

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

TEHNIKE UPRAVLJANJA U MEHATRONICI

### **3. laboratorijska vježba**

Priprema i upute za rad na vježbi

Zagreb, studeni 2023.

## 1. Uvod

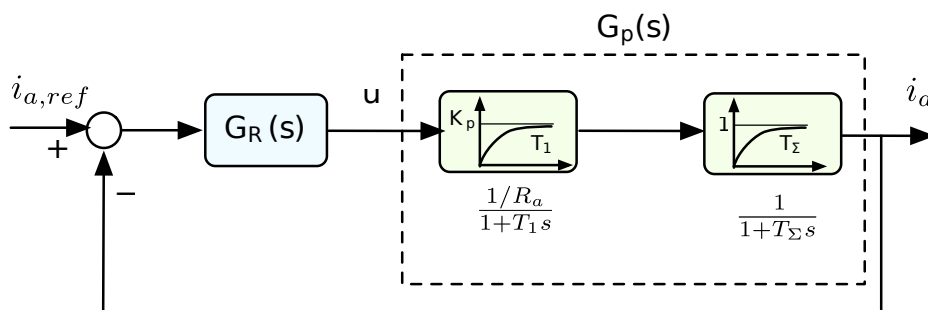
Visoke performanse upravljanja složenim sustavima često nije moguće postići korištenjem jednopenljustih struktura upravljanja gdje regulator reagira na promjene koje se dogode unutar sustava tek nakon što se njihov efekt registrira na iznosu izlazne veličine. U tom slučaju koristi se višepetljasta kaskadna struktura. Glavni regulator ne djeluje neposredno na izvršni element nego tvori referentnu veličinu za podređeni regulator koji kompenzira utjecaj smetnje u podređenom regulacijskom krugu. Nakon obavljene sinteze podređenog regulacijskog kruga, problem sinteze vanjskog kruga svodi se na standardni problem sinteze jednopenljustog regulacijskog kruga (ako se radi o dvopenljustoj kaskadnoj strukturi). Podređeni regulacijski krugovi su obično brži od nadređenih, te se često prijenosna funkcija podređenog regulacijskog kruga može strukturno pojednostavniti.

Cilj ove vježbe je upoznavanje s procesom projektiranja i implementacije kaskadnog sustava upravljanja pozicije istosmjernog motora. Regulator struje je već implementiran te je potrebno dizajnirati regulacijsku petlju brzine vrtnje i pozicije motora. Podređena petlja po struji eliminira utjecaj induciranog napona motora. Petlja brzine eliminira utjecaj momenta tereta. Kaskadna struktura upravljanja brzinom vrtnje može se proširiti dodatnim P regulatorom za upravljanje pozicijom.

## 2. Rad na vježbi

### 2.1. Sinteza regulatora struje

Za proračun parametara PI regulatora struje najčešće se koristi tehnički optimum. Tehnički optimum koristi se za procese bez astatizma, s ciljem postizanja amplitudno-frekvencijske karakteristike zatvorenog regulacijskog kruga  $|G_r(j\omega)|$  koja ima konstantnu vrijednost u čim širem frekvencijskom području ( $\omega_b$  čim veće) bez rezonantnog uzdizanja.



Slika 2.1: Regulacijska petlja struje.

Za podešavanje regulatora struje prema Slici 2.1, potrebno je:

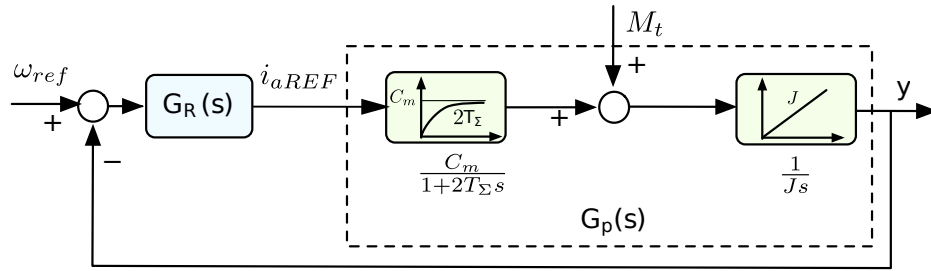
1. Identificirati dominantnu vremensku konstantu procesa  $T_1$
2. Nedominantne vremenske konstante zbrojiti u  $T_\Sigma$
3. Integralnom vremenskom konstantom  $T_I$  pokratiti dominantnu vremensku konstantu  $T_1$  (odabrati  $T_I = T_1$ )
4. Pojačanje regulatora odabrati kao  $K_R = \frac{R_a}{2} \frac{T_1}{T_\Sigma}$

Regulator struje je već podešen na vježbi te se zatvorena petlja struje može aproksimirati sljedećom prijenosnom funkcijom:

$$G_{cl1}(s) = \frac{1}{1 + 2T_\Sigma s}, \quad (2.1)$$

## 2.2. Sinteza regulatora brzine vrtnje

Za proračun parametara PI regulatora brzine vrtnje najčešće se koristi simetrični optimum. Simetrični optimum se koristi za procese s astatizmom prvog reda, s ciljem dobivanja simetrične amplitudno-frekvencijske karakteristike. Regulator podešen po simetričnom optimumu ima dobro vladanje na poremećaj, ali veliko nadvišenje na referencu. Kompenzacija regulatorijskog nadvišenja efikasno se može postići dodavanjem prefiltra u granu referentne veličine.



Slika 2.2: Regulacijska petlja brzine vrtnje.

Parametri sustava ovisno o laboratorijskom postavu dani su u Tablici 2.1 za rotacijske module Quanser i ME13.

Tablica 2.1: Parametri laboratorijskih postava.

	Quanser	ME13
$T_\Sigma$ [s]	0.002	0.010
$J$ [kgm <sup>2</sup> ]	0.0060	0.0049
$C_m$ [Nm/A]	0.8333	0.7342
$T_{fb}$ [s]	0.010	0.010

- Koja veličina se nalazi na izlazu iz regulatora brzine vrtnje?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Postavite ograničenje na izlaz iz regulatora.
- Uz pretpostavku da je PI regulator struje armature podešen po tehničkom optimumu, parametri PI regulatora brzine određuju se kako slijedi:

1.  $T_{I\omega} = 8T_\Sigma$

2.  $K_{R\omega} = \frac{J}{4C_m T_\Sigma}$

- Odredite parametre PI regulatora i implementirajte anti-windup:

$$T_{I\omega} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$K_{R\omega} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Uklonite filter brzine vrtnje koji se nalazi u Simulink modelu, postavite referencu brzine vrtnje i napravite eksperiment.

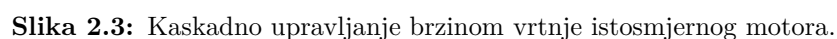
1.  $T_{I\omega} = 4(2T_{\Sigma} + T_{fb})$
2.  $K_{R\omega} = \frac{J}{2C_m(2T_{\Sigma} + T_{fb})}$

- $$T_{I\omega} = \underline{\hspace{2cm}}$$

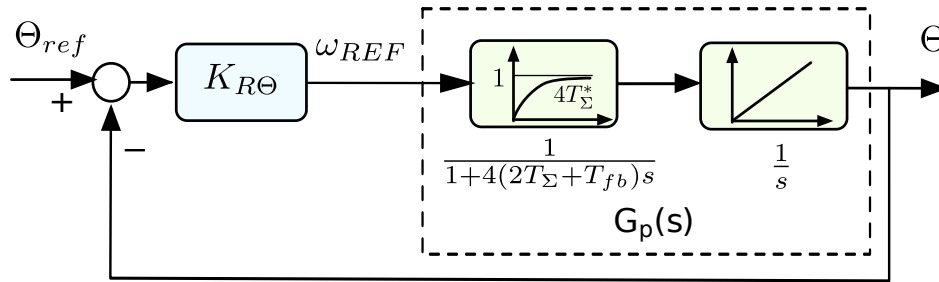
$$K_{R\omega} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- $$G_{pf}(s) = \frac{1}{(1 + T_{fb}s)(1 + T_{I\omega}s)}$$

- $$T_{\omega} = \underline{\hspace{2cm}}$$



### 2.3. Sinteza regulatora pozicije



Slika 2.4: Regulacijska petlja pozicije.

- Koja veličina se nalazi na izlazu iz regulatora pozicije?  
Odgovor: \_\_\_\_\_
- Postavite ograničenje na izlaz iz regulatora.
- P regulator pozicije moguće je odabrati da se dobije odziv bez nadvišenja.
- Uz pretpostavku da je PI regulator struje armature podešen po tehničkom optimumu, a PI regulator brzine vrtnje po simetričnom optimumu, pojačanje P regulatora pozicije može se odrediti kako slijedi:

$$K_{R\Theta} = \frac{1}{32T_{\Sigma} + 16T_{fb}}$$

- Odredite pojačanje P regulatora pozicije:

$$K_{R\Theta} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Postavite referencu pozicije, provedite eksperiment i odredite vremensku konstantu zatvorenog kruga regulacije pozicije:

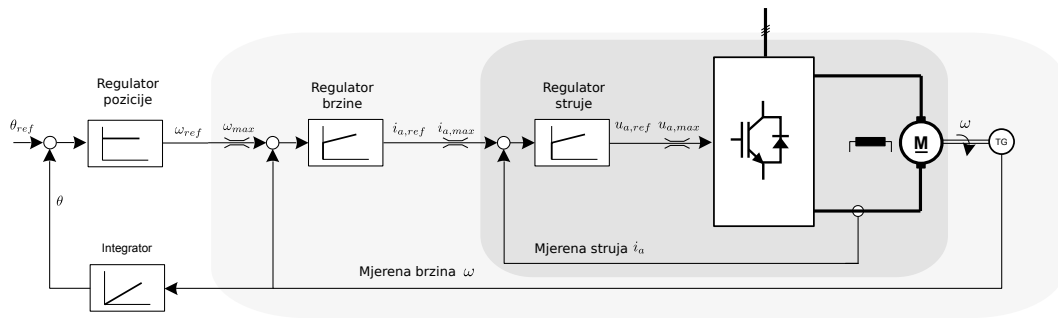
$$T_{\Theta} = \underline{\hspace{2cm}}$$

- Usporedite vremenske konstante krugova regulacije brzine vrtnje i pozicije:

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Kakav bi trebao biti odnos između vremenskih konstanti podređenog i nadređenog regulacijskog kruga da bi kaskadno upravljanje predstavljalo prednost u odnosu na jednopetljastu strukturu upravljanja?

Odgovor: \_\_\_\_\_



Slika 2.5: Kaskadno upravljanje pozicijom istosmjernog motora.

### 3. Pitanja

Nakon vježbe potrebno je odgovoriti na sljedeća pitanja:

- Koji poremećaj kompenzira regulator struje?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Koji poremećaj kompenzira regulator brzine vrtnje?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Na koji način je pojednostavljen podređeni regulacijski krug za sintezu nadređenog regulacijskog kruga?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Na kojim procesima se može primijeniti tehnički optimum?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Na kojim procesima se može primijeniti simetrični optimum?

Odgovor: \_\_\_\_\_

- Koja je prednost kaskadnog upravljanja u odnosu na jednopetljustu strukturu upravljanja?

Odgovor: \_\_\_\_\_