

## Vježba br.2

# Regulacija brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 -sinteza regulatora-



Upute za studente

## Sadržaj:

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2. ZADACI ZA PRIPREMU .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>3. LITERATURA .....</b>  | <b>2</b>  |
| <b>4. POKUSI .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>4.1. Pokus 1 : Određivanje parametara regulatora brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 .....</b> | <b>3</b>  |
| 4.1.1. Matematički model rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 .....  | 3         |
| 4.1.2. Prikaz matematičkog modela SRV02 u Simulink okruženju .....  | 4         |
| 4.1.3. Regulacijski zahtjevi.....   | 4         |
| 4.1.4. Karakteristike otvorenog kruga.....  | 5         |
| 4.1.5. Određivanje parametara regulatora .....  | 5         |
| 4.1.6. Projektiranje derivacijskog kompenzacijskog člana .....  | 5         |
| 4.1.7. Korištenje Matlab funkcija u postupku sinteze regulatora brzine vrtnje.....                                      | 6         |
| 4.1.8. Zadaci za izvještaj .....  | 7         |
| <b>4.2. Pokus 2 : Simulacija kruga regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 .....</b>       | <b>7</b>  |
| 4.2.1. Izrada simulacijskog modela unutar Simulink okruženja.....   | 7         |
| 4.2.2. Zadaci za izvještaj .....  | 11        |
| <b>DODATAK 1. – POPIS KORIŠTENIH OZNAKA .....</b>   | <b>12</b> |

## 1. Uvod

Vježba *Regulacija brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02* zamišljena je tako da studentima omogući:

- Određivanje matematičkog modela rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 iz zadanih zahtjeva
- Simuliranje matematičkog modela rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 unutar Simulink programskog okruženja
- Sintezu regulatora brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 korištenjem Matlab funkcija. Postupak sinteze uključuje:
  - crtanje [Bodeovih dijagrama](#)
  - analiziranje utjecaja pojedinih korekcijskih članova (proporcionalni, integralni i kompenzacijski član) na amplitudni i fazni Bodeov dijagram otvorenog regulacijskog kruga
  - projektiranje [derivacijskog kompenzacijskog člana](#) (engl. *lead compensator*)
- Simuliranje kruga regulacije brzine vrtnje unutar Simulinka u svrhu provjere ispravnosti parametara regulatora dobivenih sintezom

## 2. Zadaci za pripremu

U svrhu pripreme za laboratorijsku vježbu potrebno je detaljno proučiti materijal „Upute za studente“ te odgovoriti na slijedeća pitanja:

1. Odredite koeficijente prijenosne funkcije  $G(s)$  elektromehaničkog rotacijskog modula SRV02.
2. Koliko iznosi brzina vrtnje tereta pri brzini motora od 6000 okr/min? Napišite relaciju koja povezuje moment motora i moment tereta.
3. Koja je upravljačka veličina elektromehaničkog rotacijskog modula SRV02? Koliko iznosi njena maksimalna dopuštena vrijednost?
4. Na koji način se u sustavu regulacije može poništiti statička pogreška?
5. Čemu služi derivacijski kompenzator?
6. Što je amplitudno, a što fazno osiguranje?
7. Koliko iznosi napon tahogeneratorski za slučaj kada se osovina motora vrti sa 6000 rpm?

Priprema je zajednička za vježbe 2 i 3.

## 3. Literatura

Za laboratorijsku vježbu se može koristiti slijedeća literatura:

- [1] [UPM 1503](#) pojačalo s napajanjem
- [2] [MultiQ-PCI Terminal Board](#) (TB) završna pločica za prihvatanje podataka (engl. *terminal board*)
- [3] [SRV02](#) elektromehanički rotacijski modul
- [4] [WinCon](#) programsko okruženje za rad u realnom vremenu

## 4. Pokusi

U sklopu ove laboratorijske vježbe izvode se dva pokusa. Pokusi obuhvaćaju proces sinteze regulatora brzine vrtnje korištenjem Matlab funkcija te simulaciju tako dobivenog regulatora.

### 4.1. Pokus 1 : Određivanje parametara regulatora brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02

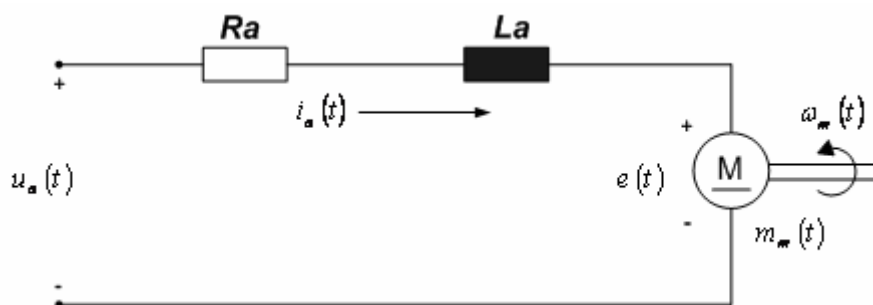
Zadatak je da se korištenjem Matlab-a, projektira regulator brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02, koji će zadovoljiti zadane kriterije, poglavlje [3.1.3.](#)

#### 4.1.1. Matematički model rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02

Za sintezu regulatora potreban je matematički model rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02. Za njega je potrebno poznavati zakone kinematike mehaničkog podsustava. Ovdje je prikazan skraćeni izvod matematičkog modela, a popis korištenih oznaka koji se pojavljuju u modelu nalazi se u dijelu teksta [Dodatak1-popis korištenih oznaka](#).

Koristeći Kirchhoffov zakon za električki model motora prikazan na sl.1., dobije se sljedeća naponska jednačba:

$$u_a - R_a i_a - L_a \frac{di_a}{dt} - e = 0 \quad (3.1)$$



Sl. 1. Nadomjesna shema naponom upravljanih istosmjernih motora

Kako je  $L_a \ll R_a$ , zanemaruje se induktivitet armature motora te izraz (3.1) prelazi u oblik

$$i_a = \frac{u_a - e}{R_a} \quad (3.2)$$

Protuelektromotorna sila  $e$  (engl. *electromotive force*, emf) stvorena od strane motora, proporcionalna je brzini vrtnje osovine motora  $\omega_m$ , budući da se radi o istosmjernom motoru s konstantnom uzбудom (permanentnim magnetima) pa slijedi. Uvažavajući tu činjenicu, izraz (3.2) prelazi u:

$$i_a = \frac{u_a - k_e \omega_m}{R_a} \quad (3.3)$$

Primjenom drugog Newtonovog zakona o dinamičkoj ravnoteži momenata, dobije se:

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = m_m - \frac{m_t}{\eta_g K_g} \quad (3.4)$$

gdje  $m_t/\eta_g K_g$  moment tereta reduciran na stranu motora,  $\eta_g$  je korisnost zupčastog prijenosnika, a  $K_g$  je prijenosni omjer zupčanog prijenosa (planetarni prijenosnik i vidljivi zupčanici na modulu). Primjenom istog zakona, gibanje tereta zamašne mase  $J_t$  se opisuje diferencijalnom jednačbom

$$J_t \frac{d\omega_t}{dt} = m_t - B_{eq} \omega_t, \quad (3.5)$$

gdje je  $B_{eq}$  koeficijent viskozno trenja (engl. *viscous damping*).

Uvrštenjem jednadžbe (3.4) u (3.5), dobiva se:

$$J_t \frac{d\omega_t}{dt} = \eta_g K_g m_m - \eta_g K_g J_m \frac{d\omega_m}{dt} - B_{eq} \omega_t. \quad (3.6)$$

Budući da je  $\omega_m = K_g \omega_t$  i  $m_m = \eta_m k_m i_a$  (gdje  $\eta_m$  predstavlja korisnost motora), jednadžba (3.6) se može napisati u sljedećem obliku:

$$J_t \frac{d\omega_t}{dt} + \eta_g K_g^2 J_m \frac{d\omega_t}{dt} + B_{eq} \omega_t = \eta_g \eta_m K_g k_m i_a \quad (3.7)$$

Uvrštenjem jednadžbe (3.3) u (3.7), dobiva se tražena prijenosna funkcija:

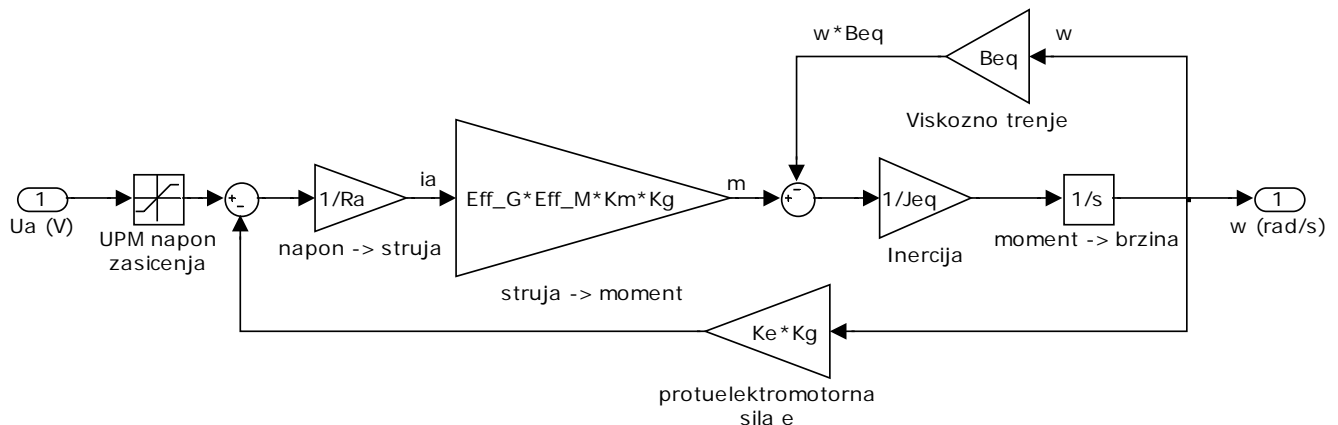
$$G(s) = \frac{\omega_t(s)}{u_a(s)} = \frac{\eta_g \eta_m k_m K_g}{J_{eq} R_a s + B_{eq} R_a + \eta_g \eta_m k_e k_m K_g^2}, \quad (3.8)$$

$$\text{gdje je: } J_{eq} = J_t + \eta_g J_m K_g^2. \quad (3.9)$$

Izraz (3.9) predstavlja ukupni (ekvivalentni) moment inercije reduciran na stranu tereta.

#### 4.1.2 Prikaz matematičkog modela SRV02 u Simulink okruženju

Zbog potreba simulacije, matematički model elektromehaničkog sustava SRV02 potrebno je prikazati unutar Simulink grafičkog okruženja pomoću odgovarajuće nadomjesne sheme. Promatranjem relacija (3.3), (3.4) i (3.5) te odabirom odgovarajućih blokova unutar Simulink biblioteke elemenata, dobiva se nadomjesni model prikazan na sl.2. Uvođenjem elementa zasićenja u Simulink model, iz sustava *linearnih* diferencijalnih jednadžbi (3.3), (3.4) i (3.5) prelazi se u sustav opisan *nonlinearnim* Simulink modelom.



Sl. 2. Nadomjesni model elektromehaničkog sustava SRV02 načinjen u Simulink-u.

#### 4.1.3. Regulacijski zahtjevi

Zadatak je projektirati sustav regulacije brzine s PD kompenzatorom s ciljem upravljanja rotacijskim elektromehaničkim sustavom SRV02 sa sljedećim zahtjevima:

- Sustav treba imati statičku pogrešku jednaku nuli.
- Presječna frekvencija sustava treba iznositi 100 rad/s (otprilike 16Hz)
- Otvoreni sustav treba imati fazno osiguranje približno 75 stupnjeva
- Sustav ne smije imati nadvišenje.

#### 4.1.4. Karakteristike otvorenog kruga

Kod sinteze sustava regulacije brzine s PD kompenzatorom u frekvencijskoj domeni, potrebno je proučiti Bodeove frekvencijske karakteristike otvorenog kruga. Bodeovi dijagrami otvorenog kruga koji se koriste za projektiranje generiraju se u Matlab-u. U svrhu da se postigne statička pogreška brzine vrtnje jednaka nuli na skokovitu ulaznu funkciju, sustav mora imati astatizam<sup>1</sup> prvog reda. Astatički sustavi sadrže jedan ili više integralnih članova a njihov broj određuje red astatizma. Statički sustav nema integralnih članova.

Po definiciji, sustav je astatički prvog reda kad ima jedan pol smješten u ishodištu. Ovakav sustav osigurava statičku pogrešku jednaku nuli (na skokovitu ulaznu funkciju). Budući da je prema (3.8) sustav statički, potrebno je uvesti integracijski član u regulacijski krug. Primjenom teorema konačne vrijednosti<sup>2</sup> lako se dokaže da je odziv takvog regulacijskog sustava na skokovitu ulaznu funkciju bez statičke pogreške izlazne veličine (brzine vrtnje). U ovom slučaju, prijenosna funkcija otvorenog regulacijskog kruga s dodanim integracijskim članom je  $G(s)/s$ .

#### 4.1.5. Određivanje parametara regulatora

Nakon dodavanja integracijskog člana i postizanja prvog uvjeta da je statička pogreška jednaka nuli, slijedi namještanje tražene presječne frekvencije otvorenog regulacijskog kruga i faznog osiguranja pri toj presječnoj frekvenciji.

Proces projektiranja može se podijeliti na slijedeće korake:

- a) Crtanje Bodeovih dijagrama otvorenog kruga sa integratorom  $G(s)/s$ .
- b) Podešavanje pojačanja  $K_p$  tako da presječna frekvencija staze  $K_p \cdot G(s)/s$  iznosi 100 rad/s.
- c) Projektiranje derivacijskog kompenzatora  $C(s)$  tako da fazno osiguranje staze  $K_p \cdot C(s) \cdot G(s)/s$  iznosi 75 stupnjeva

Za sva tri koraka sinteze regulatora potrebno je poznavati način crtanja [Bodeovih dijagrama](#) u Matlabu, poglavlje [3.1.7](#). Kod koraka b) traži se iterativnim postupkom iznos pojačanja  $K_p$ , sve dok presječna frekvencija staze  $K_p \cdot G(s)/s$  ne bude 100 rad/s. Kod koraka c) potrebno je napraviti sintezu derivacijskog korekcijskog člana (kompenzatora) kojom se postiže traženo fazno osiguranje od 75°. Postupak sinteze opisan je detaljnije u poglavlju 3.1.6.

#### 4.1.6. Projektiranje derivacijskog kompenzacijskog člana

Derivacijski kompenzacijski član služi za korekciju Bodeove fazne karakteristike promatranog sustava. Potrebno je projektirati derivacijski kompenzacijski član koji će unijeti traženi fazni pomak u faznoj karakteristici, pri čemu presječna frekvencija mora ostati nepromijenjena. To znači da pojačanje kompenzacijskog člana na presječnoj frekvenciji mora biti 0 dB, tj. 1. Derivacijski kompenzacijski član općenito ima prijenosnu funkciju tipa:

$$C(s) = \alpha \frac{s + \frac{\omega_c}{\alpha}}{s + \alpha \omega_c}, \quad (3.10)$$

gdje je  $\omega_c$  presječna frekvencija, a  $\alpha$  parametar koji se računa kao:

$$\begin{aligned} \tau_p &= \tan \Phi \\ \alpha &= \tau_p + \sqrt{\tau_p^2 + 1} \end{aligned} \quad (3.11)$$

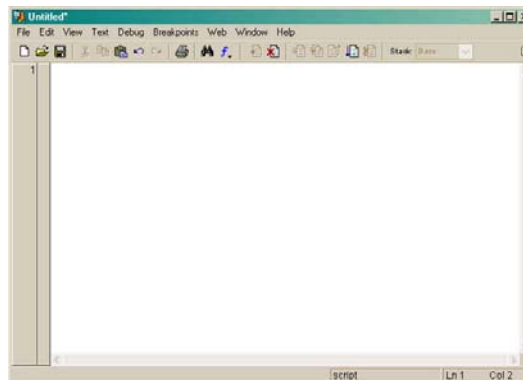
Kut  $\Phi$  predstavlja kut za koji je potrebno korigirati faznu karakteristiku sustava.

<sup>1</sup> N. Pašalić "Osnove regulacijske tehnike"; Lj. Kuljača, Z. Vukić : "Automatsko upravljanje sistemima"

<sup>2</sup> Lj. Kuljača, Z. Vukić : "Automatsko upravljanje sistemima"

#### 4.1.7. Korištenje Matlab funkcija u postupku sinteze regulatora brzine vrtnje

Za crtanje Bodeovih dijagrama koristi se Matlab funkcija *bode*. Općenito se funkcije u Matlabu mogu koristiti na dva načina. Prvi i najjednostavniji jest upisivanje odgovarajućih poziva funkcija unutar Matlab-ovog *Command Window*-a. Kod iterativnog postupka određivanja parametara, kakav se ovdje koristi, ta metoda zahtijeva pisanje istih naredbi više puta. Zbog toga je prikladnije koristiti M datoteku. Unutar M datoteke upisuju se odgovarajuće naredbe te se one skupno pokreću pomoću odgovarajuće komande. Kada se jednom napravi takva datoteka, cijeli postupak iterativnog projektiranja svodi se samo na mijenjanje određenih parametara korištenih funkcija te pokretanje izvršavanja M datoteke. Nova M datoteka otvara se klikom na *File->New->M-File*. Tada se otvara prazna tekstualna datoteka (engl. *file*), unutar koje se pišu odgovarajuće naredbe i pozivi funkcija, sl.3.

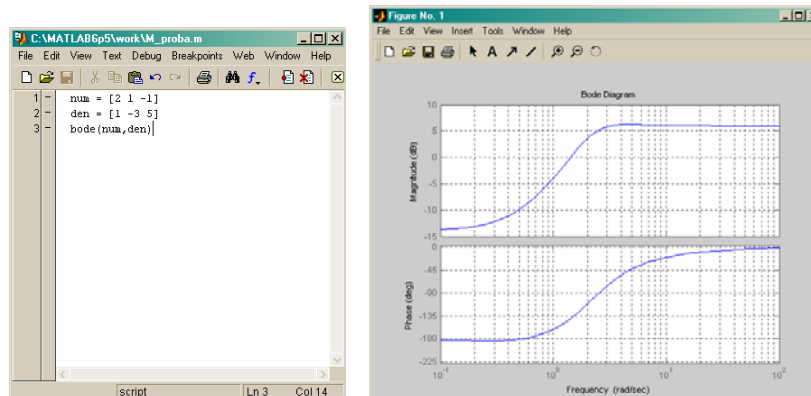


Sl.3. Izrada M datoteke

Da bi se nacrtali Bodeovi dijagrami potrebno je prvo definirati brojnik i nazivnik prijenosne funkcije čije Bodeove dijagrame želimo nacrtati. Npr. ako prijenosna funkcija glasi  $G_1(s) = (2s^2 + s - 1)/(s^2 - 3s + 5)$ , brojnik i nazivnik se definiraju kao dva vektora (*num* i *den*) oblika:

$$\begin{aligned} \text{num} &= [2 \ 1 \ -1] \\ \text{den} &= [1 \ -3 \ 5] \end{aligned}$$

Imena vektora *num* i *den* izabrana su proizvoljno. Funkciju za crtanje Bodeovih dijagrama poziva se sintaksom *bode(num, den)*. Dakle, ako se u M datoteku napišu ove tri naredbe te se pokrene izvršavanje putem izbornika *Debug->Save and Run*, nakon snimanja M datoteke pod određenim imenom, pred nama se otvara slika s Bodeovim dijagramima funkcije  $G_1(s)$ , sl.4.



Sl.4. Primjer crtanja Bodeovih dijagrama korištenjem M datoteke

Množenje dvije prijenosne funkcije, tj. dva vektora ostvaruje se pomoću funkcije *conv()*. Npr., ako treba prijenosnu funkciju  $G_1(s)$  pomnožiti s prijenosnom funkcijom  $G_2(s) = 2s(s^2 - s + 1)$  te nacrtati Bodeove dijagrame od funkcije produkta, M datoteka mora imati slijedeći sadržaj

```
num = [2 1 -1]
den = [1 -3 5]
num_1 = [2 0]
den_1 = [1 -1 1]
[num_p] = conv(num,num_1)
[den_p] = conv(den,den_1)
bode(num_p,den_p)
```

#### 4.1.8. Zadaci za izvještaj

Izvještaj o obavljenoj vježbi mora sadržavati:

- Bodeove dijagrame s pripadajućim komentarima :
  - Otvorenog kruga s integratorom  $G(s)/s$ .
  - Otvorenog kruga s integratorom i pojačanjem  $K_p$  za kojeg staza  $K_p \cdot G(s)/s$  ima presječnu frekvenciju 100 rad/s.
  - Otvorenog kruga s integratorom, pojačanjem  $K_p$  te derivacijskim kompenzacijskim članom za koji staza  $C(s) \cdot K_p \cdot G(s)/s$  ima fazno osiguranje od 75 stupnjeva.
- Konačna zapažanja i zaključke te odgovore na slijedeća pitanja:
  - Kolika bi bila pogreška slijeđenja za projektirani sustav kada bi na ulazu umjesto skokovite funkcije postavili funkciju linearnog porasta (rampa)?
  - Da li je bilo kakvih ograničenja kod projektiranja ili problema na koji ste naišli tijekom rada u laboratoriju? Ako je bilo, kako ste riješili te probleme?
  - Kada bi ponovo dobili zadatak reguliranja brzine, da li bi odabrali kompenzacijski član koji je korišten ili bi koristili drugačiji pristup? Objasnite!

## 4.2. Pokus 2 : Simulacija kruga regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02

Nakon određivanja parametara regulatora potrebno je simulirati krug regulacije brzine vrtnje kako bi se potvrdilo da taj krug ispunjava postavljene kriterije u poglavlju [3.1.3](#). Zadatak je:

- Unutar Simulink okruženja načiniti odgovarajući simulacijski model sustava regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog modula SRV02.
- Snimiti karakteristične odzive na skokovitu pobudu te potvrditi valjanost projektiranih parametara regulatora.

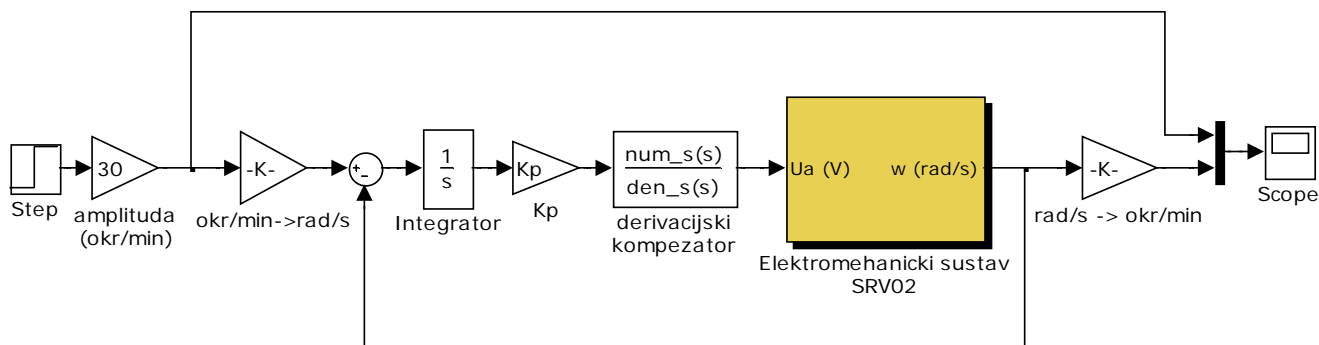
Nakon što je kreirana simulacijska datoteka potrebno ju je snimiti jer će se koristiti i u vježbi br.3. Datoteku je potrebno snimiti na lokaciju:

*D:\nastava\om\grupa\_x\prezime1\_prezime2\vj2\_pokus2.mdl*

### 4.2.1. Izrada simulacijskog modela unutar Simulink okruženja

Unutar Simulink okruženja potrebno je kreirati simulacijski model kruga regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02, sl. 5.





Sl.5. Simulacijski model sustava regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog modula SRV02

Većina korištenih blokova je poznata iz vježbe 1. Novi blokovi su:

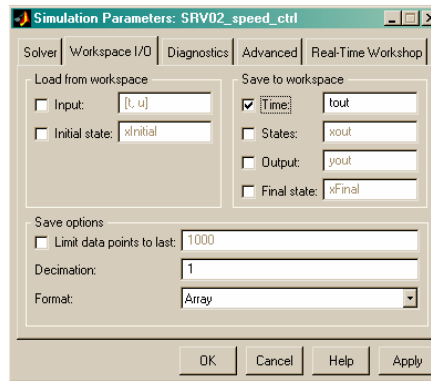
- *Sum*-blok za sumiranje dva ili više signala. Blok se nalazi u Simulink biblioteci *Simulink->Math Operations*
- *Step*-blok predstavlja skokovitu pobudu, tzv. step. Blok se nalazi u Simulink biblioteci *Simulink->Sources*
- *Integrator*-blok koji predstavlja matematičku operaciju integriranja. Blok se nalazi u simulink biblioteci *Simulink->Continuous*
- *Transfer Fcn*-blok kojim se formira prijenosna funkcija u s-domeni. Unutar izbornika ovog bloka potrebno je definirati brojnik i nazivnik prijenosne funkcije. Blokom se simulira derivacijski kompenzacijski član. Nalazi se u Simulink biblioteci *Simulink->Continuous*.
- *Mux*-blok koji multipleksira više ulaznih signala na jedan izlaz. Unutar izbornika ovog bloka moguće je definirati broj ulaza. Blok se nalazi u Simulink biblioteci *Simulink->Signal Routing*.
- *SRV02 simulacijski model*-je makro blok koji unutar sebe sadrži simulacijski model elektromehaničkog sustava SRV02, [sl.2](#). Taj makro blok naravno nije dio Simulink biblioteke elemenata već je priređen za korištenje studentima unutar posebne Simulink datoteke (*C:\MATLAB6p5\work\SRV02.mdl*). Studenti trebaju otvoriti ovu datoteku te prekopirati ovaj blok u svoju radnu datoteku. Nakon toga potrebno je dva puta kliknuti na blok i unijeti parametre (nalaze se u [Dodatak1-popis korištenih oznaka](#) ) prema sl. 6.

Sl. 6. Parametri elektromehaničkog sustava SRV02

Parametre podešenja simulacije potrebno je podesiti prema sl.7.

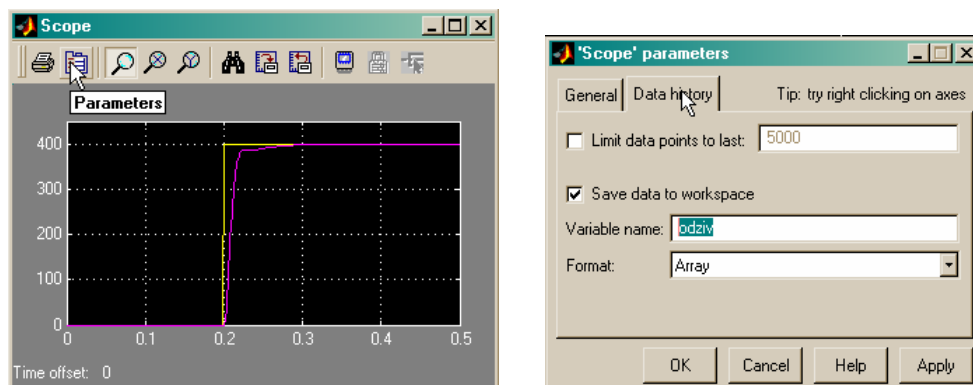
Sl.7. Postavke podešenja simulacije

Dobivene dijagrame potrebno je priložiti u izvještaju. Veličine snimljene pomoću *Scope* bloka ne mogu se prekopirati u obliku slike u neko drugo windows okruženje (Word, Excel, itd.), već se snimane varijable moraju prebaciti u Matlab i tamo prikazati. Standardne opcije parametara simulacije su podešene tako da se vrijeme kao varijabla *tout* snima u Matlabov *Workspace*, sl.8.



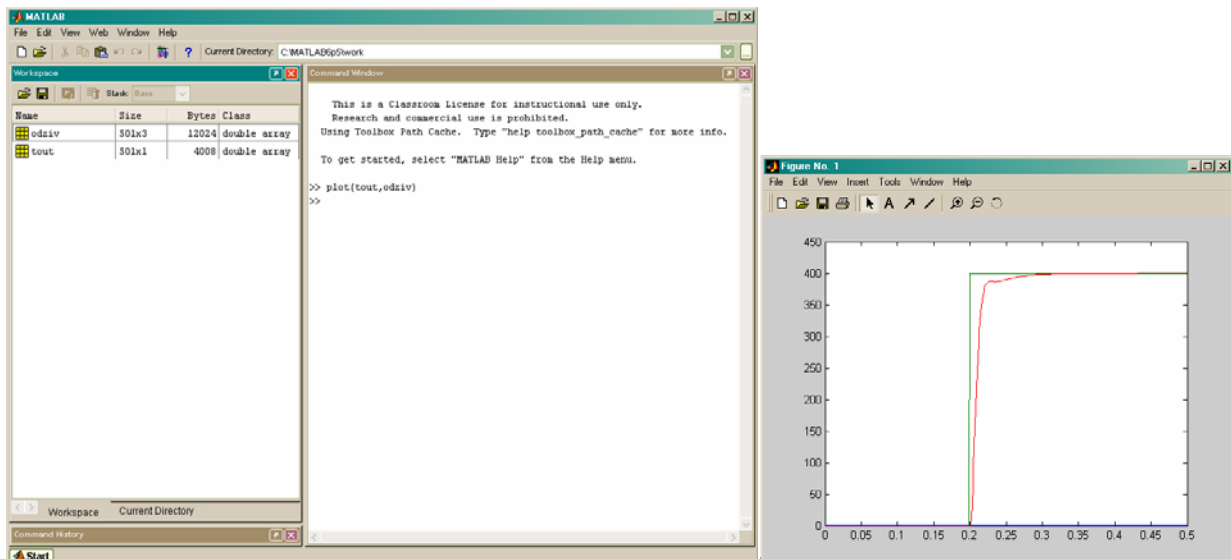
Sl.8. Snimanje varijable vremena u Matlab-ov *Workspace*

Budući da se snima vremenska ovisnost signala referentne i regulirane vrijednosti brzine vrtnje, potrebno je te signale snimiti u *Workspace*. Najbrži način da se to učini je pomoću parametara bloka *Scope*. Dvostrukim klikom na blok *Scope* otvara se vizualizacijski ekran, sl.9.



Sl.9. Snimanje varijabli promatranih unutar Simulink-ovog bloka *Scope* u Matlab-ov *Workspace*

Klikom na *Parameters* ikonu na alatnoj traci otvara se izbornik s parametrima. Unutar tog izbornika izabere se *Data history* izbornik u kojem se podešava broj točaka snimanja i odabir (ukoliko se želi) slanja varijabli sa *Scope-a* u *Workspace*. Unutar tog izbornika uklanja se limit broja točaka snimanja i odabire snimanje varijabli *Scope-a* u *Workspace* pod određenim imenom. Format varijabli obavezno se mora postaviti na *Array*. Nakon što su varijable snimljene u Matlab-ov *Workspace*, poziva se funkcija za crtanje upisivanjem naredbe `plot(tout, odziv)` u *Command Window-u*. Nakon toga pojavljuje se novi prozor s pripadajućim dijagramom, sl.10. Unutar novog prozora postoje mogućnosti različitih preinaka na dijagramu (prikaz mreže, debljina linija, promjena fonta i veličine teksta, itd.). Tako obrađen dijagram moguće je prekopirati u obliku slike u bilo koju windows aplikaciju (word, exel, itd) korištenjem izbornika *Edit->Copy*.



Sl.10. Prikaz snimljenih varijabli u *Workspace-u*, pokretanje *plot* funkcije te izgled dobivenog dijagrama

#### 4.2.2. Zadaci za izvještaj

Izvještaj o obavljenoj vježbi mora sadržavati:

- Slijedeće dijagrame s pripadajućim komentarima :
  - Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude.
  - Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju kada regulator nema integracijskog djelovanja.
  - Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju kada je pojačanje  $K_p$  10 puta veće od proračunate vrijednosti.
  - Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju pozitivne povratne veze.
  - Usporedba signala referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju prekida povratne veze.
- Konačna zapažanja i zaključke te odgovore na slijedeća pitanja :
  - Koje biste nelinearne efekte mogli analizirati u Simulink modelu sustava (sl.5) s projektiranim regulatorom? Kakve probleme biste mogli očekivati kod uvođenja tih nelinearnosti?
  - Da li je bilo kakvih ograničenja kod projektiranja ili problema na koji ste naišli tijekom rada u laboratoriju? Ako je bilo, kako ste riješili te probleme?

## **Dodatak 1. – Popis korištenih oznaka**

| <b>SIMBOL</b>   | <b>OPIS</b>                                  | <b>MATLAB<br/>VARIJABLE</b> | <b>NOMINALNA<br/>VRIJEDNOST<br/>(SI JEDINICE)</b> |
|-----------------|--|-----------------------------|---|
| $u_a$           | Ulazni napon armaturnog kruga                |                             |   |
| $i_a$           | Struja armature                              |                             |   |
| $R_a$           | Otpor armature                               | Ra                          | 2.6   |
| $L_a$           | Induktivitet armature                        |                             |   |
| $E$             | Napon elektromotorne sile motora             |                             |   |
| $\varepsilon_m$ | Pozicija osovine motora                      |                             |   |
| $\omega_m$      | Kutna brzina osovine motora                  |                             |   |
| $\varepsilon_t$ | Pozicija osovine za terećenje                |                             |   |
| $\omega_t$      | Kutna brzina osovine za terećenje            |                             |   |
| $\varepsilon_d$ | Referentna pozicija                          |                             |   |
| $m_m$           | Moment motora                                |                             |   |
| $m_t$           | Moment kod opterećenja                       |                             |   |
| $k_e$           | Konstanta protuelektromotorne sile           | Ke                          | 0.0076776   |
| $k_m$           | Konstanta momenta motora                     | Km                          | 0.007683  |
| $J_m$           | Moment inercije motora                       | Jmotor                      | $3.87 \cdot 10^{-7}$                              |
| $J_{eq}$        | Ekvivalentni moment tromosti kod opterećenja | Jeq                         | $9.785 \cdot 10^{-5}$                             |
| $B_{eq}$        | Ekvivalentni koeficijent viskoznog trenja    | Beq                         | 0.0015  |
| $K_g$           | SRV02 omjer zupčanika sustava (motor-teret)  | Kg                          | 14 (14*1)   |
| $\eta_g$        | Korisnost zupčastog prijenosa                | Eff_G                       | 0.9   |
| $\eta_m$        | Korisnost motora                             | Eff_M                       | 0.69  |
| $\omega_n$      | Prirodna frekvencija neprigušenih oscilacija | Wn                          |   |
| $\zeta$         | Koeficijent prigušenja                       | zeta                        |   |
| $K_p$           | Proporcionalno pojačanje                     | Kp                          |   |
| $K_v$           | Pojačanje brzine                             | Kv                          |   |
| $T_p$           | Vrijeme prvog maksimuma                      | Tp                          |   |