska shema kaskadnog upravljanja brzinom vrtunje DC motora s nezavisnom uzbudom

- a) **(3 boda)** Projektirati PI regulator struje armature $G_{R1}(s)$ prema tehničkom optimumu kao i prefiltar referentne vrijednosti struje armature $G_{pf1}(s)$.

b) **(4 boda)** Projektirati regulator brzine vrtnje motora $G_{R2}(s)$ prema simetričnom optimumu tako da se postigne fazno osiguranje $\gamma = 45^\circ$. Također je potrebno projektirati prefiltar u referentnoj grani brzine vrtnje $G_{pf1}(s)$.

c) **(3 boda)** Odrediti najveće pojačanje PI regulatora struje armature kojim se postiže odziv zatvorenog kruga struje armature bez nadvišenja.

d) **(5 bodova)** Projektirati digitalni PI regulator brzine vrtnje motora po simetričnom optimumu, korištenjem bilinearne transformacije (pseudofrekvencijska domena), uz pretpostavku uzorkovanja primjenom ekstrapolatora nultog reda (ZOH), uz vrijeme uzorkovanja $T_s = 2$ ms, tako da brzina odziva bude približno jednaka brzini odziva iz b) zadatka.

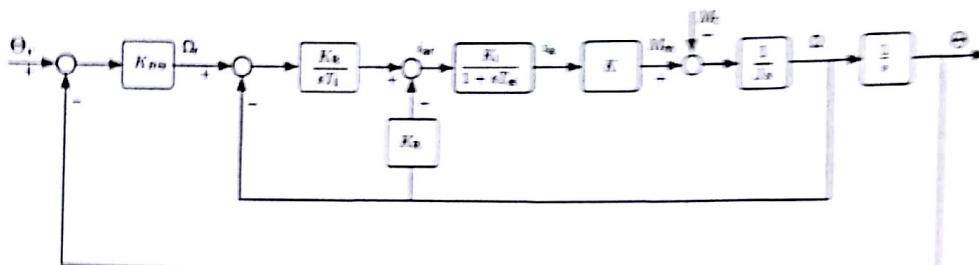
Napomena: Doprinos ekstrapolatora nultog reda (ZOH), može se aproksimirati kao $G_{ZOH}(s) = e^{-s(T_s/2)}$. U zadatku se pretpostavlja da je presječna frekvencija pokazatelj brzine odziva zatvorenog kruga.

Podsjetnik:

$$\operatorname{atan}(x) - \operatorname{atan}(y) = \operatorname{atan} \frac{x-y}{1-xy}, \quad (1)$$

2. zadatak (10 bodova)

Struktura upravljanja položajem osovine istosmjernog motora s nezavisnom i konstantnom izvodom prikazana je blokovskom shemom na slici 2. Krug regulacije stavljačne struje nadomješten je PT1 članom. Zadano je $K_t = 1 \text{ A/A}$, $T_{te} = 3.66 \text{ ms}$, $K = 1.33 \text{ Vs/rad}$ i $J = 2 \text{ kg m}^2$. Potrebno je:

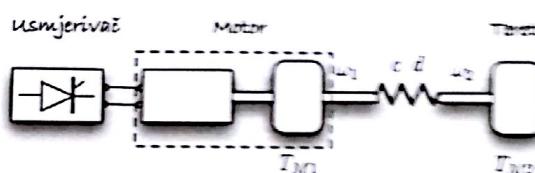


Slika 2: Blokovska shema upravljanja pozicijom DC motora s nezavisnom izvodom.

- (3 boda) Odrediti prijenosnu funkciju $G_\theta(s) = \frac{\Theta(s)}{\Theta_r(s)}$.
- (5 bodova) Odrediti parametre regulatora $K_{p\theta}$, K_R i T_J , koristeći moćni optimam, pri tome odabrati skup parametara koji osigurava brži odziv.
- (2 boda) Osigurava li regulator iz b) dijela zadatka eliminaciju regulacijskog odstupanja u ustaljenom stanju u slučaju referentne veličine oblika skokovite pobjede, obrazložiti odgovor. Ukoliko ne osigurava koliko iznosi regulacijsko odstupanje u ustaljenom stanju?

3. zadatak (10 bodova)

Za dvomaseni elastični sustav zadani su sljedeći normirani parametri: $T_{M1} = 1.0 \text{ s}$ - motor; $T_{M2} = 2.0 \text{ s}$ - teret; $c = 100 \text{ Nm/rad}$ - konstanta krutosti; $d = 0.5 \text{ Nms rad}$ - konstanta prigušenja; $T_S = 1 \text{ s}$ - normirana vremenska konstanta.



Slika 3: Skica radnog stroja s remenskim prijenesom

- (2 boda) Potrebno je nacrtati strukturu blokovsku shemu nadomještenog kontinuiranog regulacijskog kruga brzine vrtnje s PI regulatorom brzine vrtnje.
- (3 boda) Potrebno je odrediti parametre PI regulatora uz korištenje optimuma dvostrukog odnosa uz $D_1 = 0.5$, uz nadomjesnu vremensku konstantu podređenog regulacijskog kruga struje $T_{se} = 0.01 \text{ s}$ i vrijeme uzorkovanja $T = 0.001 \text{ s}$.
- (2 boda) Koliko iznosi karakteristični odnos D_4 ?
- (3 boda) Koliko bi iznosili parametri podoptimalnog (u smislu optimuma dvostrukog odnosa) PI regulatora kojim se postiže nadomjesna vremenska konstanta zatvorenog kruga brzine vrtnje $T_e = 0.4 \text{ s}$, uz dominantni karakteristični odnos $D_2 = 0.5$. Koliko u tom slučaju iznosi karakteristični odnos D_3 ?

Napomena: Nadomjesnu vremensku konstantu zatvorenog kruga u a) dijelu zadatka odredite koristeći približnu relaciju.

21-2016

① $K_a = 5 \text{ A/V}$, $T_a = 25 \text{ ms}$

$$K_t = 44, T_{mi} = 1.66 \text{ ms}$$

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

$$K_b = 0.0318, T_{fo} = 15 \text{ ms}$$

$$K = 1.33 \text{ Vs/vol}, S = 2.4 \text{ kg m}^2$$

a)

$$G_{P_1}(s) = \frac{K_t K_a K_i}{(1+T_{mi}s)(1+T_a s)(1+T_{fi}s)}$$

$$G_{S_1}(s) = \frac{K_{S_1}}{(1+T_{S_1}s)(1+T_{Z_1}s)} \rightarrow K_{S_1} = K_t K_a K_i = 22$$
$$T_{S_1} = T_{mi} + T_{fi} = 3.66 \text{ ms}$$

$$T_{I_1} = T_a = 25 \text{ ms}$$

$$K_{a1} = \frac{1}{2K_{S_1}} \frac{T_{S_1}}{T_{Z_1}} \Rightarrow K_{a1} = 0.1552$$

$$G_{PF_1} = \frac{K_i}{1+T_{fi}s}$$

b) $\varphi = 45^\circ \rightarrow a = t_2 r + \frac{1}{\cos \varphi} \Rightarrow a = 1 + j 2$

$$G_{r_1}(s) = \frac{1}{2T_{Z_1}^2 s^2 + 2T_{Z_1}s + 1} \approx \frac{1}{1 + 2T_{Z_1}s}$$

$$G_{P_2}(s) = \frac{K K_b}{JS(1+2T_{Z_1}s)(1+T_{fo}s)} \rightarrow \frac{K_{S_2}}{T_a} = \frac{KK_b}{J} = 0.0176$$

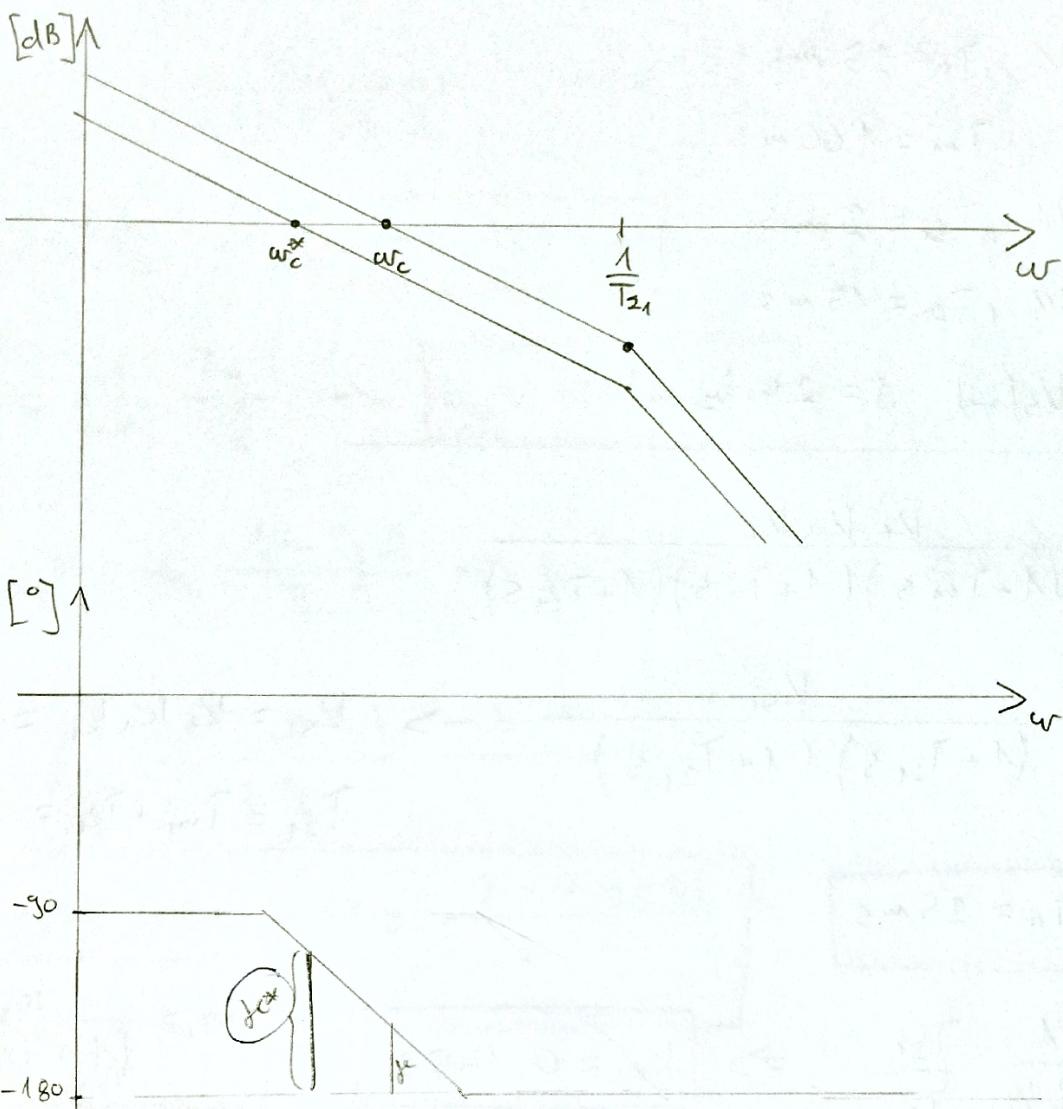
$$T_{I_2} = a^2 T_{Z_2} \Rightarrow T_{I_2} = 0.13 \text{ s}$$

$$T_{Z_2} = 2T_{Z_1} + T_{fo} = 22.32 \text{ ms}$$

$$K_{a2} = \frac{1}{a K_{S_2}} \frac{T_a}{T_{Z_2}} \Rightarrow K_{a2} = 1053.083$$

$$G_{PF_2} = \frac{K_b}{(1+T_{I_2}s)(1+T_{fo}s)}$$

c)



$$\gamma^* = 70^\circ$$

$$\Rightarrow \gamma^* = -90^\circ + 180^\circ - \text{arg} T_{S1} \omega_c^* \Rightarrow \omega_c^* = \frac{\tan 70^\circ}{T_{z1}}$$

$$|G_{n1}(j\omega_c^*)| = 1$$

$$K_{E_1}^* = \left| \frac{T_{S1} \omega_c^* j(1 + j\omega_c^* T_{z1})}{K_{S1}} \right|$$

$$K_{E_1}^* = 0.1203$$

$$d) T_s = 2 \text{ ms}$$

$$G_s(\underline{z}) = \frac{K_s}{(1 + T_{\Sigma_2}^* \underline{z}) T_u \underline{z}} \rightarrow T_{\Sigma_2}^* = T_{\Sigma_2} + \frac{T_s}{2} = 23.32 \text{ ms}$$

$$\bar{T}_I = a^2 T_{\Sigma_2}^* \Rightarrow \boxed{\bar{T}_I = 0.1359 \text{ s}}$$

$$K_a = \frac{1}{a K_s} \frac{T_u}{T_{\Sigma_2}^*} \Rightarrow \boxed{K_a = 1009.2136}$$

$$G_a(\underline{z}) = K_a \frac{1 + T_I \underline{z}}{T_I \underline{z}} \rightarrow \text{BILIN. TRANSF.: } \underline{z} = \frac{2}{1} \frac{z-1}{z+1}$$

$$G_a(z) = \frac{K_a (\bar{T}_s + 2 \bar{T}_I)}{2 \bar{T}_I} \frac{z + \frac{T_s - 2 \bar{T}_I}{2 \bar{T}_I + T_s}}{z - 1}$$

$$\boxed{G_a(z) = 1016.6398 \frac{z - 0.9859}{z - 1}}$$

$$\textcircled{2} \quad K_i = 1 \text{ A/A}, T_{ei} = 3.66 \text{ ms}$$

$$K = 1.33 \text{ Vs/rad}, S = 2 \text{ kg m}^2$$

a)

$$G_r(s) = \frac{1}{\frac{\sqrt{T_{ei} T_I}}{K K_i K_a K_{ea}} s^4 + \frac{\sqrt{T_I}}{K K_i K_a K_{ea}} s^3 + \frac{T_I}{K_{ea}} s^2 + \frac{1}{K_{ea}} s + 1}$$

$$\text{b)} \quad a_1 = \frac{1}{K_{ea}} \quad a_2 = \frac{T_I}{K_{ea}} \quad a_3 = \frac{\sqrt{T_I}}{K K_i K_a K_{ea}} \quad a_4 = \frac{\sqrt{T_{ei} T_I}}{K K_i K_a K_{ea}}$$

$$\Rightarrow a_3^2 = 2 a_2 a_4 \Rightarrow K_a = 205.4316$$

$$\rightarrow a_1^2 = 2 a_2$$

$$a_2^2 - 2 a_1 a_3 + 2 a_0 a_4 = 0$$

$$K_{ea_1} = 233.2113$$

$$T_{I_1} = 2.14 \text{ ms}$$

IMA MANSU VREM.
KONSTANTU

$$K_{ea_2} = 40.0127$$

$$T_{I_2} = 12.5 \text{ ms}$$

$$\text{c)} \omega_\infty = \lim_{s \gg 0} \left\{ s [1 - G_r(s)] \cdot \frac{1}{s} \right\} =$$

$$= 0$$

\rightarrow REGULATOR OSIGURAVA ELIMINACIJU REG. ODSTUPANJA
U USTALJENOM STANJU JER NEKA POGREŠKE

$$\text{tj. } \omega_\infty = 0$$

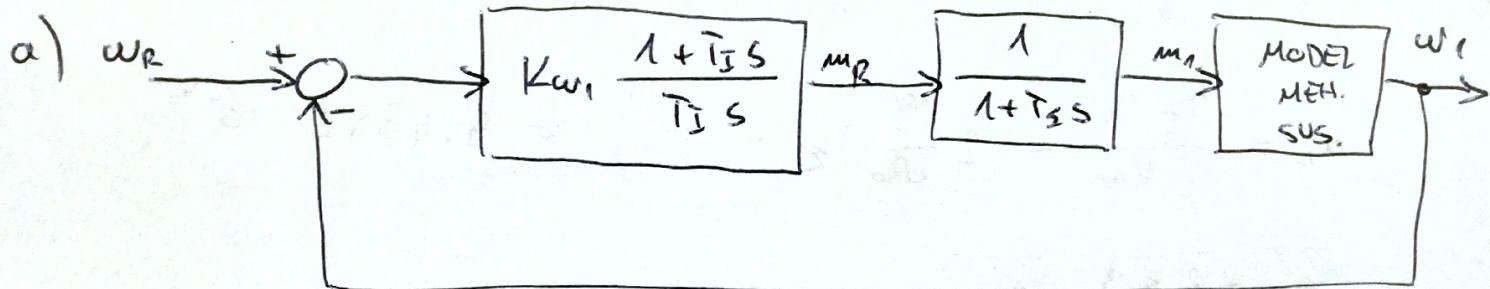
$$\textcircled{3} \quad T_{M_1} = 1s \quad \rightarrow \quad T_{M_2} = 3s$$

$$T_{B_1} = 2s$$

$$c = 100 \text{ Nm/rad}$$

$$d = 0.5 \text{ Nms/rad}$$

$$T_B = 1$$



b) $D_i = 0.5$

$$T_{e_1} = 10 \text{ ms} \quad \rightarrow \quad T_2 = 11 \text{ ms}$$

$$T_i = 1 \text{ ms}$$

$$R_{o_2} = \sqrt{\frac{c}{T_B T_{M_2}}} = 5\sqrt{2} \quad T_e = \frac{3}{2} T_2 + \sqrt{\frac{21}{4} T_2^2 + \frac{8}{R_{o_2}^2}}$$

$$T_e = 0.4123 \text{ s}$$

$$\Rightarrow a_1 = T_I + 2 \cdot g_2 \cdot R_{o_2}^{-1}$$

$$a_1 = T_e$$

$$T_I = T_e - \frac{d}{c} \Rightarrow T_I = 0.4123 \text{ s}$$

$$g_2 = \frac{d}{2c} T_B R_{o_2} = \frac{\sqrt{2}}{80}$$

$$\Rightarrow K_{w_1} = \frac{T_I T_{M_2} R_{o_2}^2}{D_2 T_e^2 R_{o_2}^2 - 2 g_2 (T_e R_{o_2} - 2 g_2) - 1}$$

$$K_{w_1} = 19.0273$$

(5)

$$c) R_0 = \sqrt{\frac{c}{T_B} \left(\frac{1}{T_{M1}} + \frac{1}{T_{M2}} \right)} = 5 \Omega$$

$$g = \frac{d}{2c} T_B R_0 = \frac{50}{80}$$

$$\alpha_3 = \frac{T_I T_{M2}}{K_{w1}} \left(T_E + \frac{2g}{R_0} \right) + \frac{T_J}{R_{02}^2} = 9.286 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_4 = \frac{T_I T_{M2}}{K_{w1}} \left(2 \frac{g}{R_0} T_E + \frac{1}{R_0^2} \right) = 4.4052 \cdot 10^{-4}$$

$$\rightarrow D_3 D_2^2 T_E^3 = \alpha_3$$

$$D_4 D_3^2 D_2^3 T_E^4 = \alpha_4$$

$$D_4 = \frac{\alpha_4 D_2 T_E^2}{\alpha_3^2} \Rightarrow D_4 = 0.4448$$

$$d) T_E = 0.4 \text{ s}$$

$$D_2 = 0.5$$

$$\rightarrow T_J = T_E - \frac{d}{c} \Rightarrow T_J = 0.395 \text{ s}$$

$$\rightarrow K_{w1} = 20.4222$$

$$\rightarrow D_3 D_2^2 T_E^3 = \alpha_3 \rightarrow \alpha_3 = 8.8284 \cdot 10^{-3}$$

$$D_3 = \frac{\alpha_3}{D_2^2 T_E^3}$$

$$D_3 = 0.5518$$