

## 7. Model malih signala za pogon bez davača položaja

U ovom poglavlju je analizirana dinamika malih signala u pogonu asinhronog motora bez davača položaja. Smatra se da je pogon vektorski kontrolisan sa IFOC strukturom, i da je za procenu brzine rotora primenjen observer baziran na MRAS principu. U pogonu deluje regulator brzine koji generiše signal zadatog elektromagnetnog momenta u cilju održavanja zadate brzine rotora. Obezbeđena je i strujna regulacija koja kontrolom napona na izlazu invertora kontroliše ugao i amplitudu vektora magnetopobudne sile statora. Regulatori su postavljeni u rotirajućem sistemu osa, čiji se ugao dinamički proračunava na osnovu procenjene brzine na izlaza MRAS observera kao i na osnovu unapred proračunatog klizanja.

Da bi se u potpunosti opisao rad ovog pogona nije dovoljno posmatrati samo jednačine stacionarnog stanja. Jednačine stacionarnog stanja uzimaju u obzir samo ustaljene vrednosti svih ulaza i stanja pogona. Sa širokim propusnim opsezima regulatora brzine i struje, neophodno je proširiti opseg učestanosti signala koje je moguće analizirati. Pored ustaljene komponente zadatog momenta, rad regulatora brzine izaziva male promene zadatog momenta različitih amplituda i na različitim učestanostima. Ove male promene se dešavaju u okolini stacionarne radne tačke i predstavljaju varijacije oko ustaljene vrednosti signala koje sa određenom dinamikom prolaze kroz pogon. U slučaju malih signala, nelinearni deo sistema se ili ugrađuje u radnu tačku ili zanemaruje kao mala veličina drugog reda, tako da se dinamika ovih signala uobičajeno opisuje linearnim jednačinama.

Dinamički odziv MRAS observera brzine se analizira u [A33] i [G1]. Analiza se vrši u rotirajućem sistemu osa u kome su stacionarne veličine nepromenljive i mogu se jasno definisati. Ovim je omogućena linearizacija modela u okolini određene nelinearne stacionarne radne tačke. U opisu dinamike malih signala polazi se od pretpostavke da referentni naponski model rotorskog fluksa radi bez greške, i da je njime procenjen vektor rotorskog fluksa tačan  $\vec{\psi}_r^{ui} = \vec{\psi}_r$ . Dinamika ovog modela se može opisati strujnim modelom sa tačnim parametrima i tačnom brzinom rotora na ulazu. Ovaj model prikazan u  $dq$  rotirajućem sistemu osa:

$$P \begin{bmatrix} \psi_{dr} \\ \psi_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & \omega_k \\ -\omega_k & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{dr} \\ \psi_{qr} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix}. \quad (7.1)$$

Male promene ulaznih veličina ovog modela se mogu razdvojiti od usrednjenih vrednosti:

$$\Delta i_{ds} = i_{ds} - I_{dso}, \Delta i_{qs} = i_{qs} - I_{qso}, \Delta \omega_k = \omega_k - \omega_{ko}. \quad (7.2)$$

Na sličan način se dobijaju male promene komponenti fluksa rotora:

$$\Delta \psi_{dr} = \psi_{dr} - \psi_{dro}, \Delta \psi_{qr} = \psi_{qr} - \psi_{qro}. \quad (7.3)$$

Kada se u (7.1) usvoje (7.2) i (7.3), dobija se sledeći model za male signale:

$$P \begin{bmatrix} \Delta \psi_{dr} \\ \Delta \psi_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & \omega_{k0} \\ -\omega_{k0} & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \psi_{dr} \\ \Delta \psi_{qr} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} \Delta i_{ds} \\ \Delta i_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\psi_{qro} \\ \psi_{dro} \end{bmatrix} \Delta \omega_r. \quad (7.4)$$

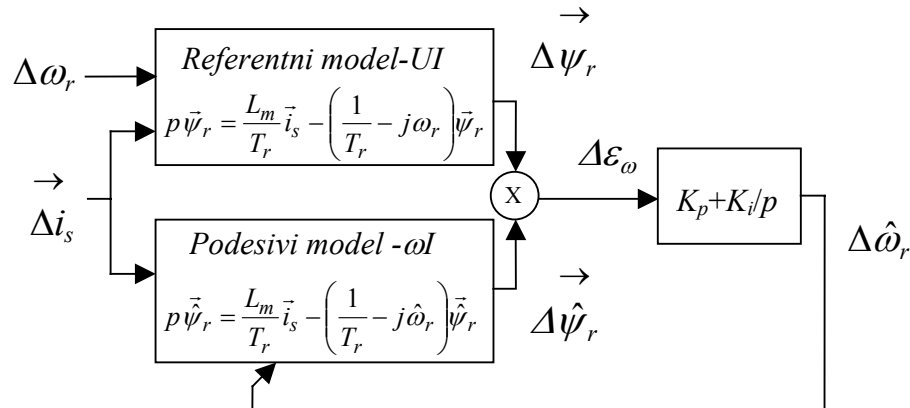
Jednačina (7.4) je dobijena linearizacijom modela (7.1) u okolini stacionarne tačke, uz zanemarene male veličine drugog reda:  $\Delta\psi_{dr}\Delta\omega_r \approx 0$ ,  $\Delta\psi_{qr}\Delta\omega_r \approx 0$ .

Sa druge strane, strujni model rotorskog fluksa se koristi kao podesivi model MRAS observera i na ulazu ima procenjenju brzinu rotora. Ovaj signal, pri prelaznim procesima, kao i pri malim poremećajima nije jednak stvarnoj brzini rotora. Kada se isključi stacionarna radna tačka, i zanemare male veličine drugog reda, za signal procenjenog rotorskog fluksa na izlazu strujnog modela,  $\vec{\psi}_r^{\omega_i} = \vec{\psi}_r$ , se dobija:

$$p \begin{bmatrix} \Delta\hat{\psi}_{dr} \\ \Delta\hat{\psi}_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & \hat{\omega}_{k0} \\ -\hat{\omega}_{k0} & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\hat{\psi}_{dr} \\ \Delta\hat{\psi}_{qr} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} \Delta i_{ds} \\ \Delta i_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\hat{\psi}_{qro} \\ \hat{\psi}_{dro} \end{bmatrix} \Delta\hat{\omega}_r, \quad (7.5)$$

gde je  $\hat{\omega}_{k0} = \omega_{dq} - \hat{\omega}_r$  usrednjena vrednost procenjene učestanosti klizanja koja u opštem slučaju ne mora biti jednaka ostvarenoj vrednosti  $\omega_{k0} = \omega_{dq} - \omega_r$ .

Ovim su linearizovana oba modela rotorskog fluksa korišćena u okviru MRAS observera brzine rotora. Na osnovu izvedenih modela jasno je da observer brzine poseduje dva signala na ulazu, malu promenu brzine rotora i malu promenu vektora struje statora. Mali signali nastali tokom procene brzine dati su na slici 7.1.



Sl. 7.1. Mali signali u okviru MRAS observera brzine.

Transformacija obrtanja ne menja funkciju greške datu u (6.7) tako da njena linearizovana vrednost u  $dq$  sistemu koordinata glasi:

$$\begin{aligned} \Delta\epsilon_\omega &= \psi_{qro}(\Delta\hat{\psi}_{dr} - \Delta\psi_{dr}) - \psi_{dro}(\Delta\hat{\psi}_{qr} - \Delta\psi_{qr}) \\ &= \psi_{dro}\Delta\epsilon_{qr} - \psi_{qro}\Delta\epsilon_{dr}, \end{aligned} \quad (7.6)$$

gde su  $\Delta\epsilon_{dr} = \Delta\psi_{dr} - \Delta\hat{\psi}_{dr}$ ,  $\Delta\epsilon_{qr} = \Delta\psi_{qr} - \Delta\hat{\psi}_{qr}$ .

Oduzimanjem odgovarajućih jednačina referentnog i podesivog modela dobija se sistem jednačina signala razlike komponenti rotorskog fluksa,

$$\left( p + \frac{1}{T_r} \right) \begin{bmatrix} \Delta\epsilon_{dr} \\ \Delta\epsilon_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\epsilon_{qr} \\ -\Delta\epsilon_{dr} \end{bmatrix} \omega_{ko} + \begin{bmatrix} \psi_{qro} \\ -\psi_{dro} \end{bmatrix} (\Delta\omega_k - \Delta\hat{\omega}_k), \quad (7.7)$$

čije rešenje glasi:

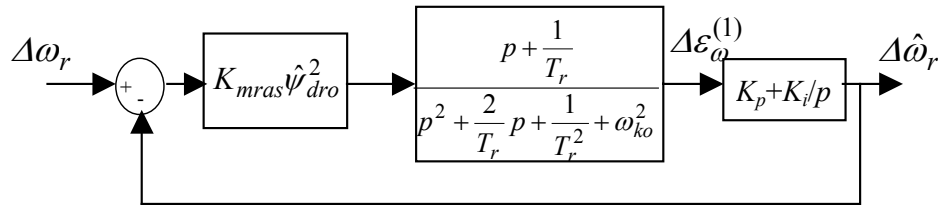
$$\Delta \varepsilon_{dr} = \frac{\psi_{gro} \left( p + \frac{1}{T_r} \right) - \psi_{dro} \omega_{ko}}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{ko}^2} (\Delta \omega_k - \Delta \hat{\omega}_k), \quad (7.8.)$$

$$\Delta \varepsilon_{qr} = \frac{-\psi_{dro} \left( p + \frac{1}{T_r} \right) - \psi_{gro} \omega_{ko}}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{ko}^2} (\Delta \omega_k - \Delta \hat{\omega}_k). \quad (7.9.)$$

Konačno, uz korišćenje  $\Delta \omega_k - \Delta \hat{\omega}_k = -(\Delta \omega_r - \Delta \hat{\omega}_r)$ , dolazimo do funkcije za signal greške MRAS observera brzine,

$$\Delta \varepsilon_{\omega}^{(1)} = \frac{(\psi_{dro}^2 + \psi_{gro}^2) \left( p + \frac{1}{T_r} \right)}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{ko}^2} (\Delta \omega_r - \Delta \hat{\omega}_r). \quad (7.10.)$$

Ovim je analitički opisan način na koji male promene u signalu brzine rotora utiču na promenu greške MRAS observera. Pomenuti signal greške je ujedno i na ulazu adaptivnog mehanizma i predstavlja pokretački signal MRAS observera. Zatvorena povratna sprega sa tipičnim PI regulatorom reaguje na svaku promenu ovog signala i koriguje procenjenu brzinu rotora. Nakon prestanka prelaznih procesa u observeru, integralno dejstvo regulatora dovodi do nulte srednje vrednosti signala greške. Ova dinamika malih signala u pogonu sa MRAS observerom brzine je opisana na slici 7.2.



Sl. 7.2 Blok dijagram dinamičkog odziva MRAS observera.

Opisana dinamika malih signala dovodi do jednog važnog zaključka. Uticaj drugog ulaza modela na slici 7.1, male promene u vektoru struje statora, potpuno se poništava i ne javlja na izlazu, u signalu MRAS greške. Ovo se jednostavno objašnjava činjenicom da se svaka mala promena u vektoru struje statora na identičan način prenosi kroz oba modela rotorskog fluksa data na slici 7.1, i samim tim nema uticaja na razliku njihovih izlaza.

Prethodno pomenuto ne važi u opštem slučaju. Promena u signalu struje statora se ne prostire uvek na isti način kroz dva modela rotorskog fluksa. Razlika nastaje usled moguće greške u parametru vremenske konstante rotora, korišćenom u adaptivnom modelu. Ukoliko vrednost ovog parametra nije u skladu sa stvarnim parametrom rotorskog kola, odziv adaptivnog modela na malu promenu struje statora nije jednak odzivu stvarnog fluksa rotora. Sa druge strane, greška u parametru vremenske konstante rotora ne utiče na rezultat

referentnog modela. Ukoliko su ostali parametri ovog modela tačni, njegov izlaz i pored greške u parametru rotora i dalje prati promenu rotorskog fluksa.

U radu pogona signal  $q$  struje statora stalno varira u okolini ustaljene vrednosti. Ova promena nastaje usled reakcije regulatora brzine, može biti širokog spektra i mnogo je značajnija u odnosu na promenu u struji  $d$  ose. Ova varijacija signala  $q$  ose dovodi do malih promena ostvarenih komponenti fluksa rotora koje nakon linearizacije glase:

$$p \begin{bmatrix} \Delta\psi_{dr} \\ \Delta\psi_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r} & \omega_{k0} \\ -\omega_{k0} & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\psi_{dr} \\ \Delta\psi_{qr} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r} \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta i_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \psi_{qro} \\ -\psi_{dro} \end{bmatrix} \Delta\omega_k. \quad (7.11.)$$

Na osnovu (7.11) je jasno da promena u struji  $\Delta i_{qs}$  dovodi do promena u obe komponente fluksa rotora. Jednačina za  $d$  osu pokazuje da ova promena utiče samo indirektno na promenu fluksa  $\Delta\psi_{dr}$ , preko promene  $\Delta\psi_{qr}$ ,

$$\Delta\psi_{dr} = \frac{\omega_{k0}}{p + \frac{1}{T_r}} \Delta\psi_{qr}. \quad (7.12.)$$

Mala promena fluksa  $q$  ose rotora može nastati usled promene  $\Delta i_{qs}$  ali isto tako i usled promene brzine rotora. Ove promenu ujedno dovode i do malih promena ostvarnog klizanja  $\Delta\omega_k$ , tako da za  $q$  osu važi:

$$\left( \left( p + \frac{1}{T_r} \right) + \frac{\omega_{k0}^2}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)} \right) \Delta\psi_{qr} = -\psi_{dro} \Delta\omega_k + \frac{L_m}{T_r} \Delta i_{qs}. \quad (7.13.)$$

Dalje, korišćenjem veze između procenjene i ostvarene učestanosti klizanja:

$$\left. \begin{aligned} \omega_k &= \omega_{dq} - \omega_r \\ \omega_{dq} &= \hat{\omega}_k + \hat{\omega}_r \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta\omega_k = \Delta\hat{\omega}_k + (\Delta\hat{\omega}_r - \Delta\omega_r) \quad (7.14.)$$

kao i veze između promene procenjenog klizanja i struje  $q$  ose:

$$\Delta\hat{\omega}_k = \frac{L_m}{T_r^* \Psi_{dr0}} \Delta i_{qs}, \quad (7.15.)$$

za promene fluksa rotora u  $q$  osi se dobija:

$$\Delta\psi_{qr} = \frac{\psi_{dro} \left( p + \frac{1}{T_r} \right)}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{k0}^2} (\Delta\omega_r - \Delta\hat{\omega}_r) + \frac{L_m \left( p + \frac{1}{T_r} \right)}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{k0}^2} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_r^*} \right) \Delta i_{qs}. \quad (7.16.)$$

Prilikom izvođenja (7.16) uzeto je u obzir da se učestanost klizanja proračunava na osnovu parametra  $T_r^*$  dok je stvarna vrednost rotorske konstante jednaka  $T_r$ . Izvedeni izraz pokazuje da promena u ostvarenom fluksu rotora u  $q$  osi može nastati kao posledica promene brzine rotora ili usled promene u struji  $q$  ose statora. Ovo drugo važi samo u slučaju da parametar  $T_r^*$  nije u skladu sa stvarnom vrednošću vremenske konstante rotora.

Za razliku od tačnog modela rotorskog fluksa, adaptivni model koristi identičnu vrednost parametra  $T_r^*$ , koja se koristi i pri računu promene klizanja, i potpuno je neosetljiv na malu promenu u struji  $q$  ose statora.

$$p \begin{bmatrix} \Delta \hat{\psi}_{dr} \\ \Delta \hat{\psi}_{qr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_r^*} & \hat{\omega}_{k0} \\ -\hat{\omega}_{k0} & -\frac{1}{T_r^*} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \hat{\psi}_{dr} \\ \Delta \hat{\psi}_{qr} \end{bmatrix} + \frac{L_m}{T_r^*} \begin{bmatrix} \Delta i_{ds} \\ \Delta i_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\psi}_{qro} \\ -\hat{\psi}_{dro} \end{bmatrix} \Delta \hat{\omega}_k \quad (7.17.)$$

Ukoliko se zadrži  $\Delta i_{ds} = 0$  i  $\Delta \hat{\omega}_k$  računa na osnovu (7.15), bilo koja promena  $\Delta i_{qs}$  ne izaziva promenu u procenjenom vektoru fluksa rotora na izlazu ovog modela. Ovo je tačno jer se uticaj promene  $\Delta i_{qs}$  direktno poništava zavisnom promenom klizanja  $\Delta \hat{\omega}_k$ ,

$$\frac{L_m}{T_r^*} \Delta i_{qs} = \hat{\psi}_{dro} \Delta \hat{\omega}_k. \quad (7.18.)$$

Na osnovu (7.18) je jasno da pri promeni  $\Delta i_{qs} \neq 0$ , ne dolazi do promene procenjenog fluksa u  $q$  osi rotora  $\Delta \hat{\psi}_{qr} = 0$ , a samim tim nema promene ni u proceni fluksa  $d$  ose  $\Delta \hat{\psi}_{dr} = 0$ .

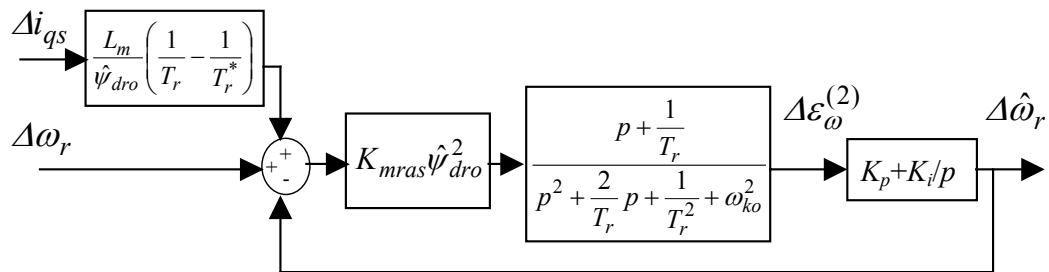
Na osnovu gore navedenog, mala promena u signalu greške MRAS observera brzine:

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_{\omega}^{(2)} &= \psi_{dro} \Delta \varepsilon_{qr} - \psi_{qro} \Delta \varepsilon_{dr}, \\ &= \psi_{dro} \Delta \varepsilon_{qr}, \\ &= \psi_{dro} \Delta \Psi_{qr}, \end{aligned} \quad (7.19.)$$

postaje jednaka:

$$\Delta \varepsilon_{\omega}^{(2)} = \frac{\psi_{dro}^2 \left( p + \frac{1}{T_r} \right)}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{k0}^2} (\Delta \omega_r - \Delta \hat{\omega}_r) + \frac{L_m \psi_{dro} \left( p + \frac{1}{T_r} \right)}{\left( p + \frac{1}{T_r} \right)^2 + \omega_{k0}^2} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_r^*} \right) \Delta i_{qs}. \quad (7.20.)$$

Jednačina (7.20) pokazuje da u slučaju nepodešenog adaptivnog modela promena u struji  $q$  ose statora direktno utiče na grešku MRAS observera brzine. Ovaj dodatni put signala sa ulaza ka grešci se poništava u slučaju tačne vrednosti parametra  $T_r^*$ . Tada se jednačina (7.20) svodi na (7.10). Sa druge strane, uticaj promene brzine rotora na grešku je nepromenjen, što pokazuje prvi deo jednačine (7.20). Novi blok dijagram koji potpunije opisuje dinamiku MRAS observera brzine i sadrži dodatni blok za opis uticaja promene struje statora, prikazan je na slici 7.3.

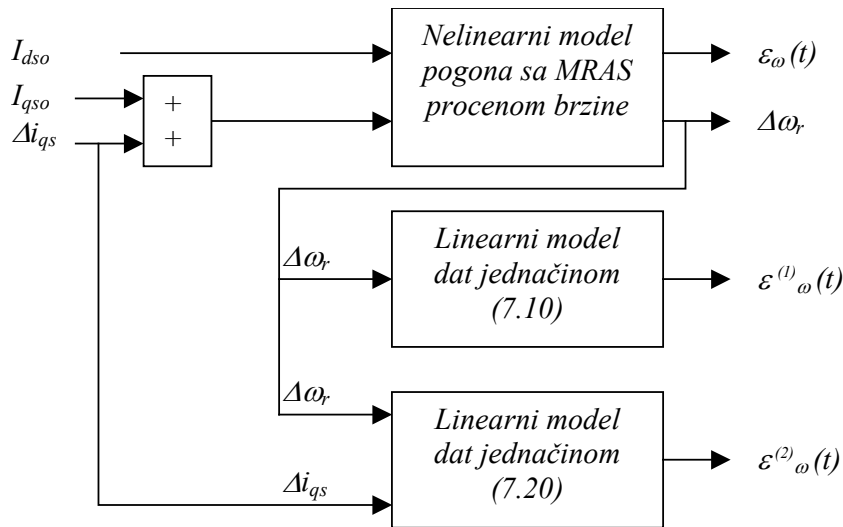


Sl. 7.3. Blok dijagram dinamičkog odziva MRAS observera sa pogrešnim parametrom vremenske konstante rotora

Funkcija greške data sa (7.20) i prikazana na slici 7.3 potpunije opisuje situaciju u pogonu sa mogućom greškom parametra rotorskog kola. Da bi se ovo potvrdilo, putem računarskih simulacija je izvršeno poređenje prethodno izvedenih linearizovanih funkcija prenosa. Paralelno su analizirane (slika 7.4) male promene na izlazu nelinearnog dinamičkog modela MRAS observera brzine prikazanog na slici 6.4, linearnog bloka datog jednačinom (7.10) i linearnog bloka datog jednačinom (7.20).

Nelinearni model pogona asinhronog motora sa MRAS procenom brzine radi u okolini stacionarne radne tačke definisane zadatom vrednošću brzine rotora  $\omega_{ref}$  i konstantnim momentom opterećenja na vratilu  $m_{opt}$ . Parametar vremenske konstante rotora korišćen u modelu MRAS estimatora brzine je podešen različito od vrednosti korišćene u nelinearnom modelu motora. Kao što je objašnjeno u poglavlju 6.2, ovo dovodi do razlike u stacionarnim vrednostima izračunatog i ostvarenog klizanja  $\omega_{k0} = (T_r^* / T_r) \hat{\omega}_{k0}$ , kao i do razlike između procenjene i ostvarene brzine rotora,  $\hat{\omega}_{r0} = \omega_{ref}$  i  $\omega_{r0} = \omega_{ref} + (1 - (T_r^* / T_r)) \hat{\omega}_{k0}$ . Pomenute vrednosti ujedno i definišu radnu tačku nelinearnog modela. Da bi se obezbedilo dovoljno malih signala u okolini radne tačke u  $q$  komponentu struje statora je utisnut pravougaoni test signal, relativno male amplitude i učestanosti 20Hz.

Dva linearna modela su pobuđena paralelno, sa identičnim malim signalima. Ovi mali signali su dobijeni na osnovu varijacija signala ulaza i izlaza nelinearnog modela pogona u okolini odgovarajućih stacionarnih vrednosti. Parametri linearizovanih modela greške su takođe podešeni u skladu sa stacionarnom radnom tačkom nelinearnog modela.

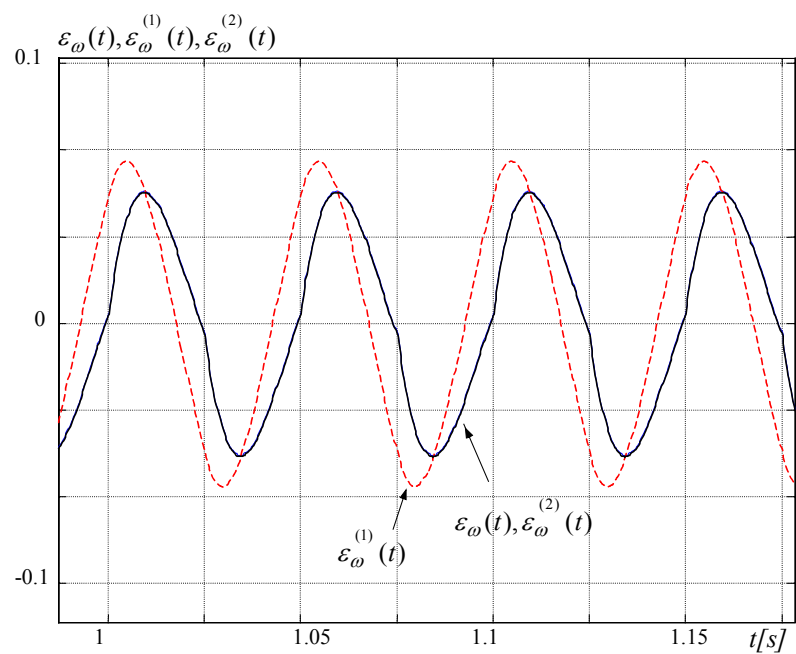


Sl. 7.4. Poređenje dva različita pristupa linearizaciji greške MRAS observera brzine.

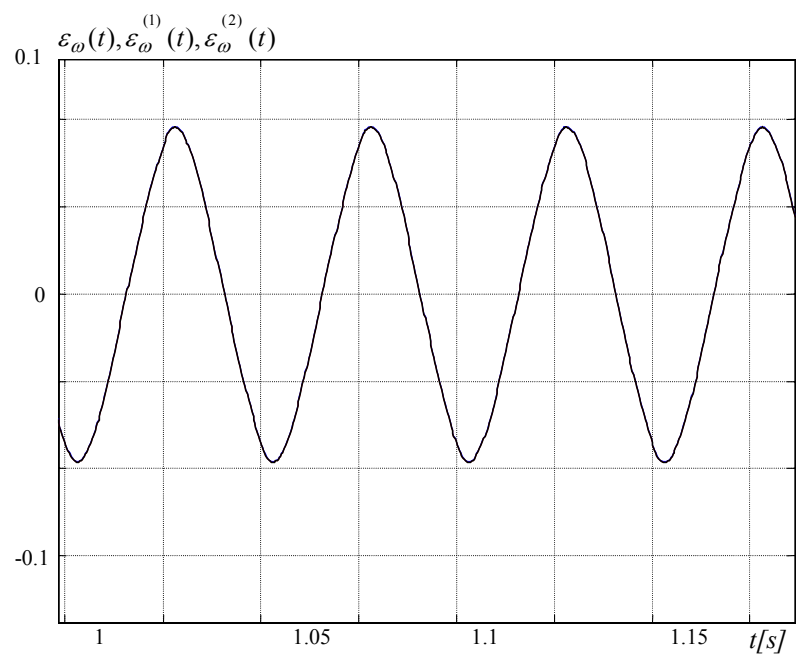
Poređenje izlaza ova tri modela je vršeno tek nakon ulaska nelinearnog modela u stacionarno stanje. Rezultati računarskih simulacija za signal greške MRAS observera,

- (a) na izlazu nelinearnog modela -  $\Delta \varepsilon_{\omega}$ ,
- (b) na izlazu linearizovanog modela (7.10) -  $\Delta \varepsilon_{\omega}^{(1)}$ ,
- (c) na izlazu linearizovanog modela (7.20) -  $\Delta \varepsilon_{\omega}^{(2)}$

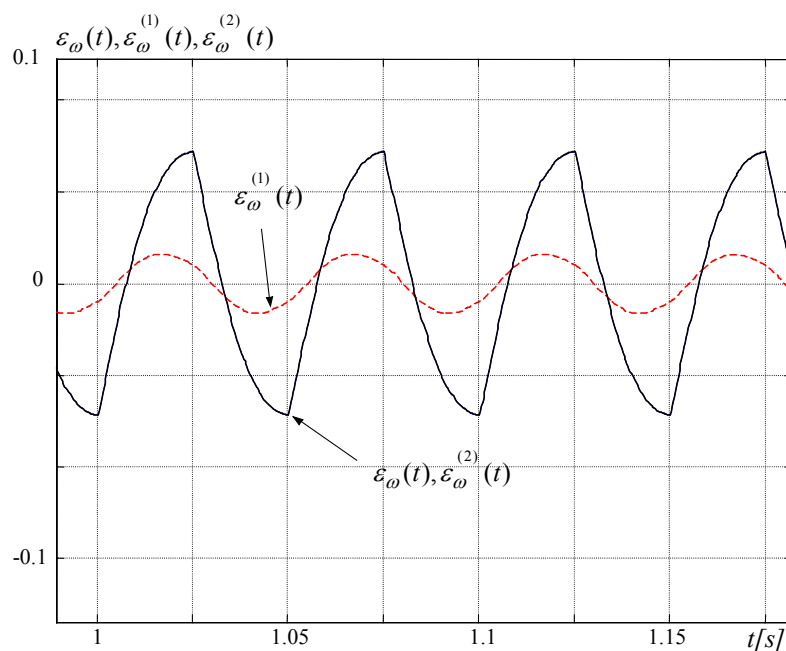
dati su na slikama 7.5-7.7.



Sl. 7.5. Mala promena greške nelinearnog MRAS estimatora brzine, promena greške linearizovana jednačinama 7.10 i 7.20, uz parametar  $T_r^* < T_r$ .



Sl. 7.6. Mala promena greške nelinearnog MRAS estimatora brzine, promena greške linearizovana jednačinama 7.10 i 7.20, uz parametar  $T_r^* = T_r$ .



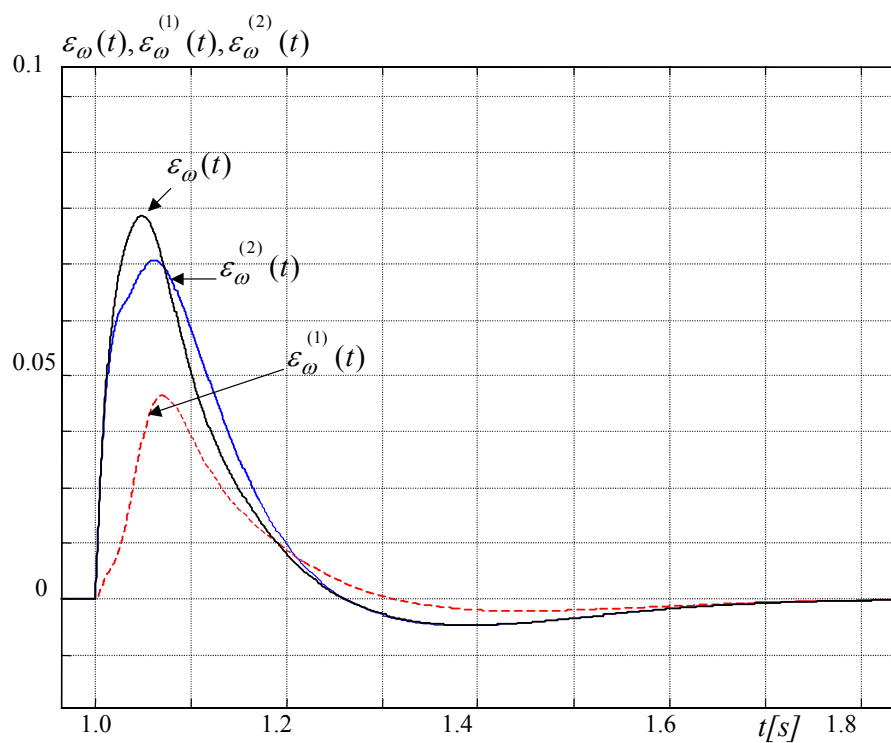
Sl. 7.7. Mala promena greške nelinearnog MRAS estimatora brzine, promena greške linearizovana jednačinama 7.10 i 7.20, uz parametar  $T_r^* > T_r$ .

Rezultati računarskih simulacija dati na slikama 7.5 – 7.7 pokazuju da linearni model (7.20) daje verniju predstavu o malim promenama izlaza nelinearnog modela. Ovaj model je opravdano koristiti za bilo koju vrednost parametra  $T_r^*$ . To ne važi za signal dobijen linearizacijom signala greške na osnovu (7.10), čiji je rezultat računarskih simulacija prikazan isprekidanom linijom. Dati signal prati varijacije izlaza nelinearnog modela samo u slučaju tačnog parametra  $T_r^*$ , što je prikazano na slici 7.6 na kojoj su sva tri signala skoro identična.

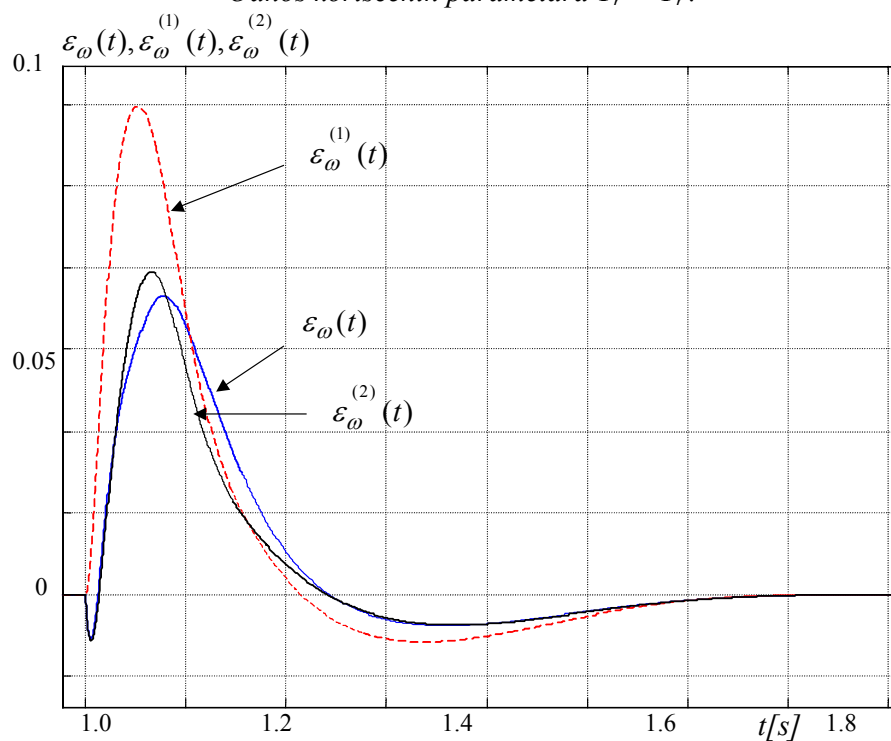
Slična situacija nastaje i u slučaju step promene zadate brzine rotora na ulazu nelinearnog modela. Ova promena izaziva značajnu promenu signala struje  $q$  ose kao i svih ostalih malih signala u pogonu. Na slikama 7.8-7.9 koje slede prikazan je step odziv sva tri signala greške za dve različite vrednosti parametra  $T_r^*$ . Ovi rezultati takođe pokazuju da model dat sa (7.20) vernije odlikava male promene nelinearnog odziva signala greške. Prikazani poremećaj u signalu greške je relativno veliki i ni jedan od odziva linearizovanih modela ga ne prati u potpunosti. Slike ipak jasno pokazuju da je signal  $\Delta\varepsilon_\omega^{(2)}$  vernija slika  $\Delta\varepsilon_\omega$ .

Ovaj rezultat ostavlja otvorenu mogućnost procene vremenske konstante rotora. Rezultati računarskih simulacija su pokazali: a) da je nelinearni signal greške MRAS observera brzine osetljiv na grešku u parametru rotora i b) da se ta veza za male signale može linearizovati i dovoljno tačno opisati sa modelom datim u (7.20). U sledećem poglavlju je ova veza detaljnije analizirana i predložen je novi mehanizam za korekciju parametra vremenske konstante rotora.





Sl. 7.8. Step odziv greške MRAS estimatora: nelinearni model, linearni modeli (7.10) i (7.20).  
Odnos korišćenih parametara  $T_r^* < T_r$ .



Sl. 7.9. Step odziv greške MRAS estimatora: nelinearni model, linearni modeli (7.10) i (7.20).  
Odnos korišćenih parametara  $T_r^* > T_r$ .