

Pravica Luka 3.AUT2 Automatika 0036427896	Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb Zavod za elektrostrojarstvo i automatizaciju	27.03.2009.
	OSNOVE MEHATRONIKE	
	Vježba br. 3: Regulacija brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02 -sinteza regulatora-	

3.1. Uvod

Cilj je ove laboratorijske vježbe bio odrediti matematički model elektromehaničkog sustava SRV02 prema zadanim zahtjevima, simuliranje istog unutar Simulink programskog okruženja. Cilj je također bio provesti sintezu regulatora brzine vrtnje elektromehaničkog sustava SRV02 u frekvencijskom području korištenjem Matlab funkcija. Sinteza regulatora se vršila prema zadanim zahtjevima uz pomoć Bodeovih dijagrama otvorenog regulacijskog kruga, što smo radili uz pomoć proporcionalnih, integralnih i derivacijskih kompenzacijskih članova. Nakon provedene sinteze potrebno je bilo provjeriti ispravnost iste unutar Simulink programskog okruženja.

3.2 Teoretski prikaz i razrada problema

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

Prema zadanom sustavu jednadžbi opisivanja elektromehaničkog sustava SRV02:

$$i_a = \frac{u_a - k_e \omega_m}{R_a} \quad (3.1)$$

$$J_m \frac{d\omega_m}{dt} = m_m - \frac{m_t}{\eta_g K_g} \quad (3.2)$$

$$J_t \frac{d\omega_t}{dt} = m_t - B_{eq} \omega_t \quad (3.3)$$

Može se odrediti prijenosna funkcija prvog reda koja opisuje elektromehanički sustav:

$$G(s) = \frac{\omega_t(s)}{u_a(s)} = \frac{\eta_g \eta_m k_m K_g}{J_{eq} R_a s + B_{eq} R_a + \eta_g \eta_m k_e k_m K_g^2} \quad (3.4)$$

A na temelju stvarnog modela elektromehaničkog sustava SRV02 potrebno je odrediti parametre prijenosne jednadžbe koja predstavlja matematički model istog sustava. Matematički je model također potrebno realizirati unutar Simulink programskog okruženja i tako napraviti nadomjesni model.

Nakon uspješnog određivanja matematičkog modela elektromehaničkog sustava SRV02 sintezom u frekvencijskom području potrebno je projektirati regulator koji će zadovoljavati sljedeće zahtjeve:

- 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°
- Sustav ne smije imati nadvišenje

Kako bi ostvarili da sustav nema statičke pogreške na skokovitu ulaznu funkciju potrebo je osigurati astatizam prvog reda. To znači da sustav treba sadržavati jedan integralni član čiji je pol smješten u ishodištu. Prema tome nova funkcija otvorenog regulacijskog kruga glasi:

$$\frac{G(s)}{s} \quad (3.5)$$

Presječna je frekvencija dobivena prema zahtjevu vremena prvog maksimuma odziva na skokovitu ulaznu funkciju. Nju ćemo ostvariti tako da na temelju prijenosne funkcije (3.5) odredimo pojačanje na traženoj presječnoj frekvenciji 100 rad/s. Nakon toga uz pomoć pojačanja podižemo amplitudnu karakteristiku otvorenog regulacijskog kruga tako da na frekvenciji 100 rad/s ima pojačanje jednako nuli. Tako smo dobili novu prijenosnu funkciju otvorenog regulacijskog kruga:

$$K_p \frac{G(s)}{s} \quad (3.6)$$

Zahtjev da sustav ima fazno osiguranje od približno 75° je zapravo zahtjev da sustav nema nadvišenja (svako fazno osiguranje veće od o 70°). To ćemo ostvariti tako da u otvoreni regulacijski krug uvedemo derivacijski kompenzacijski član koji nam služi za podizanje fazne karakteristike (time i povećanje faznog osiguranja). Derivacijski član projektiramo na temelju presječne frekvencije ω_c i faznog osiguranja φ prijenosne funkcije (3.6). Prema njima možemo odrediti prijenosnu funkciju derivacijskog člana:

$$G_k(s) = \alpha \frac{s + \frac{\omega_c}{\alpha}}{s + \omega_c \alpha} \quad (3.7)$$

Gdje α u ovom slučaju računamo prema:

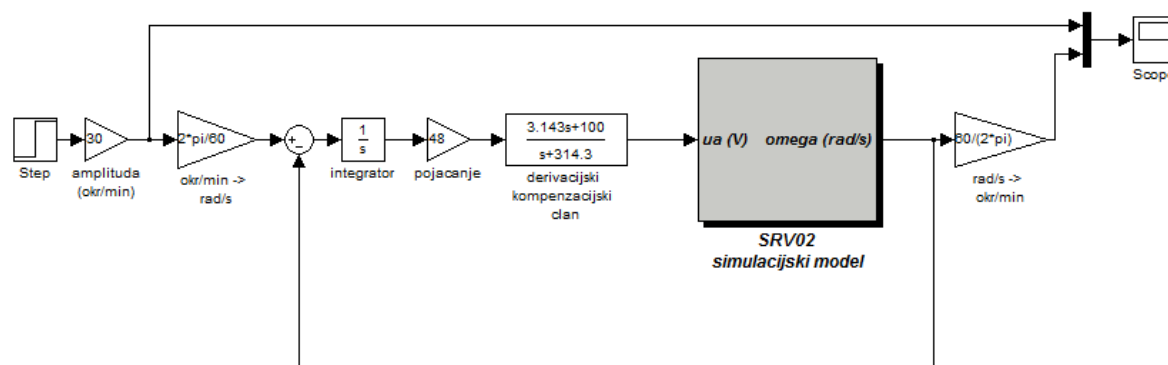
$$\alpha = \operatorname{tg}(75^\circ - \varphi) + \sqrt{\operatorname{tg}^2(75^\circ - \varphi) + 1} \quad (3.8)$$

I tako dobivamo konačnu (željenu) jednadžbu otvorenog kruga:

$$G_k(s) K_p \frac{G(s)}{s} \quad (3.8)$$

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

Sljedeći je zadatak provjeriti ispravnost projektiranog regulatora služeći se programskim okruženjem SIMulink. Za to smo napravili potrebni model dan sl.3.1.



Sl.3.1. Simulacijski model sustava regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog modula SRV02

Taj smo model ispravno podesili te smo provjerili ispravnost prema:

- usporedbi referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude.
- usporedbi referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju kada regulator nema integracijskog djelovanja.
- usporedbi referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju kada je pojačanje K_p 10 puta veće od proračunate vrijednosti.
- usporedbi referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju pozitivne povratne veze.
- usporedbi signala referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju prekida povratne veze.

3.3. Prikaz dobivenih rezultata

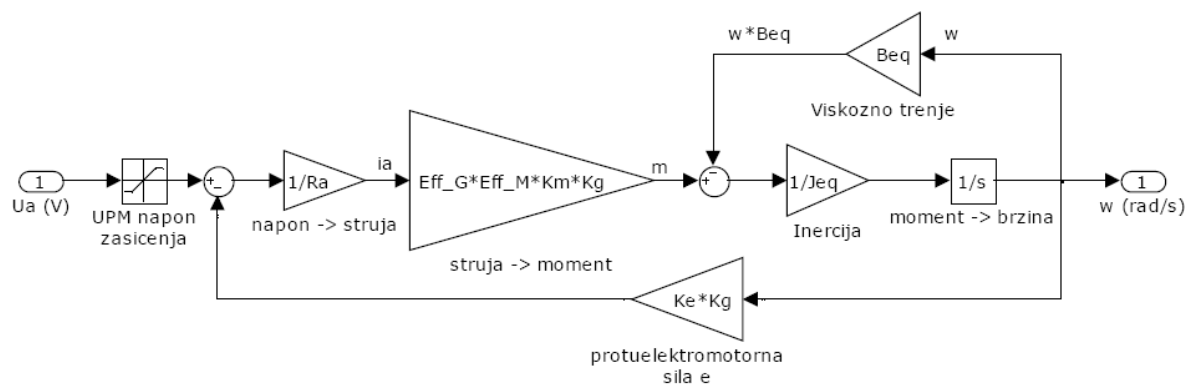
3.2.1. Pokus 1: Određivanje parametara regulatora brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02

Parametri prijenosne jednadžbe (3.4) dani su tab.3.1:

SIMBOL	OPIS	MATLAB VARIJABLA	NOMINALNA VRIJEDNOST (SI JEDINICE)
R_a	Otpor armature	Ra	2.6
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)
η_g	Korisnost zupčastog prijenosa	Eff_G	0.9
η_m	Korisnost motora	Eff_M	0.69

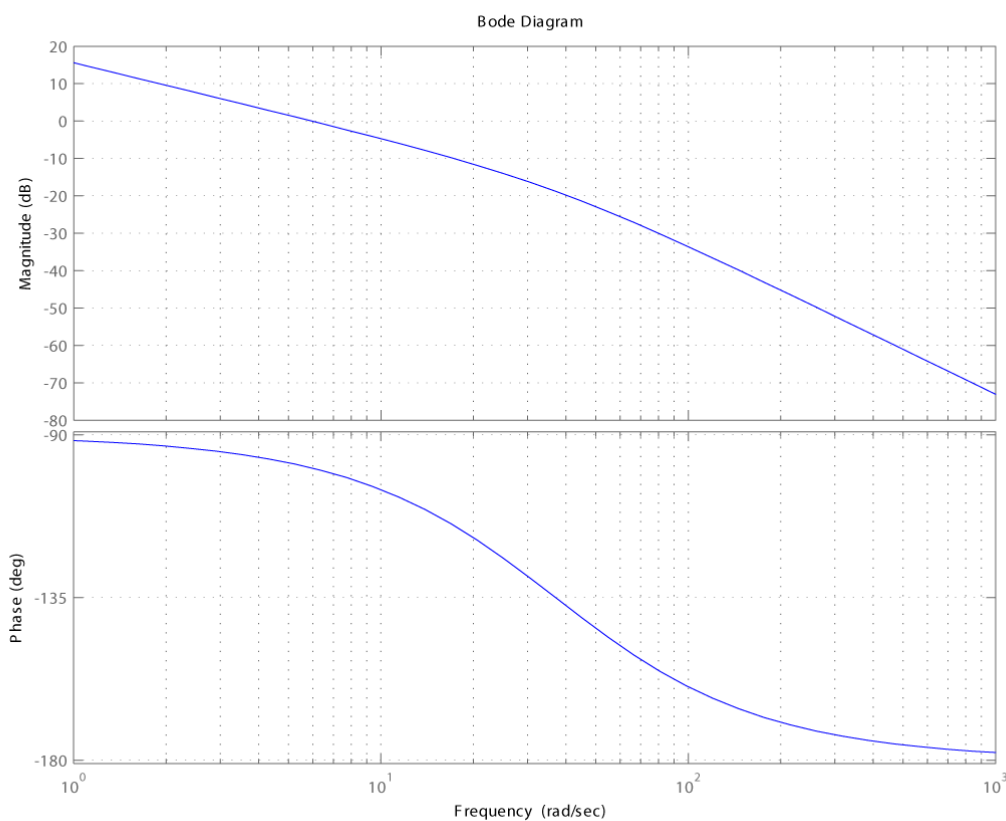
Tab.3.1. Parametri prijenosne jednadžbe (3.4)

Matematički smo model realizirali unutar Simulink okružena kako je to prikazano sl.3.2.



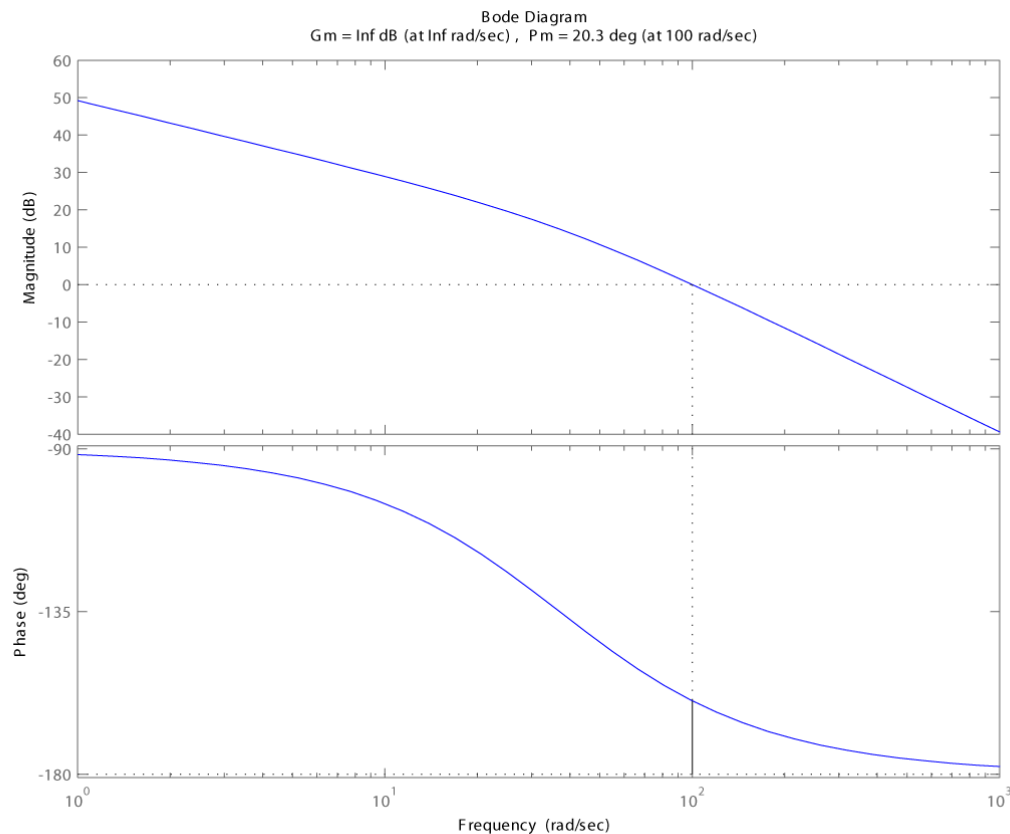
Sl. 3.2. Nadomjesni model elektromehaničkog sustava SRV02 načinjen u Simulink-u.

Dobiveni Bodeov dijagram prijenosne funkcije otvorenog regulacijskog kruga opisan jednadžbom (3.5) dan je na sl.3.3.



Sl 3.3. Bode dijagram prijenosne funkcije (3.5)

Na temelju Bodeovog dijagrama sa sl.3.3. procijenio sam pojačanje a zatim i iterativnim postupkom odredio pojačanje $K_p = 48$. Prema tome Bodeov dijagram prijenosne funkcije otvorenog kruga (3.6) dan je sl.3.4.

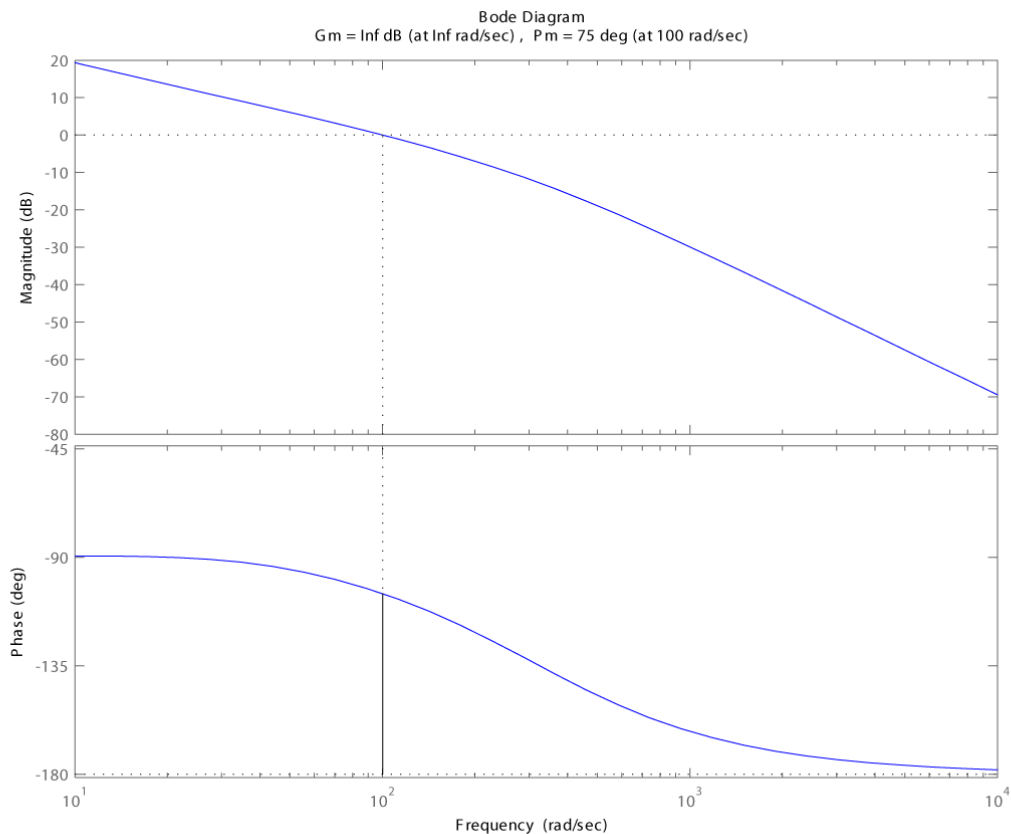


Sl.3.4. Bode dijagram prijenosne funkcije (3.6)

Na temelju Bodeovog dijagrama sa sl.3.4. odredio sam da fazno osiguranje iznosi $\varphi = 20.3^\circ$. Na temelju (3.8) izračunati koeficijent iznosi $\alpha = 3.1429$, prijenosna funkcija (3.7) tada iznosi:

$$G_k(s) = \frac{3.143 \cdot s + 100}{s + 314.3}$$

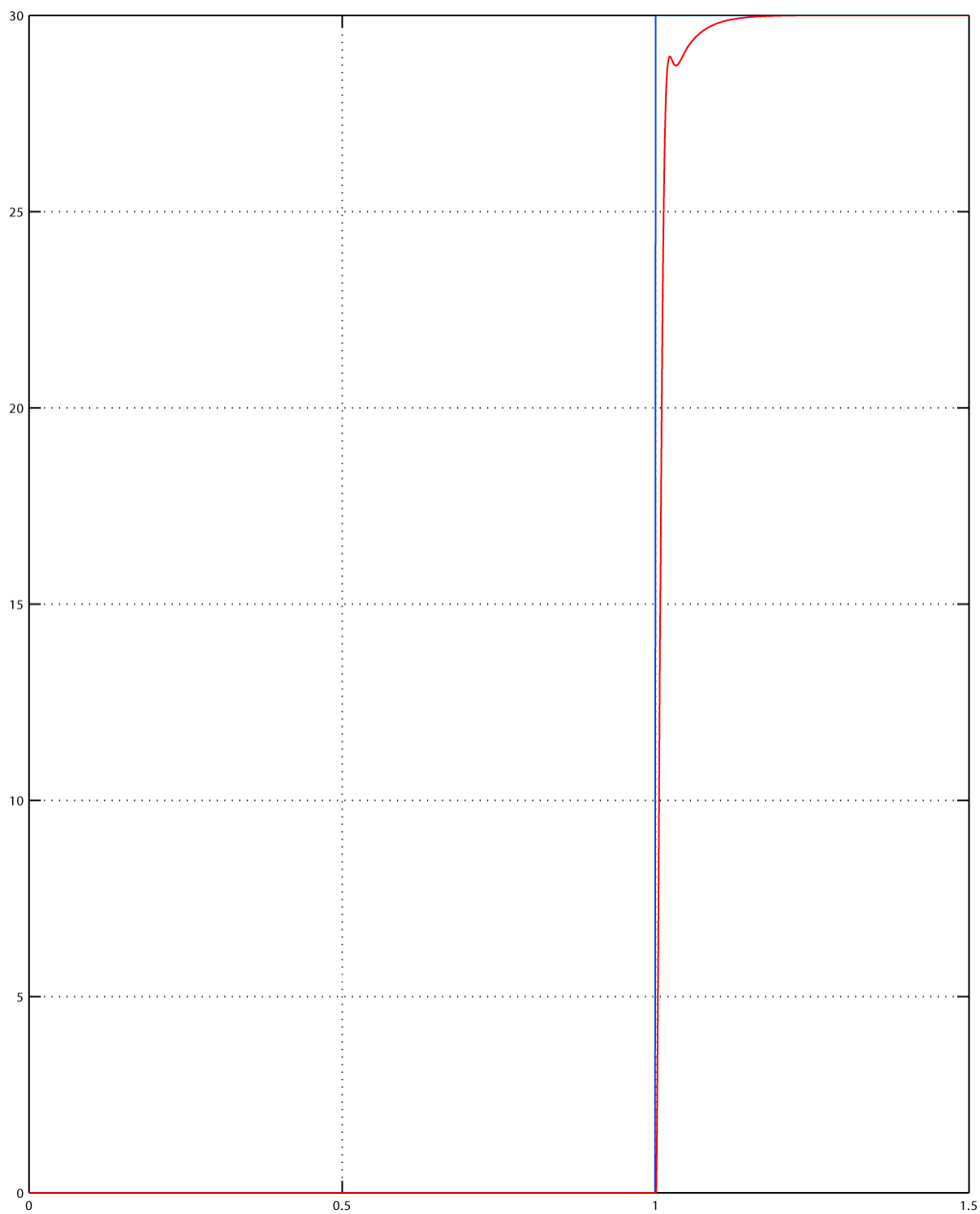
Konačno, Bodeov dijagram željenog otvorenog regulacijskog kruga opisanog sa (3.8) dan je na sl.3.5.



Sl.3.5. Bode dijagram prijenosne funkcije (3.8)

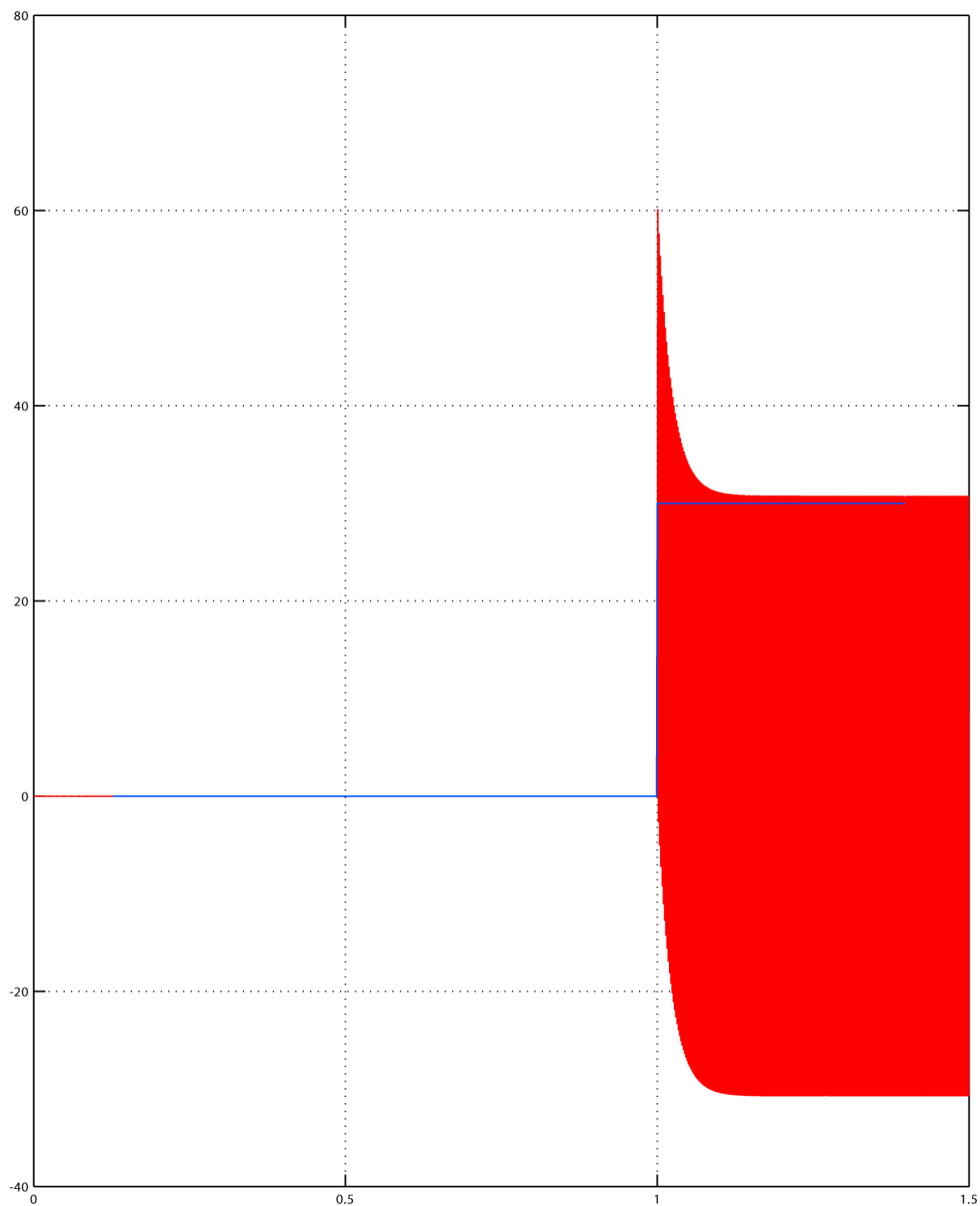
3.3.2. Pokus 2: Simulacija kruga regulacije brzine vrtnje rotacijskog elektromehaničkog sustava SRV02

Prema danim zahtjevima snimili smo odzive, odnosno dane usporedbe, te ih prilažem sljedećim slikama. Na njima je plavom bojom označen referentni signal dok je regulirani signal brzine vrtnje označen crvenom bojom.



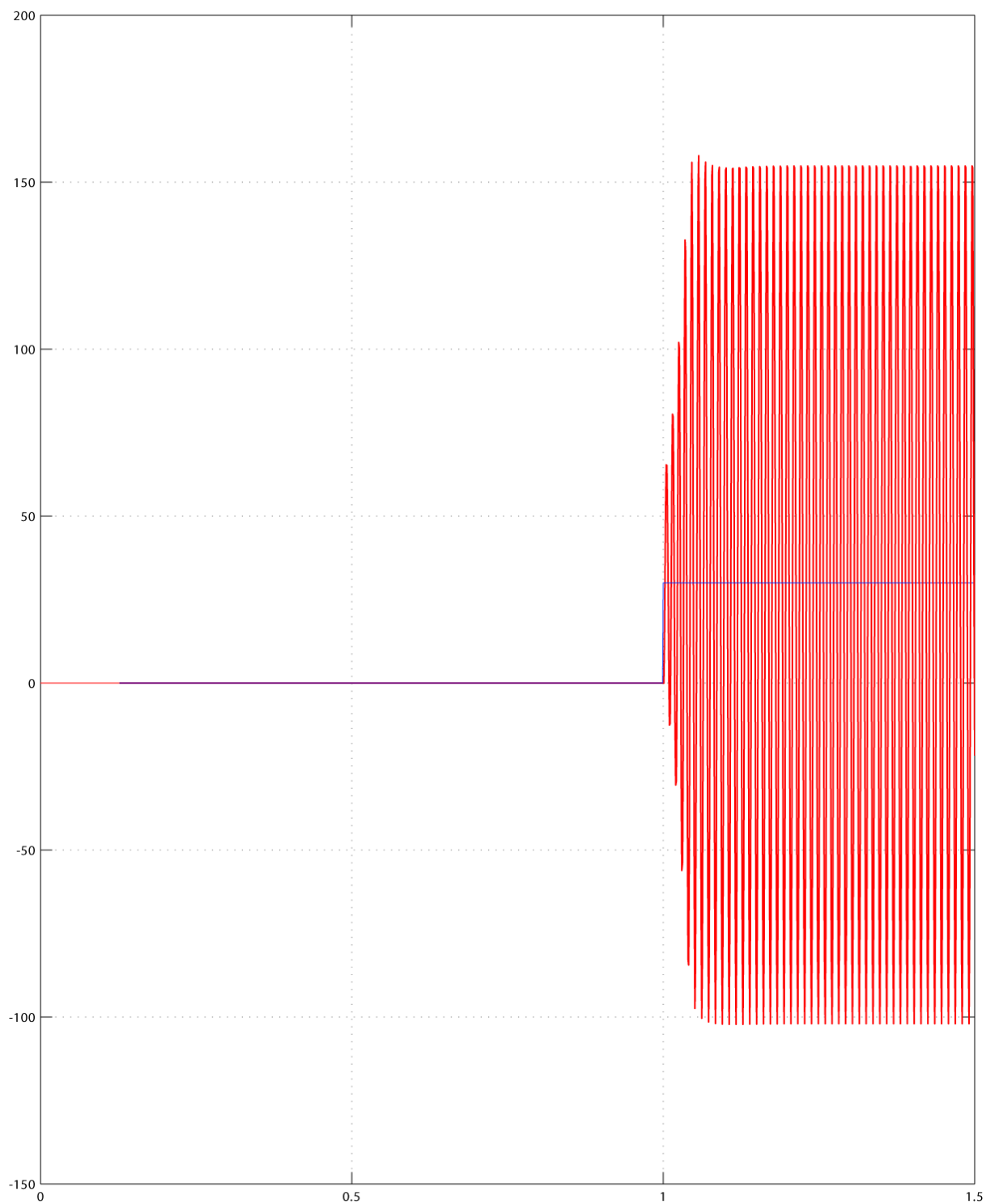
Time offset: 0

Sl.3.6. Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude



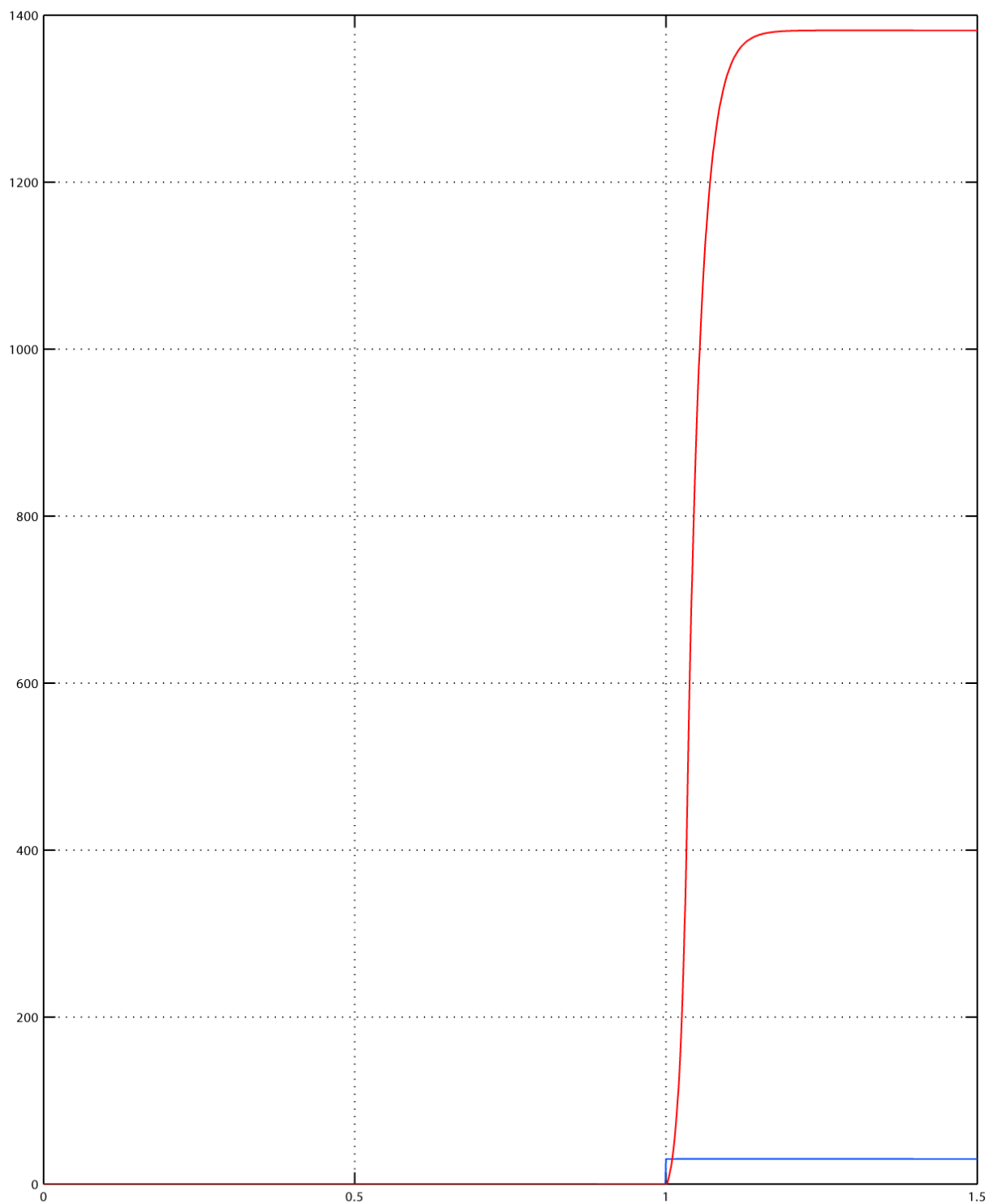
Time offset: 0

Sl.3.7. Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju kada regulator nema integracijskog djelovanja.



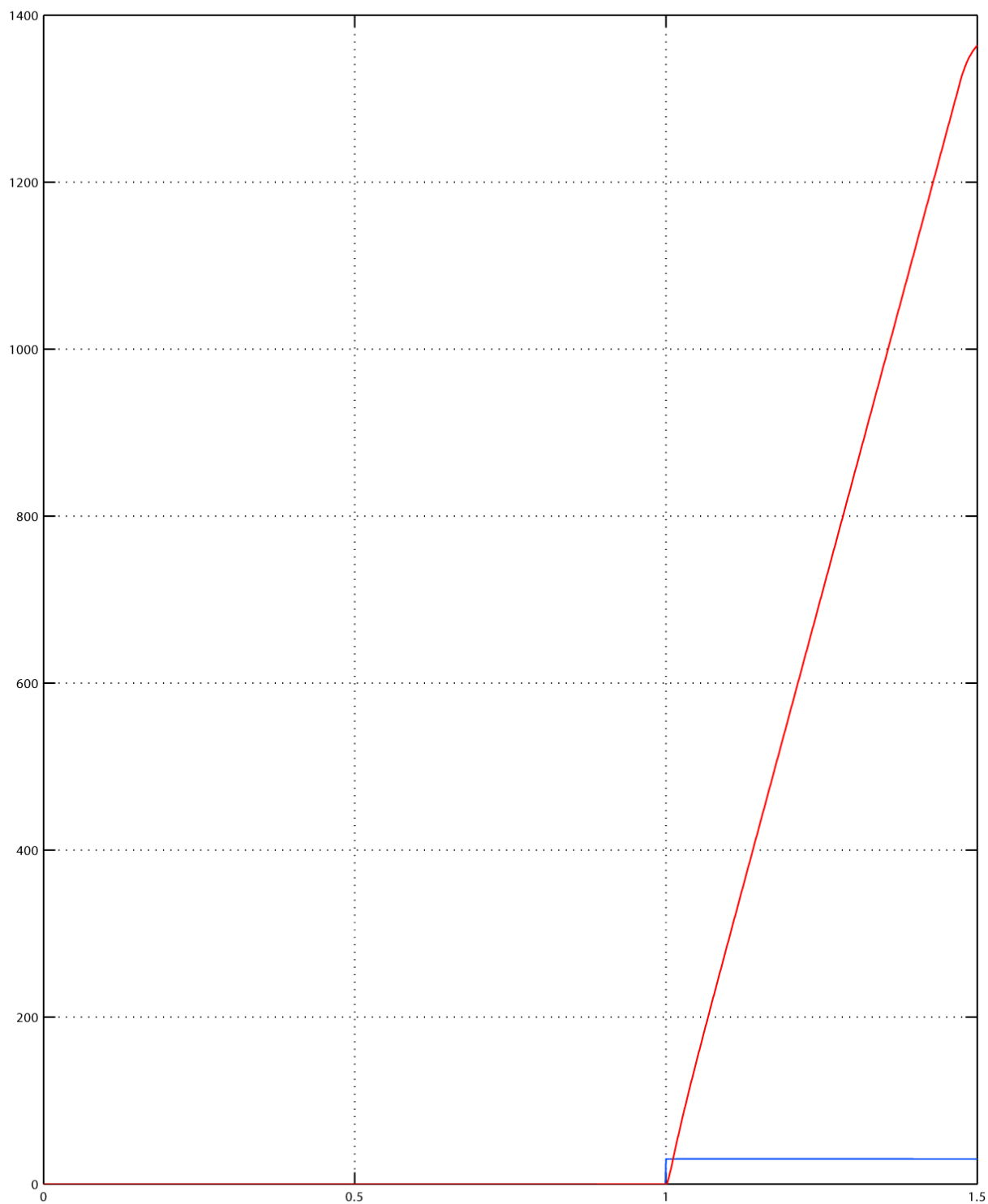
Time offset: 0

Sl.3.8. Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju kada je pojačanje K_p 10 puta veće od proračunate vrijednosti.



Time offset: 0

Sl.3.9. Usporedba referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju pozitivne povratne veze.



Time offset: 0

Sl.3.10. Usporedba signala referentnog i reguliranog signala brzine vrtnje kod skokovite pobude u slučaju prekida povratne veze.

3.4. Zaključak

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

Pošto smo sustavu osigurali astatizam tek prvog reda on bi na funkciju linerarnog porasta, odnosno rampu, imao neku regulacijsku pogrešku određenu. No da smo sustavu osigurali astatizam drugog reda, tome ne bi bio slučaj.

Pri radi na ovoj vježbi naišao sam na problem određivanja pojedinih vrijednosti koje sam riješio korištenjem funkcije *margin(g)* umjesto naveden *bode(G)*. Također, osjeća se ograničenje unutar programa Matlab što na dane figure ne postoji opcija izvoza u neki kvalitetniji format slike već je oslonac na „Print Screen metodi“. Ovo sam ograničenje riješio ponavljanjem vježbe na vlastitom računalu.

Ova mi je vježba dala dobar oslonac pri sljedećem projektiranju regulatora brzine vrtnje. No gotovo sam siguran da samo ukoliko zahtjevi ne bi odgovarali ovima ne bi se odlučio na isti postupak.

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

U ovom smo sustavu, odnosno u simulacijskom modelu elektromehaničkog sustava SVR02 uveli član koji nam ograničava vrijednost ulazne brzine vrtnje. Tako smo zapravo linearni simulacijski (i matematički) model pretvorili u nelinearni te bi ga takvog mogli dodatno proučavati. U principu se svodi na to da smo time ograničili krajnje vrijednosti brzine vrtnje koje simulacijski model može postići. Problemi koje bi mogao očekivati leže u činjenici da nelinearni član može stvoriti trajno regulacijsko odstupanje, uvesti dodatne frekvencije u krug u slučaju periodičke funkcije i slično.