

Završni ispit

6. veljače 2018.

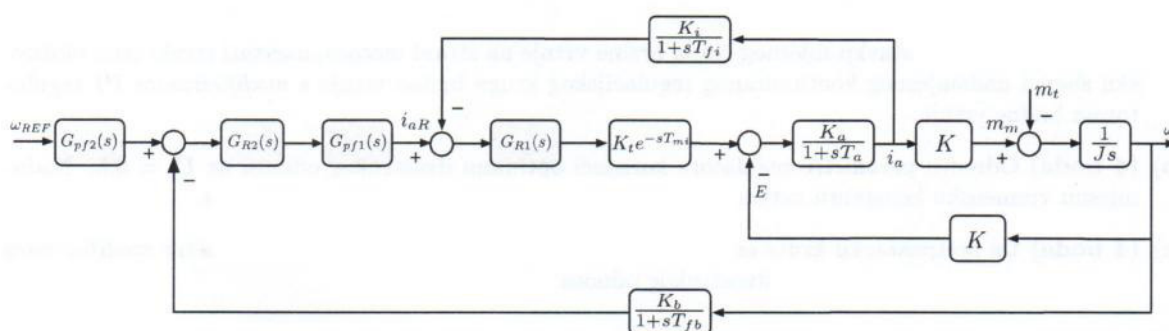
Ime i Prezime:

Matični broj:

Napomena: Zadatke obavezno predati s rješenjima nakon završetka testa.

1. zadatak (15 bodova)

Kaskadna struktura upravljanja brzinom istosmjernog motora prikazana je na slici 1, pri čemu pojedini parametri iznose: $K_a = 4.5 \text{ A/V}$, $T_a = 0.025 \text{ s}$, $K = 1.33 \text{ Vs/rad}$, $K_t = 44$, $T_{mi} = 1.66 \text{ ms}$, $K_i = 0.1 \text{ V/A}$, $T_{fi} = 2 \text{ ms}$, $K_b = 0.0318$, $T_{fb} = 20 \text{ ms}$, $J = 3.2 \text{ kg m}^2$.



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

Potrebno je:

- (4 boda) Odrediti parametre PI regulatora struje armature $G_{R1}(s)$ prema tehničkom optimumu kao i prefiltar referentne vrijednosti struje armature $G_{pfi}(s)$.
- (4 boda) Odrediti parametre PI regulatora brzine vrtnje $G_{R2}(s)$ prema simetričnom optimumu uz $a = 2$. Također je potrebno projektirati prefiltar u referentnoj grani brzine vrtnje $G_{pfi}(s)$ kojim se krata neželjene nule.
- (3 boda) Ukoliko je regulator projektiran po simetričnom optimumu, objasniti kako parametar a utječe na brzinu odziva?
- (4 boda) Ukoliko se pojačanje PI regulatora brzine vrtnje smanji dva puta, u odnosu na pojačanje iz b) dijela zadatka, što se dogodi s nadvišenjem? Odrediti najmanji iznos integralne vremenske konstante kojim se postiže isto nadvišenje kao i u b) dijelu zadatka.

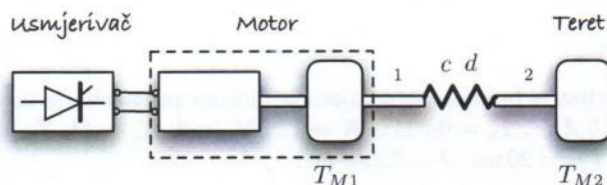
Napomena: Pretpostaviti pad od -20 dB/dek u okolini presječne frekvencije.

Podsjetnik:

$$\text{atan}(x) - \text{atan}(y) = \text{atan} \frac{x - y}{1 + xy}. \quad (1)$$

2. 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. Nadomjesna vremenska konstanta podređenog regulacijskog kruga struje iznosi $T_{ei} = 0.01\text{ s}$, dok vrijeme uzorkovanja iznosi $T = 0.001\text{ s}$

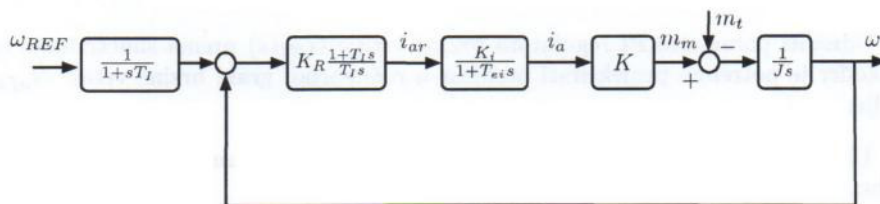


- (2 boda) Uz pretpostavku mjernog člana brzine vrtnje na strani motora, nacrtati strukturnu blokovsku shemu nadomjesnog kontinuiranog regulacijskog kruga brzine vrtnje s *modificiranim* PI regulatorom brzine vrtnje.
- (4 boda) Odrediti parametre regulatora koristeći optimum dvostrukog odnosa uz $D_i = 0.5$. Nadomjesnu vremensku konstantu zatvorenog kruga, odredite koristeći približnu relaciju.
- (4 boda) Uz pretpostavku krute osovine (bez elastičnosti) izvesti izraze za parametre *modificiranog* PI regulatora koristeći optimum dvostrukog odnosa.

Napomena: **Modificirani PI regulator ima izmješteno proporcionalno djelovanje u povratnu vezu.**

3. zadatak (10 bodova)

Nadređena petlja upravljanja brzinom vrtnje istosmjernog motora s nezavisnom i konstantnom uzбудom prikazana je blokovskom shemom na slici 2. Zadano je: $K_i = 0.5$, $T_{ei} = 5\text{ ms}$, $K = 1.33\text{ Vs/rad}$ i $J = 3\text{ kgm}^2$, $b = 0.1\text{ Ns}$.



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

Potrebno je:

- (6 bodova) Odrediti parametre PI regulatora brzine vrtnje koristeći modulni optimum.
- (4 boda) Osigurava li regulator iz a) dijela zadatka eliminaciju pogreške slijeđenja u slučaju referentne veličine oblika funkcije linearnog porasta (rampe). Obrazložiti odgovor. Ako ne osigurava, koliko iznosi pogreška slijeđenja u ustaljenom stanju?

21-2018

① $K_a = 4.5 \text{ A/V}$, $T_a = 25 \text{ ms}$

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

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

$K_b = 0.0318$, $T_{fb} = 20 \text{ ms}$

$K = 1.33 \text{ Vs/rev}$, $J = 3.2 \text{ kg m}^2$

a) $G_{Pi}(s) = \frac{K_e K_a K_i}{(1 + T_{mi}s)(1 + T_a s)(1 + T_{fi}s)}$

$G_{S1}(s) = \frac{K_{S1}}{(1 + T_{J1}s)(1 + T_{Z1}s)}$

$\rightarrow K_{S1} = K_e K_a K_i = 19.8$

$T_{Z1} = T_{mi} + T_{fi} = 3.66 \text{ ms}$

$T_{J1} = T_a = 25 \text{ ms}$

$K_{R1} = \frac{1}{2 K_{S1}} \frac{T_{J1}}{T_{Z1}} \Rightarrow K_{R1} = 0.1725$

$G_{PFI}(s) = \frac{K_i}{1 + s T_{fi}}$

b) $a = 2$

$G_{C1}(s) = \frac{1}{2 T_{Z1}^2 s^2 + 2 T_{Z1} s + 1} \approx \frac{1}{1 + 2 T_{Z1} s}$

$G_{P2}(s) = \frac{K K_b}{J s (1 + 2 T_{Z1} s)(1 + T_{fb} s)}$

$\rightarrow \frac{K_{S2}}{T_M} = \frac{K K_b}{J} = 0.0132$

$T_{Z2} = 2 T_{Z1} + T_{fb} = 27.32 \text{ ms}$

$T_{J2} = a^2 T_{Z2} \Rightarrow T_{J2} = 109.28 \text{ ms}$

$K_{R2} = \frac{1}{a K_{S2}} \frac{T_M}{T_{Z2}} \Rightarrow K_{R2} = 1384.7154$

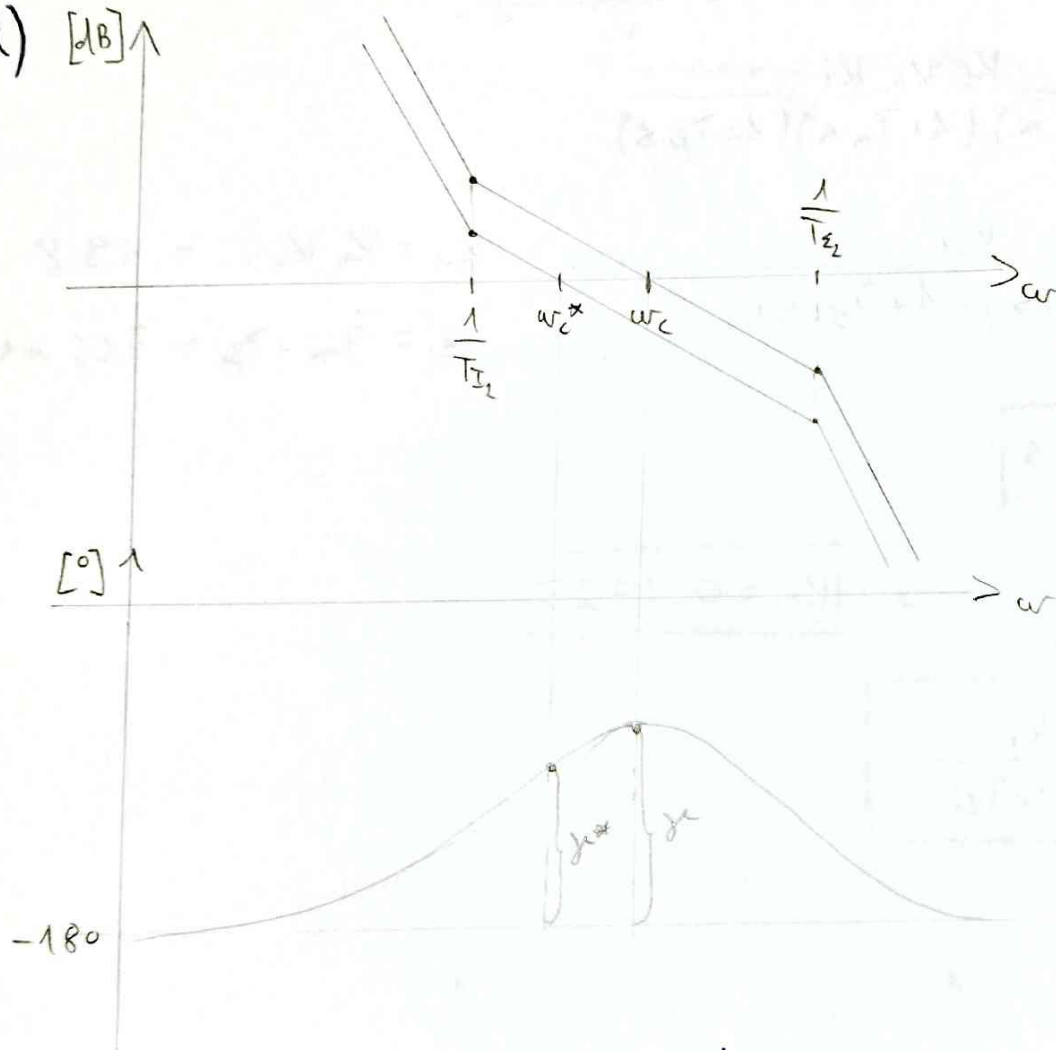
$$G_{PF2}(s) = \frac{K_R}{(1 + T_{I1}s)(1 + T_{I2}s)}$$

c) ŠTO JE PRESJEČNA FREKV. ω_c VEĆA, ODZIV JE BRŽI.

$\omega_c = \frac{1}{aT_2} \Rightarrow$ ŠTO JE a MANJI, ODZIV ĆE BITI BRŽI.

d) [dB] ↑

$$\omega_c^* = \frac{1}{2} \omega_c$$



→ MJEŃJANJEM POJAĆANJA $K_R^* = \frac{1}{2} K_R$ MJEŃJA SE AMPL. KAR.
TJ. $\omega_c^* = \frac{1}{2} \omega_c$

→ IZ BODEOVOG DIJAGRAMA SE VIDI DA JE $\gamma^* < \gamma$
TJ. NADVIŠENJE JE VEĆE KAD SE POJAĆANJE SHMANI

$$K_e^* = 0.5 K_a \rightarrow \omega_c^* = 0.5 \omega_c, \quad \omega_c = \frac{1}{a T_{z2}}$$

$$\omega_c^* = \frac{1}{2a T_{z2}}$$

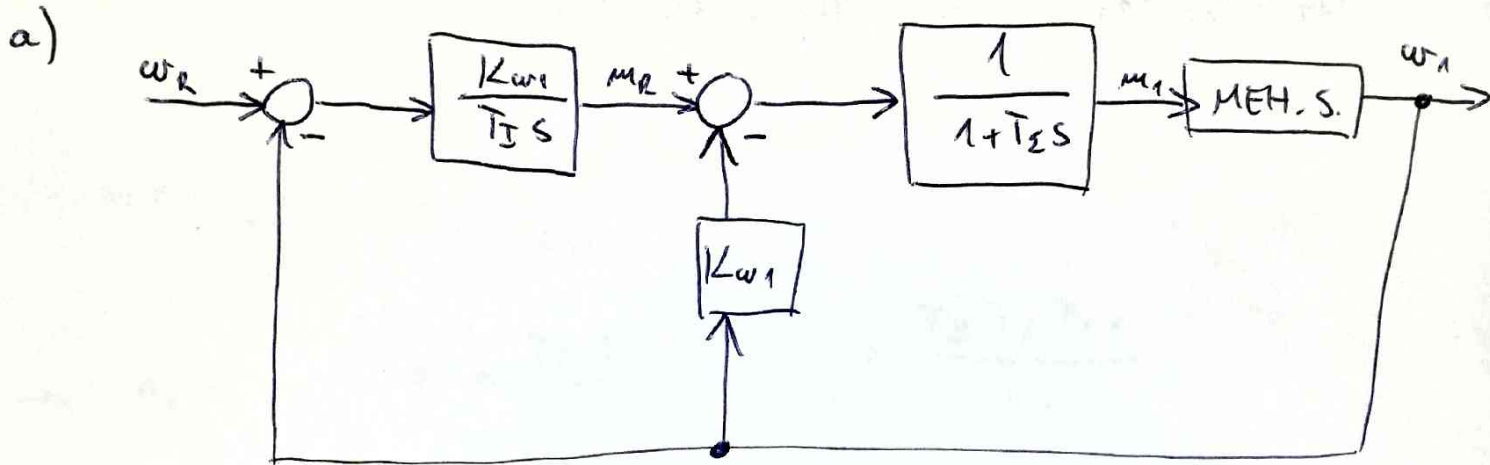
$$\rightarrow \gamma = \arg(T_{I2}^* \omega_c^*) - \arg(T_{z2} \omega_c^*)$$

$$T_{I2}^* = \frac{64}{13} T_{z2} \Rightarrow$$

$$T_{I2}^* = 134.5 \text{ ms}$$

② $T_{M1} = 1 \text{ s}$
 $T_{M2} = 3 \text{ s}$
 $c = 100 \text{ Nm/rad}$
 $d = 0.5 \text{ Nm s/rad}$
 $T_B = 1 \text{ s}$
 $T_{ei} = 10 \text{ ms}$
 $T = 1 \text{ ms}$

$\rightarrow T_{M2} = T_{M1} + T_{M2} = 4 \text{ s}$
 $\rightarrow T_I = T_{ei} + T = 11 \text{ ms}$



b) $D_i = 0.5$

$$T_e = \frac{3}{2} T_I + \sqrt{\frac{21}{4} T_I^2 + 8 \Omega_{o2}^{-2}} \Rightarrow T_e = 0.507 \text{ s}$$

$$\Omega_{o2} = \sqrt{\frac{c}{T_B T_{M2}}} \quad g_2 = \frac{d}{2c} \Omega_{o2}$$

$$\rightarrow a_1 = T_I + 2 g_2 \Omega_{o2}^{-1} = T_I + \frac{d}{c}$$

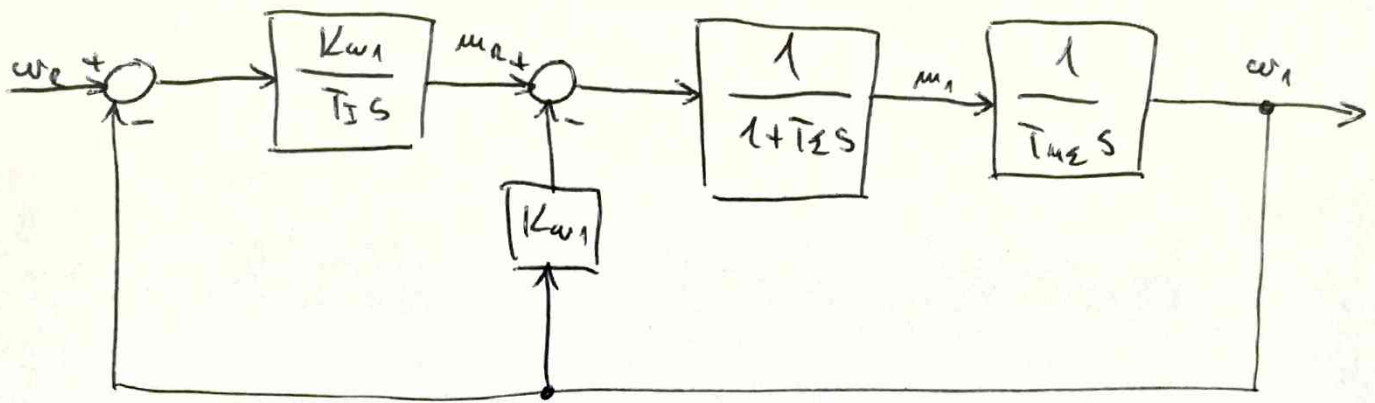
$$a_1 = T_e$$

$$T_I = T_e - \frac{d}{c} \Rightarrow \boxed{T_I = 0.502 \text{ s}}$$

$$\rightarrow K_{w1} = \frac{T_I T_{M2} \Omega_{o2}^2}{D_2 T_e^2 \Omega_{o2}^2 - 2 g_2 (T_e \Omega_{o2} - 2 g_2) - 1}$$

$$\boxed{K_{w1} = 20.9104}$$

e) • U SLUČAJU KRUTOG PRIJENOSA ($c \rightarrow \infty$):
 $d=0$



$$G_T(s) = \frac{1}{\frac{T_I T_I T_{u2}}{K_{w1}} s^3 + \frac{T_I T_{u2}}{K_{w1}} s^2 + T_I s + 1}$$

$$\rightarrow a_1 = T_I \quad a_2 = \frac{T_I T_{u2}}{K_{w1}} \quad a_3 = \frac{T_I T_I T_{u2}}{K_{w1}}$$

$$a_1 = T_e \Rightarrow \boxed{T_I = T_e}$$

$$a_2 = D_2 T_e^2 \Rightarrow \boxed{K_{w1} = \frac{T_{u2}}{D_2 T_e}}$$

$$a_3 = D_3 D_2^2 T_e^3 \Rightarrow D_3 = \frac{T_I}{D_2 T_e}$$

2A $D_i = 0.5$:

$$\rightarrow a_2^2 = 2 a_1 a_3$$

$$\frac{\cancel{T_I}^2 \cancel{T_{u2}}^2}{K_{w1}^2} = 2 \cancel{T_I}^2 \frac{\cancel{T_I} T_{u2}}{K_{w1}}$$

$$\rightarrow \boxed{K_{w1} = \frac{T_{u2}}{2 T_I}}$$

$$\rightarrow a_1^2 = 2 a_0 a_2$$

$$\bar{T}_I^2 = \frac{2 \cancel{T_I} T_{u2}}{K_{w1}}$$

$$\rightarrow \boxed{\bar{T}_I = 4 T_I}$$

21-2018-3 mol

$$K_i = 0.5$$

$$T_{ei} = 5 \text{ ms}$$

$$K = 1.33 \text{ Vs/ml}$$

$$J = 3 \text{ kg m}^2$$

$$a) \quad G_o(s) = \frac{K_e K K_i (1 + T_I s)}{T_I T_{ei} J s^3 + T_I J s^2}$$

$$G_r(s) = \frac{K_e K K_i}{T_I T_{ei} J s^3 + T_I J s^2 + T_I K_e K K_i s + K_e K K_i}$$

$$\rightarrow a_0 = 1 \quad a_2 = \frac{T_I J}{K_e K K_i}$$

$$a_1 = T_I \quad a_3 = \frac{T_I T_{ei} J}{K_e K K_i}$$

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

\downarrow
0

$$K_e = \frac{J}{2 T_{ei} K K_i}$$

$$K_e = 451.13$$

$$\rightarrow a_1^2 - 2a_0 a_2 = 0$$

$$T_I = \frac{2J}{K_e K K_i}$$

$$T_I = 20 \text{ ms}$$

b) &

REGULATOR NE OSIGURAVA ELIMINACIJU POGREŠKE SLJEDEŃJA
JER PREFILTAR POMIŠTAVA DJELOVANJE NULJE PI REGULATORA.

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

POGREŠKA SLJEDEŃJA U USTALJENOM STANJU JE T_I .