

Identifikacija parametara sistema pobude agregata A1 u HE "Piro"

Dušan Joksimović¹, Đorđe Stojić¹, Zoran Ćirić¹, Dušan Arnautović¹, Milan Milinković¹, Slavko Veinović¹, Nemanja Milojević¹

¹Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Univerzitet u Beogradu, Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija
dusan.joksimovic@ieent.org

Kratak sadržaj: U radu su prikazani ekvivalentni modeli automatske i ručne regulacije sistema pobude agregata A1 u HE "Piro" i date su vrednosti svih parametara sistema pobude. Na osnovu eksperimentalno dobijenih snimaka odziva na odskočne promene reference regulatora sistema pobude identifikovani su parametri ekvivalentnog modela automatske regulacije i upoređeni su sa vrednostima parametara koje su podešene na samom regulatoru. Eksperimentalno su određene vrednosti statizma po reaktivnoj snazi na generatorskim i mrežnim sabirnicama agregata.

Ključne reči: pobudni sistem, regulacija pobude, identifikacija parametara, ekvivalentni model

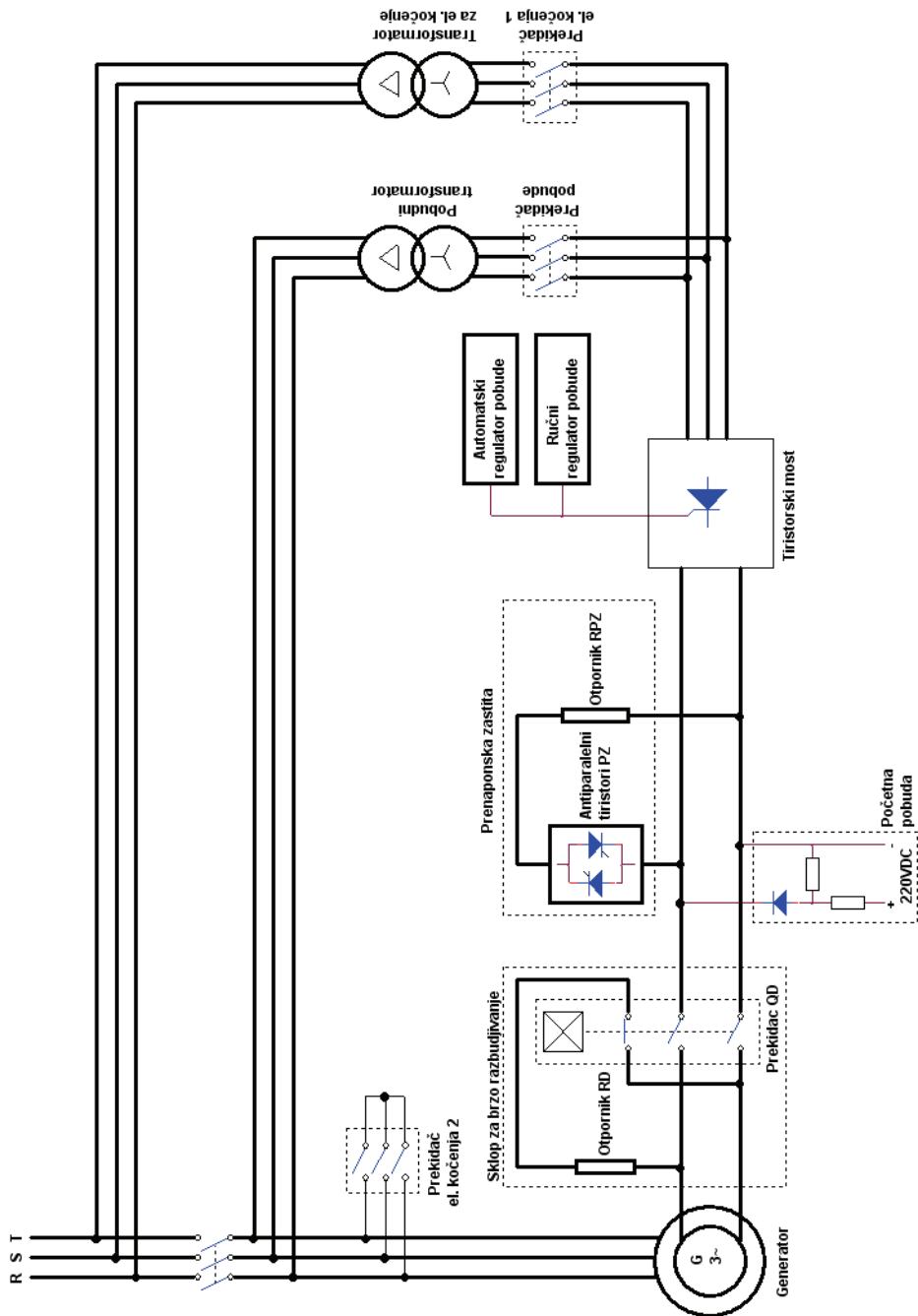
1. Uvod

Identifikacija parametara sistema pobude agregata A1 u HE "Piro" je urađena u okviru studije modelovanja elektroenergetskog sistema Srbije. Stabilnost rada generatora i njegove dinamičke performanse u velikoj meri zavise od sistema pobude, pa je pri modelovanju elektroenergetskog sistema neophodno identifikovati parametre i modelovati generator zajedno sa sistemom pobude. Identifikacija parametara sistema pobude je urađena u skladu sa međunarodnim standardima i tehničkim preporukama IEEE Std 421 i IEC 60034-16. Identifikaciju parametara su obavili saradnici Elektrotehničkog instituta "Nikola Tesla" sa svojim višedecenijskim iskustvom u izradi i ispitivanjima sistema pobude [3].

Sistem pobude agregata A1 u HE "Piro" predstavlja regulisani izvor napajanja pobudnog namotaja sinhronog hidrogeneratora, koji ima sledeće osnovne parametre [2]:

| | |
|---|------------|
| • Nominalna prividna snaga: | 44,5MVA |
| • Nominalna aktivna snaga: | 40MW |
| • Nominalni faktor snage: | 0,9 |
| • Nominalni napon statora: | 10,5kV |
| • Nominalna struja statora: | 2447A |
| • Frekvencija: | 50Hz |
| • Broj obrtaja: | 500obr/min |
| • Spoj: | Y |
| • Nominalni napon pobude: | 215V |
| • Nominalna struja pobude: | 604A |
| • Koeficijent forsiranja pobude po struji: | 2,03 |
| • Dozvoljeno vreme trajanja plafonske pobudne struje: | 10s |
| • Koeficijent forsiranja pobude po naponu: | 2,51 |

Sistem pobude je statički sa tiristorskim mostom i napaja se sa 10,5kV izvoda generatora pre generatorskog prekidača preko pobudnog transformatora. Blok šema sistema pobude je prikazana na Slici 1. U okviru upravljačkog dela su realizovane regulacione funkcije, limiteri, merenja, zaštite, upravljanje, nadzor i komunikacija sa drugim sistemima i uređajima u elektrani. Osnovni element upravljačkog dela je automatski regulator statorskog napona generatora, koji održava napon statora na zadatoj vrednosti uz kompenzaciju po reaktivnoj snazi i preko limitera automatski ograničava rad generatora u okviru dozvoljene radne oblasti, definisane pogonskom kartom generatora. Kao rezerva automatskom regulatoru postoji ručni regulator, koji održava struju pobude na zadatoj vrednosti. Upravljanje tiristorskim mostom se vrši faznom regulacijom impulsa za paljenje tiristora, odnosno formiranjem šest impulsa sa određenim uglom paljenja. U okviru sistema pobude realizovano je električno kočenje agregata.



Slika 1: Blok šema sistema pobude agregata A1 u HE "Piroć"

2. Snimci dinamičkih odziva sistema pobude

Za snimanje dinamičkih odziva je korišćen akvizicioni sistem sa učestanošću odabiranja od 10kHz baziran na opremi proizvođača National Instruments i softveru koji je razvijen u Elektrotehničkom institutu "Nikola Tesla" [4]. Prilikom snimanja odziva sinhronog generatora i sistema pobude, izmerene su vrednosti sledećih parametara dinamičkih karakteristika, koji definišu kvalitet odziva mašine [5, 6]:

- vreme uspona merne veličine T_u koje definiše vreme potrebno da se odskočni odziv veličine promeni sa 10% na 90% stacionarne vrednosti,
- vreme opadanja merne veličine T_o koje definiše vreme potrebno da se odskočni odziv veličine promeni sa 90% na 10% stacionarne vrednosti,
- vreme smirenja T_s koje definiše vreme potrebno da odskočni odziv uđe u opseg $\pm 2\%$ stacionarne vrednosti,
- preskok Π definiše razliku u procentima između vrednosti prvog maksimuma odskočnog odziva u poređenju sa stacionarnom vrednosti merene veličine.

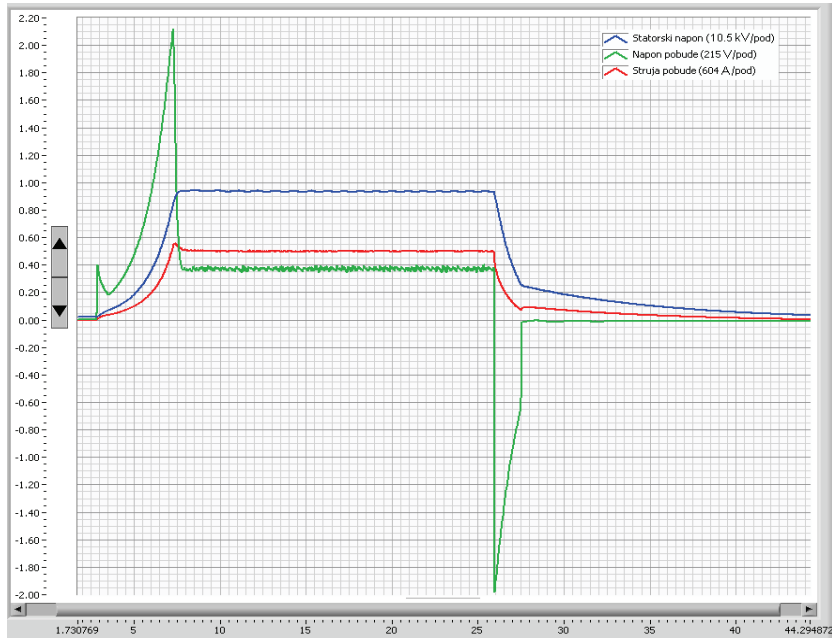
Prihvatljive vrednosti navedenih pokazatelja dinamičkih performansi su date su u tabeli 1 [5]:

Tabela 1. Prihvatljive vrednosti pokazatelja dinamičkih performansi

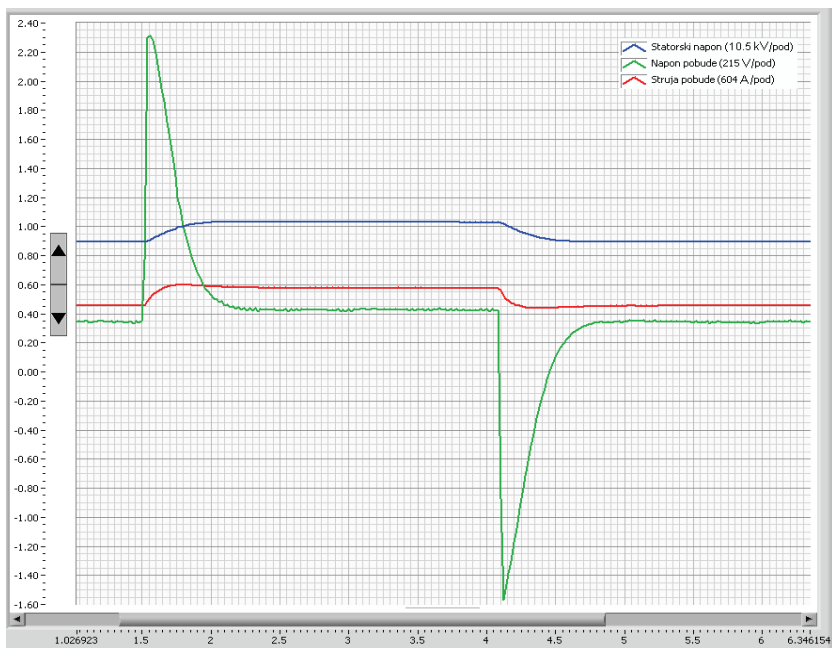
| Pokazatelj | Prihvatljiv opseg |
|--------------------------|-------------------|
| Preskok Π | 0% - 20% |
| Vreme uspona $T_R (T_O)$ | 0,1s - 5s |
| Vreme smirenja T_S | 1s - 15s |

Na slici 2 dat je snimak dinamike pobuđivanja i razbuđivanja generatora u automatskoj regulaciji napona statora. Dinamički pokazatelji imaju sledeće vrednosti: $T_{uUg} = 3,22s$, $T_{oUg} = 1,51s$, $T_{sUg} = 5,61s$, $\Pi = 4,81\%$.

Na slici 3 dat je snimak dinamike odziva sistema pobude na odskočnu promenu reference statorskog napona u automatskoj regulaciji napona statora u praznom hodu generatora. Dinamički pokazatelji imaju sledeće vrednosti: $T_{uUg} = 0,32s$, $T_{oUg} = 0,31s$, $T_{sUg} = 2,72s$, $\Pi = 4,61\%$.



Slika 2. Dinamika pobuđivanja i razbuđivanja generatora u automatskoj regulaciji napona statora



Slika 3. Dinamika odziva sistema pobude na odskočnu promenu reference u automatskoj regulaciji napona statora u praznom hodu generatora

Na slici 4. dat je snimak dinamike pobuđivanja i razbuđivanja generatora u ručnoj regulaciji pobude. Dinamički pokazatelji imaju sledeće vrednosti: $T_{ulif} = 4,12s$, $T_{olif} = 1,45s$, $T_{slif} = 3,15s$, $\sigma = 9,89\%$.



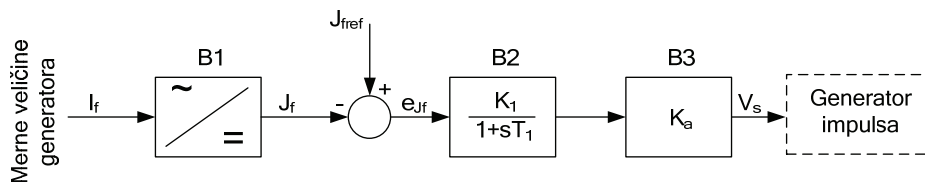
Slika 4. Dinamika pobuđivanja i razbuđivanja generatora u ručnoj regulaciji pobude

Na osnovu snimka i vrednosti pokazatelja može se zaključiti da sistem pobude i u automatskoj i u ručnoj regulaciji ima dobre dinamičke performanse.

3. Određivanje parametara ručne i automatske regulacije

3.1. Parametri ekvivalentnih modela ručne i automatske regulacije

Ekvivalentan model ručnog regulatora struje pobude u kontinualnom domenu je prikazan na slici 5.



Slika 5. Ekvivalentni model ručnog regulatora struje pobude u kontinualnom domenu

Na slici 5 su sledeći elementi i veličine:

- B1 - Jedinica za merenje struje pobude
- B2 - Proporcionalni pojačavač sa ulaznim filterom za prilagođenje pojačanja koeficijentu forsirnog napona
- B3 - Pojačalo snage konstantnog pojačanja
- I_f - Struja pobude u apsolutnim jedinicama
- J_f - Struja pobude u relativnim jedinicama
- J_{fref} - Referentna vrednost struje pobude u relativnim jedinicama
- e_{Jf} - Signal greške ručnog regulatora struje u relativnim jedinicama
- V_S - Izlazni signal ručnog regulatora struje

Parametri modela na slici 5 imaju sledeće podešene vrednosti:

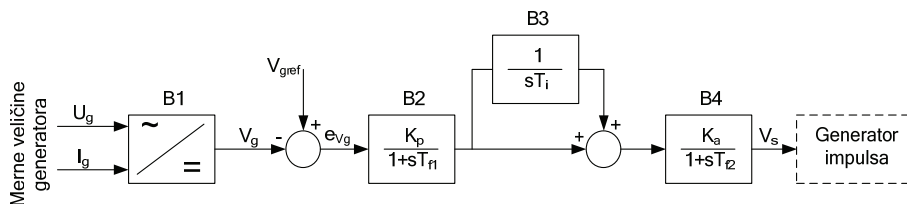
- $K_1 = 10,8$ - dinamičko pojačanje
- $T_1 = 0,02s$
- $K_a = \frac{V_S^{\max}}{K_C} = \frac{8}{5.4} = 1,48$

Zanemarenjem vremenske konstante T_1 dobija se uprošćena prenosna funkcija ručnog regulatora struje pobude:

$$V_S = K_1 \cdot K_a \cdot e_{Jf} = 15,98 \cdot e_{Jf} \quad (1)$$

Predmet analize predstavlja procedura za određivanje vrednosti parametara regulatora korišćenjem snimaka dinamike odziva sistema pobude na odskočnu promenu reference i poređenje sa podešenim vrednostima parametara. Ekvivalentan model regulacije sastoji se iz dve celine: linearnog regulatora i ekvivalentnog modela izvršnog organa – punoupravljevog tiristorskog mosta.

Ekvivalentan model automatskog regulatora napona statora u kontinualnom domenu je prikazan na Slici 6.



Slika 6. Ekvivalentni model automatskog regulatora napona statora u kontinualnom domenu

Na slici 6 su sledeći elementi i veličine:

- B1 - Jedinica za merenje napona sa kompenzacijom reaktivne struje
- B2 - Proporcionalni pojačavač sa ulaznim filterom za izbor pojačanja pobudnog sistema
- B3 - Integrator
- B4 - Proporcionalni pojačavač sa ulaznim filtrom za prilagođenje

- U_g i I_g - Napon i struja generatora
- V_g - Napon generatora u relativnim jedinicama sabran sa kompenzacijom po reaktivnoj snazi prema podešenom statizmu
- V_{gref} - Referentna vrednost napona generatora u relativnim jedinicama
- e_{Vg} - Signal greške automatskog regulatora napona u relativnim jedinicama
- V_S - Izlazni signal automatskog regulatora napona

Parametri modela na slici 6 imaju sledeće podešene vrednosti:

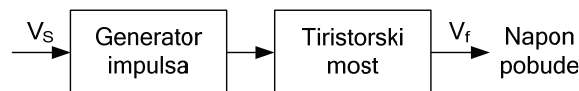
- dinamičko pojačanje - $K_p = 30$
- $T_{f1} = 0,025$ s
- $T_i = 3$ s
- $K_C = \frac{U_{fmax}}{U_{fph}} = \frac{540V}{100V} = 5,4$ - koeficijent forsirnog napona, gde su U_{fmax} - maksimalna vrednost napona pobude i U_{fph} - nominalni napon pobude u praznom hodu generatora, koji se usvaja za baznu vrednost napona pobude
- $K_a = \frac{V_S^{max}}{K_C} = \frac{8}{5,4} = 1,48$, gde je V_S^{max} - maksimalna vrednost izlaznog signala automatskog regulatora napona
- $T_{f2} = 0,002$ s

Zanemarenjem vremenskih konstanti T_{f1} i T_{f2} dobija se uprošćena prenosna funkcija automatskog regulatora napona statora:

$$V_S = K_a \cdot \left(K_p + \frac{K_p}{sT_i} \right) \cdot e_{Vg} = \frac{K_a \cdot K_p}{s} \cdot \left(s + \frac{1}{T_i} \right) = \frac{44,8}{s} \cdot (s + 0,33) \cdot e_{Vg} \quad (2)$$

3.2. Parametri ekvivalentnog modela generatora impulsa i tiristorskog mosta

Blok šema generatora impulsa i punoupravljivog tiristorskog mosta je prikazana na slici 7.



Slika 7. Blok šema generatora impulsa i punoupravljivog tiristorskog mosta

Napon pobude na izlazu iz tiristorskog mosta u apsolutnim jedinicama se može dobiti na osnovu izraza:

$$U_f = U_{fmax} \cdot \cos \alpha - (U_{Xn} - U_{Rn}) \cdot \frac{I_f}{I_{fn}} - 2 \cdot U_{th} \quad (3)$$

gde su:

- U_f - napon pobude (jednosmerni napon na izlazu tiristorskog mosta)
- U_{fmax} - maksimalni napon pobude
- α - ugao upravljanja
- U_{Xn} - induktivni (reaktivni) pad jednosmernog napona kod nominalne struje pobude
- U_{Rn} - otporni (aktivni) pad jednosmernog napona kod nominalne struje pobude
- I_f - struja pobude (jednosmerna struja na izlazu tiristorskog mosta)
- I_{dn} - nominalna struja pobude
- U_{th} - pad napona u propusnom smeru tiristora

Napon pobude se reguliše promenom ugla upravljanja α , a sa time se menja i trenutak otpočinjanja komutacije struje sa jedne faze na drugu. Područje regulacije ide od pozitivne maksimalne vrednosti, preko nule, do iste maksimalne negativne vrednosti. Ugao upravljanja α se definiše kao ugaona razlika između trenutka paljenja tiristora u kom se šalje impuls gejt i trenutka kada tiristor postane pozitivno polarisan. Veza između upravljačkog signala V_S i ugla upravljanja α je:

$$V_S = V_{Smax} \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

gde su: V_S - upravljački signal na izlazu regulacione jedinice i V_{Smax} - maksimalna vrednost upravljačkog signala.

Kombinacijom prethodne dve jednakosti dobija se karakteristika generatora impulsa i tiristorskog mosta kao linearna veza između napona pobude i dovedenog upravljačkog signala na generatoru impulsa:

$$U_f = \frac{U_{fmax}}{V_{Smax}} \cdot V_S - (U_{Xn} - U_{Rn}) \cdot \frac{I_f}{I_{fn}} - 2 \cdot U_{th} \quad (5)$$

Prelaskom u relativne jedinice napona pobude, ako se zanemare navedeni padovi napona i ako se uvaži vremenska konstanta tiristorskog mosta $T_{TM} = 0,0011s$, prenosna funkcija se može izraziti u obliku:

$$V_f = \frac{1}{K_a} \cdot \frac{1}{1 + T_{TM} \cdot s} \cdot V_S \quad (6)$$

gde je: V_f - napon pobude u relativnim jedinicama.

3.3. Određivanje parametara regulacije na osnovu odziva regulisanih i upravljačkih veličina

3.3.1. Određivanje parametara regulacije struje pobude

Pošto je dinamika tiristorskog mosta za više redova veličine brža u poređenju sa dinamikom sinhronog generatora, prilikom identifikacije

parametara ručne regulacije struje pobude, tiristorski most će biti modelovan samo sa ekvivalentnim pojačanjem. Analizom funkcije prenosa (1) ručnog regulatora struje pobude, date u poglavlju 3.1, može se zaključiti da se radi o sistemu nultog reda. Ekvivalentna funkcija prenosa između signala greške struje pobude i napona pobude u relativnim jedinicama prema vrednostima parametara koje su podešene na samom regulatoru ima oblik:

$$G_{RR}^{pod} = \frac{J_f[r.j.]}{e_{Jf}[r.j.]} = \frac{1}{K_a} \cdot K_a \cdot K_1 = K_{pRR}^{pod} = 10,8 \quad (7)$$

Prelaskom na apsolutne jedinice funkcija prenosa postaje:

$$G_{RRa}^{pod} = \frac{U_f[V]}{e_{Jf}[A]} = \frac{U_f[r.j.]}{e_{Jf}[r.j.]} \cdot \frac{U_{fph}[V]}{I_{fph}[A]} = K_1 \cdot \frac{U_{fph}[V]}{I_{fph}[A]} = K_{pRRa}^{pod} = 3,78 \frac{[V]}{[A]} \quad (8)$$

S obzirom da nisu postojale tehničke mogućnosti za zadavanje odskočnog poremećaja reference ručnog regulatora, za parametre ručne regulacije će biti usvojene podešene vrednosti:

$$G_{RRa} = K_{pRRa}^{pod} = 3,78 \frac{[V]}{[A]} \quad (9)$$

3.3.2. Određivanje parametara regulacije napona statora na osnovu odziva napona statora i napona pobude

Pošto je dinamika tiristorskog mosta za više redova veličine brža u poređenju sa dinamikom regulatora i sinhronog generatora, prilikom identifikacije parametara automatske regulacije napona statora, tiristorski most će, kao i jod regulacije struje pobude, biti modelovan samo sa ekvivalentnim pojačanjem. Analizom funkcije prenosa (2) automatskog regulatora napona statora, date u poglavlju 3.1, može se zaključiti da se radi o sistemu prvog reda. Ekvivalentna funkcija prenosa automatske regulacije napona $G_{ARN}(s)$ između signala greške napona statora i napona pobude u relativnim jedinicama prema vrednostima parametara koje su podešene na samom regulatoru ima oblik:

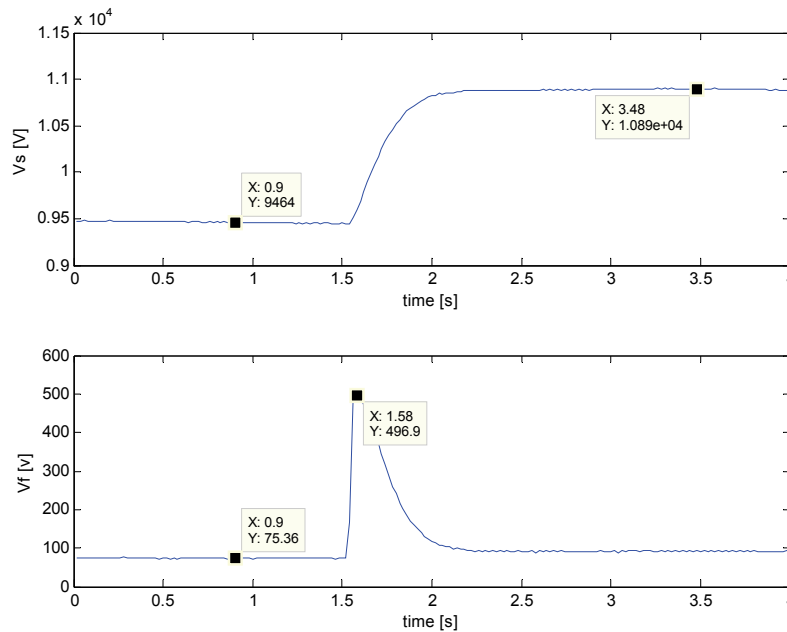
$$\begin{aligned} G_{ARN}^{pod}(s) &= \frac{V_f[r.j.]}{e_{Vg}[r.j.]} = \frac{1}{K_a} \cdot \frac{K_a \cdot K_p}{s} \cdot \left(s + \frac{1}{T_i}\right) = \\ &= K_{pARN} \cdot \frac{\left(s + \frac{1}{T_{iARN}}\right)}{s} = 30 \cdot \frac{\left(s + \frac{1}{3}\right)}{s} \end{aligned} \quad (10)$$

Prelaskom na apsolutne jedinice funkcija prenosa postaje:

$$G_{ARNa}^{pod}(s) = \frac{U_f[V]}{e_{Ug}[V]} = \frac{V_f[r.j.]}{e_{Vg}[r.j.]} \cdot \frac{U_{fph}[V]}{U_{gn}[V]} = K_P \cdot \frac{(s + \frac{1}{T_i})}{s} \cdot \frac{U_{fph}[V]}{U_{gn}[V]} =$$

$$= K_{pARNa}^{pod} \cdot \frac{(s + \frac{1}{T_{iARNa}^{pod}})}{s} = 30 \cdot \frac{(s + \frac{1}{3})}{s} \cdot \frac{100}{10500} = 0,29 \cdot \frac{(s + 0,333)}{s} \quad (11)$$

Korišćenjem izmerenih rezultata odziva na odskočnu promenu referentne vrednosti napona statora u praznom hodu moguće je eksperimentalno izmeriti vrednosti pojačanja K_{pARNa}^e i vremenske konstante T_{iARN}^e iz (11). Na Slici 8 su dati prikazi odziva.



Slika 8. Odzivi (a) napona pobude i (b) napona statora u praznom hodu na odskočnu promenu reference napona statora za 13% u automatskoj regulaciji

Na osnovu snimaka odziva na Slici 8, odnosno vrednosti promene napona statora i napona pobude ΔU_g i ΔU_f , moguće je izračunati vrednost ekvivalentnog pojačanja K_{pARNa}^e kao:

$$K_{pARNa}^e = \frac{\Delta U_f}{\Delta U_g} = \frac{496.9V - 75.36V}{10890V - 9464V} = 0,296 \quad (12)$$

Vrednost parametra $T_{iARN}^e = 2,89s$ estimirana je korišćenjem snimaka sa Slike 7 i odgovarajućeg softverskog paketa metodom parametarske identifikacije opisane u literaturi [1]. Poređenjem eksperimentalnih rezultata parametarske identifikacije K_{pARNa}^e i T_{iARN}^e sa podešenim vrednostima parametara moguće je zaključiti da se eksperimentalno dobijene vrednosti u značajnoj meri slažu sa vrednostima očitanim na samom uređaju.

U skladu sa priloženim rezultatima identifikacije vrednosti parametara ekvivalentnog modela automatske regulacije napona moguće je definisati rezultujuću funkciju prenosa, koja odgovara usvojenom modelu regulacije u kontinualnom domenu:

$$G_{ARNa}(s) = K_{pARNa}^e \cdot \frac{(s + \frac{1}{T_{iARN}^e})}{s} = 0,296 \cdot \frac{s + 0,347}{s} \quad (13)$$

Eksperimentalno određena prenosna funkcija data u izrazu (13) i u saglasnosti je sa prenosnom funkcijom koja je data u izrazu (11) sa vrednostima parametara koje su podešene na samom regulatoru.

4. Određivanje statizama po reaktivnoj snazi

Određivanje statizma automatske regulacije napona σ_g na izvodima statora generatora vrši se merenjima vrednosti napona statora za različite vrednosti reaktivne snage generatora pri stalnoj naponskoj referenci. Vrednost statizma na generatorskim sabirnicama se određuje na osnovu relacije:

$$\sigma_g = \frac{U_{g1} - U_{g2}}{Q_{g1} - Q_{g2}} \cdot \frac{Q_{g\text{nom}}}{U_{g\text{nom}}} 100\% \quad (14)$$

gde su: U_{g1} i U_{g2} - vrednosti napona statora pri prvom i drugom merenju, Q_{g1} i Q_{g2} - vrednosti reaktivne snage pri prvom i drugom merenju, $U_{g\text{nom}} = 10,5\text{kV}$ - nominalni napon statora, $Q_{g\text{nom}} = 17,9\text{MVar}$ - nominalna reaktivna snaga generatora. U tabeli 2 je dat prikaz rezultata merenja.

Tabela 2. Rezultati merenja statizma automatske regulacije napona σ_g na izvodima statora generatora

| U_{g1} [kV] | Q_{g1} [MVar] | U_{g2} [kV] | Q_{g2} [MVar] | σ_g [%] |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|
| 9,75 | 0 | 9,91 | 17,9 | 1,52 |

Određivanje statizma automatske regulacije napona σ_m na mrežnim sabirnicama agregata vrši se merenjima vrednosti napona mreže za različite vrednosti reaktivne snage generatora pri stalnoj naponskoj referenci. Vrednost statizma na mrežnim sabirnicama se određuje na osnovu relacije:

$$\sigma_m = \frac{U_{m1} - U_{m2}}{Q_{g1} - Q_{g2}} \cdot \frac{Q_{g\ nom}}{U_{m\ nom}} 100\% \quad (15)$$

gde su: U_{m1} i U_{m2} - vrednosti napona mreže pri prvom i drugom merenju, Q_{g1} i Q_{g2} - vrednosti reaktivne snage pri prvom i drugom merenju, $U_{mnom} = 110\text{kV}$ - nominalni napon mrežnih sabirnica, $Q_{gnom} = 17,9\text{MVar}$ - nominalna reaktivna snaga generatora. U Tabeli 3 je dat prikaz rezultata merenja.

Tabela 3. Rezultati merenja statizma automatske regulacije napona σ_m na mrežnim sabirnicama agregata

| U_{m1} [kV] | Q_{g1} [MVar] | U_{m2} [kV] | Q_{g2} [MVar] | σ_m [%] |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------|----------------|
| 107,9 | 0 | 103,4 | 17,9 | -4,09 |

5. Parametri forsiranja

Forsiranje predstavlja rad sistema pobude sa strujom pobude većom od trajno dozvoljene u ograničenom vremenskom periodu kada to zahtevaju prilike u elektroenergetskom sistemu. Prekoračenje struje iznad trajno dozvoljene regulišu trenutni i vremenski zategnut limiter maksimalne struje pobude. Trenutni limiter ograničava struju pobude na plafonsku vrednost bez vremenske zadržke. Vremenski zategnut limiter ograničava struju pobude na trajno dozvoljenu vrednost i deluje nakon podešene vremenske zadržke. Nakon jednog forsiranja sledeće forsiranje je zabranjeno u podešenom vremenskom periodu. Parametri koji određuju forsiranje su dati u Tabeli 4.

Tabela 4. Parametri forsiranja

| Naziv parametra | Vrednost parametra |
|--------------------------------------|--------------------|
| Trajno dozvoljena struja pobude | 680A |
| Plafonska struja pobude | 1230A |
| Maksimalno vreme trajanja forsiranja | 6s |
| Vreme trajanja zabrane forsiranja | 15min |

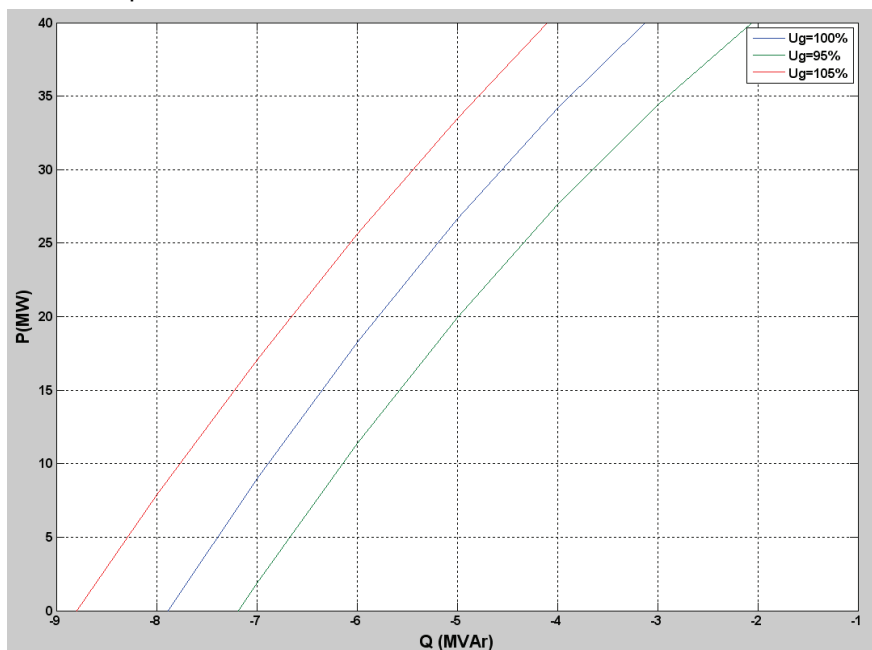
6. Parametri limitera

Limiter minimalne pobude je određen kružnicom u P-Q dijagramu koja se pomera u zavisnosti od napona statora. Rezultati merenja prorade limitera su dati u Tabeli 5:

Tabela 5. Rezultati merenja prorade limitera minimalne pobude

| Napon statora (kV) | Struja statora (A) | Aktivna snaga (MW) | Reaktivna snaga (MVAr) |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 10,5 | 435 | 0,0 | -7,9 |
| 10,5 | 960 | 16,3 | -6,2 |
| 10,5 | 2130 | 38,5 | -3,4 |
| 10,5 | 2445 | 44,3 | -2,4 |
| 9,975 | 415 | 0,0 | -7,2 |
| 9,975 | 910 | 14,7 | -5,6 |
| 9,975 | 2010 | 34,6 | -3,0 |
| 9,975 | 2575 | 44,4 | -1,2 |
| 11,025 | 460 | 0,0 | -8,8 |
| 11,025 | 1010 | 18,0 | -6,9 |
| 11,025 | 2235 | 42,5 | -3,7 |
| 11,025 | 2330 | 44,3 | -3,5 |

Granice prorade limitera minimalne pobude u P-Q dijagramu za različite vrednosti napona statora su date na Slici 9:



Slika 9. Granice prorade limitera minimalne pobude za različite vrednosti napona statora

Vremenski zategnut limiter maksimalne struje pobude prorađuje pri porastu struje iznad 680A (113% nominalne struje pobude) i deluje na smanjenje struje pobude na navedenu vrednost sa vremenskom zadržkom od 6s. Nakon jedne prorade limitera u narednih 15 min limiter deluje bez vremenske zadržke.

Trenutni limiter maksimalne struje pobude prorađuje pri porastu struje iznad 1230A (203% nominalne struje pobude) i trenutno deluje na smanjenje struje pobude na navedenu vrednost.

7. Zaključak

Dobijeni snimci dinamičkih odziva pokazuju da su parametri regulatora podešeni tako da su zadovoljeni svi uslovi po pitanju dinamike procesa pobuđivanja, razbuđivanja i poremećaja relevantnih za rad pobudnog sistema u skladu sa preporukama u [5] i [6]. Poređenjem eksperimentalnih rezultata parametarske identifikacije sa podešenim vrednostima parametara moguće je zaključiti da se eksperimentalno dobijene vrednosti u značajnoj meri slažu sa vrednostima očitanim na samom uređaju. Podešenja svih limitera odgovaraju pogonskoj karti generatora.

8. Literatura

- [1] H. Garnier, M. Mensler, and A. Richard, „Continuous-time Model Identification From Sampled Data: Implementation Issues and Performance Evaluation“, *International Journal of Control*, Vol. 76, Issue 13, pp 1337–1357, 2003,
- [2] „Sistem pobude agregata A1 u HE "Piro" - tehnička dokumentacija
- [3] D. Arnautović, Z. Ćirić, Đ. Stojić, D. Joksimović, N. Miložić, „Modernizacija, rekonstrukcija i razvoj statičkih sistema pobude“, *Elektroprivreda*, broj 4, str. 111-119, Beograd, 2008.
- [4] D. Joksimović, N. Miložić, „Primena NI DAQ uređaja i Lab View-a u monitoringu sistema pobude sinhronih generatora“, *NI Days Srbija*, Beograd, 2008.
- [5] *IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems*, IEEE Std 421.2, 2014.
- [6] *Excitations systems for synchronous machines - Section 3: Dynamic Performance*, IEC 60034-16-3, 1996.

Abstract: In the paper, equivalent transfer function models of automatic and manual control of HE “Piro” unit A1 excitation system are presented. All determined parameter values are shown and discussed. Using experimentally derived step response records of the excitation system, the equivalent model parameters are identified and compared to previously adjusted values. The reactive voltage drops at generator terminals, as well as at the HV side of the step-up transformer, are determined.

Keywords: excitation system, generator voltage regulation, generator equivalent model, parameter identification

Unit A1 of HE “Piro” Excitation System Parameter Identification

Rad primljen u uredništvo: 08.10.2015. godine.
Rad prihvaćen: 12.12.2015. godine.