

## Vježba 2. Analiza i sinteza sistema regulacije brzine vrtnje istosmjernog motora s povratnom vezom armaturne struje

**Cilj vježbe:** *Sinteza regulatora brzine vrtnje i armaturne struje istosmjernog motora pomoću metoda tehničkog i simetričnog optimuma. Analiza dinamičkog ponašanje sistema sa kaskadnom regulacijom brzine vrtnje.*

### Priprema za vježbu:

1. Nacrtati pravcima aproksimiran Bodeov prikaz frekvencijskih karakteristika otvorene petlje armaturne struje. Budući da je  $T_m \gg T_a$ , može se zanemariti djelovanje protuelektromotorne sile  $\Delta E$  (Sl. 1.1).

Odrediti integralnu vremensku konstantu regulatora armaturne struje tako da se kompenzira najveća vremenska konstanta u petlji armaturne struje:

$$T_{I_2} = T_{\max} \cdot$$

Upotrebom relacije (1.1) odrediti koeficijent pojačanja regulatora armaturne struje tako da nadvišenje u odzivu petlje armaturne struje iznosi:

$$\sigma_{mi} = 5, 10, 15, 20, 25, 30 \%$$

Iz frekvencijske karakteristike odrediti frekvenciju presjeka  $\omega_{ci}$ , te izračunati približnu vrijednost maksimuma odziva armaturne struje  $t_{mi}$  prema relaciji (1.2). Odrediti frekvencijsku karakteristiku zatvorene petlje armaturne struje pomoću frekvencijske karakteristike otvorene petlje. Pri tome koristiti približan postupak, odnosno aproksimaciju frekvencijskih karakteristika na niskim i visokim frekvencijama:

$$\text{za } |G_o(j\omega)| = |G_d(j\omega)G_{pv}(j\omega)| > 1,$$

$$G_i(j\omega) = \frac{G_d(j\omega)}{1 + G_d(j\omega)G_{pv}(j\omega)} = \frac{1}{G_{pv}(j\omega)}, \quad (2.1)$$

$$L_i(\omega) = 20 \log|G_i(j\omega)| = -L_{pv}(\omega)$$

$$\text{za } |G_o(j\omega)| < 1,$$

$$\begin{aligned} G_i(j\omega) &= G_d(j\omega) \\ L_i(\omega) &= L_d(\omega) \end{aligned} \quad (2.2)$$

gdje je:

- $G_o(j\omega)$  - frekvencijska karakteristika otvorene petlje,
- $G_d(j\omega)$  - frekvencijska karakteristika direktne grane,

$G_{pv}(j\omega)$  - frekvencijska karakteristika grane povratne veze.

2. Nacrtati pravcima aproksimiran Bodeov prikaz frekvencijskih karakteristika otvorene petlje brzine vrtnje. Pri tome koristiti aproksimaciju frekvencijskih karakteristika zatvorene petlje armaturne struje iz zadatka 1.

Odrediti integralnu vremensku konstantu regulatora brzine vrtnje tako da se kompenzira najveća vremenska konstanta u petlji brzine vrtnje:

$$T_{I_1} = T_M.$$

Odrediti koeficijent pojačanja regulatora brzine vrtnje uz korištenje izraza (1.1) tako, da nadvišenje u odzivu brzine vrtnje iznosi:

$$\sigma_{m\Omega} = 5, 10, 15, 20, 25, 30 \%$$

Iz frekvencijske karakteristike odrediti frekvenciju presjeka  $\omega_{c\Omega}$ , te prema relaciji (1.2) izračunati približnu vrijednost vremena maksimuma odziva brzine vrtnje  $t_{m\Omega}$ .

3. Odrediti koeficijent pojačanja regulatora armaturne struje te prijenosnu funkciju i frekvencijske karakteristike zatvorene petlje armaturne struje prema slijedećim relacijama:

$$\begin{aligned} T_{I_2} &= T_a \\ K_{R_2} &= \frac{1}{4\zeta^2} \frac{1}{K_i K_{T_i} K_a} \frac{T_a}{(T_i + T_{T_i})}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$G_{zi}(s) = \frac{I_a(s)}{U_b(s)} = \frac{1}{K_i} \frac{1}{1 + 4\zeta^2 (T_i + T_{T_i})s + 4\zeta^2 (T_i + T_{T_i})^2 s^2}, \quad \text{za } \zeta = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow G_{zi}(s) = \frac{1}{1 + T_s s}, \quad (2.4)$$

$$T_s \approx \frac{1}{\omega_{ci}} = \frac{\sqrt{2}(T_i + T_{T_i})}{\sqrt{\sqrt{1 + \frac{1}{4\zeta^4}} - 1}}, \quad (2.5)$$

gdje je:  $T_s$  - nadomjesna vremenska konstanta zatvorene petlje armaturne struje, [s].

Pri tome koristiti relaciju koja povezuje nadvišenje odziva i relativni koeficijent prigušenja sistema drugog reda:

$$\sigma_m [\%] = 100e^{-\frac{\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}}; \quad \zeta = \frac{\ln(100/\sigma_m [\%])}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2(100/\sigma_m [\%])}}. \quad (2.6)$$

4. Izračunati integralnu vremensku konstantu i koeficijent pojačanja regulatora brzine vrtnje pomoću izraza:

$$T_{l_1} = \left( \frac{1 + \sin \gamma}{\cos \gamma} \right)^2 T_s$$

$$K_{R_1} = \frac{K_t K_a K_t T_m \cos \gamma}{K_b T_s (1 + \sin \gamma)} \quad (2.7)$$

Nadomjesnu vremensku konstantu  $T_s$  odrediti prema izrazu (2.5) uz  $\zeta = \sqrt{2}/2$ . Nacrtati Bodeov prikaz frekvencijskih karakteristika otvorene petlje brzine vrtnje, odrediti frekvenciju presjeka  $\omega_{c\Omega}$  te prema izrazu (1.2) izračunati vrijeme maksimuma odziva brzine vrtnje  $t_{m\Omega}$ .

5. Usporediti rezultate iz zadataka 2., odnosno 4. s rezultatima zadataka 1., odnosno 2. iz priprema za vježbu 1.

#### *Simuliranje na računar*

6. Prema Sl. 1.1. i uvjetima iz zadataka 1. i 2., odnosno 3. i 4. priprema za vježbu načiniti simulacijski model sistema regulacije brzine vrtnje koristeći programski paket MATLAB. Za oba načina sinteze parametara regulatora izračunati iznose parametara pojedinih blokova i pripremiti kompletne liste podataka za unos u računar, ako je promjena ulazne veličine  $\Delta U_r = 10K_b$ .

#### **Rad na vježbi:**

1. Za oba načina određivanja parametara regulatora brzine vrtnje potrebno je:

Unijeti podatke o simulacijskom modelu sistema regulacije brzine vrtnje iz zadatka 6. priprema za vježbu u računar.

Podesiti parametre regulatora brzine vrtnje prema vrijednostima dobivenim u zadacima 1. i 2., odnosno 3. i 4. priprema za vježbu. Promatrati na ekranu odzive brzine vrtnje i armaturne struje na skokovitu promjenu referentne vrijednosti brzine vrtnje  $\Delta U_r$ . Zabilježiti vrijeme maksimuma i vrijednost nadvišenja u odzivu brzine vrtnje.

2. Za oba načina određivanja parametara regulatora namjestiti vrijednosti koeficijenata pojačanja regulatora brzine vrtnje tako da se postigne zadano nadvišenje u odzivu brzine vrtnje te snimiti odzive brzine vrtnje i armaturne struje. Analizom odziva brzine vrtnje odrediti pokazatelje kvalitete:
  - a) vrijeme porasta  $t_{1\Omega}$ ,
  - b) vrijeme prvog maksimuma  $t_{m\Omega}$ ,
  - c) vrijeme trajanja prijelaznog procesa  $t_{p\Omega}$  uz pogrešku 5 %,
  - d) regulacijsko nadvišenje  $\sigma_{m\Omega}$ ,
  - e) maksimalnu vrijednost armaturne struje  $\Delta I_{am}$ .

3. Usporediti i komentirati vrijednosti pokazatelje kvalitete prijelaznog procesa brzine vrtnje dobivenih upotrebom frekvencijskih karakteristika te simuliranjem na računaru.
4. Usporediti i komentirati razlike u vrijednostima pokazatelje kvalitete prijelaznog procesa brzine vrtnje sistema s direktnom u odnosu na sistem s kaskadnom regulacijom brzine vrtnje.
5. Na osnovu dobivenih rezultata komentirajte prednosti i nedostatke postupka sinteze parametara regulatora prema tehničkom optimumu (zadaci 1. i 2. priprema za vježbu), u odnosu na postupak sinteze prema simetričnom optimumu (zadaci 3. i 4. priprema za vježbu).