

ISPITIVANJE DEJSTVA STEP SMETNJE NA REFERENTNU VRIJEDNOST NAPONA GENERATORA SA POBUDNIM SISTEMOM THYRICON

Ćalasan Martin¹, Milutin Ostojić²

Ključne riječi: *statički pobudni sistem, regulator pobude, limiteri, step smetnja*

SAŽETAK:

U radu je prikazan Simulink model statičkog pobudnog sistema Thyricon, koji je primijenjen kod generatora u hidroelektranama „Pivi“ i „Peručici“. Za većinu programskih paketa koji se koriste za analizu EES-a potrebni su i modeli pobudnih sistema generatora, pa je proučavanje modela pobudnih sistema veoma značajno. Sa druge strane, najbolji način da se prouči dinamika nekog sistema jeste da se ispita njegov rad na dejstvo poremećaja. U tu svrhu izvršeno je modelovanje jednog generatora u HE „Peručica“ i simulirano je dejstvo step smetnje na referentnu vrijednost napona generatora. Dobijeni odzivi imaju eksperimentalnu potvrdu.

1. UVOD

Održavanje stalne vrijednosti napona na izvodima generatora predstavlja jedan od osnovnih uslova za obezbjeđenje optimalnog režima rada EES-a. Obezbjedenje ovog uslova se ostvaruje preko sistema pobude, odnosno automatskog regulatora napona, promjenom pobudne struje sinhronih generatora. Iz tih razloga se za pobudne sisteme često kaže da predstavljaju „srce EES-a“ [1].

Regulacija pobude u normalnim radnim uslovima ima zadatak da održava napon i reaktivnu snagu na željenim vrijednostima i da realizuje raspodjelu reaktivnog opterećenja između sinhronih generatora koji rade paralelno u EES-ma. U poremećajnim režimima rada, funkcija regulatora pobude jeste da vrši održavanje stabilnosti, odnosno da povećava sigurnost rada generatora. Ovaj sistem uključuje mašine i aparate potrebne za proizvodnju

¹ Spec.Sci Ćalasan Martin, Elektrotehnički fakultet Podgorica

² Prof. dr Milutin Ostojić, Elektrotehnički fakultet Podgorica

struje pobude (pobudnica), uređaje za regulaciju pobude (regulator pobude) i elemente ručnog upravljanja, mjerenja, zaštite i automatike.

U zavisnosti od toga na koji način se obezbjeđuje jednosmjerna pobudna struja sinhronih mašina, razlikuju se 3 tipa pobudnih sistema:

- Jednosmjerni (DC) sistemi
- Nezavisni naizmjenični (AC) sistemi pobude
- Statički naizmjenični (ST) sistemi pobude

Kod jednosmjernih (DC) sistema pobude, kao izvor struje pobude sinhronog generatora koriste se generatori za jednosmjernu struju. Kod nezavisnih naizmjeničnih (AC) sistema pobude, pobudna struja se dobija korišćenjem pobudnog sinhronog generatora i ispravljača. Ispravljači mogu biti nekontrolisani (upotrebom dioda) ili kontrolisani (upotrebom tiristora).

Statički naizmjenični sistemi pobude uzimaju energiju za pobudu sa krajeva samog generatora kojeg pobuđuju. Osim transformatora, koji može biti ili obični energetski ili kompaudni (sekundarni napon takvog transformatora zavisi ne samo od primarnog napona već i od primarne struje) u ovom slučaju koriste se i ispravljači, kako kontrolisani tako i nekontrolisani. Za ovaj sistem pobude je karakteristično da su sve komponente stacionarne, a pošto se kod njega koristi napajanje sa samog generatora, ovaj sistem pobude spada u **sisteme samopobude**. Da bi generator mogao započeti indukovanje napona na svojim krajevima, ovi sistemi moraju biti snadbjeveni izvorom početne energije (najčešće su to akumulatorske baterije sopstvene potrošnje elektrane) [2].

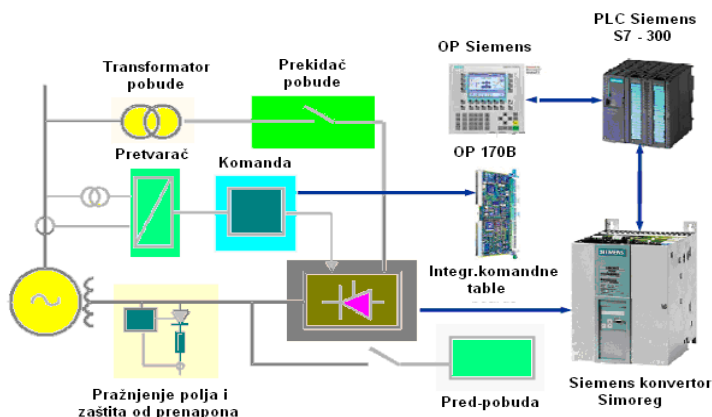
Najrasprostranjeniji pobudni sistemi su upravo statički pobudni sistemi, a odlikuju se brzim odzivima, lakom kontrolom struje i nižim troškovima u odnosu na ostale tipove pobudnih sistema.

Cilj ovog rada jeste da se realizuje model i analizira dinamika statičkog pobudnog sistema generatora Thyricon, koji je ugrađen u HE „Piva“ i HE „Perućica“, a koji danas predstavlja jedan od najmodernijih pobudnih sistema. Između mnoštva programskih paketa koji se danas koriste za analizu tokova snaga, optimalnih tokova snaga, kratkih spojeva, dinamičke stabilnosti itd. izdvajaju se ETAP i PSS/E. Za takve programske pakete potrebni su i modeli pobudnog sistema generatora, pa je realizacija modela pobudnog sistema Thyricon veoma značajno. U ovom radu, za modelovanje pobudnog sistema Thyricon biće iskorišćen programski paket Matlab-Simulink. Da bi se analizirale dinamičke karakteristike Thyricon-a, u Simulinku je realizovan model jednog agregata u HE „Perućica“, sa priključnim dalekovodom. Dinamika pobudnog sistema biće analizirana na taj način što će se vršiti simulacije step smetnji na referentnu vrijednost napona generatora, uz praćenje karakterističnih veličina kao što su napon generatora, struja pobude, napon pobude itd.

2. STATIČKI POBUDNI SISTEM THYRICON 500

Thyricon 500 spada među najmodernije pobudne sisteme sinhronih generatora. Ovi statički pobudni sistemi našli su veliku primjenu u brojnim elektranama širom Evrope. Upravo iz te činjenice slijedi jedna njihova bitna prednost u odnosu na druge pobudne sisteme: napravljeni su od standardnih proizvoda, pa je njihovo održavanje, remont i upravljanje olakšano.

Pobudni sistem Thyricon 500 podijeljen je na dva dijela: **komandni i energetska**, a njegove glavne komponente prikazane su na slici 1. **Komandni dio** čine elektronski moduli, kao što su: programabilni logički kontroleri (*PLC*), interfejs čovjek-mašina (operacioni panel), komandne table, pretvarači (konvertori), releji, komunikacione table i slično. Thyricon 500 koristi standardni konvertor Siemens AG (*Simoreg 6RA70*), koji radi na principu integrisanog komandnog sistema, što znači da se komanda vrši u panelima *T400* (odgovoran je za kontrolu komandne petlje upravljanja), *CUDI* (vrši paljenje tiristora u ispravljačkim mostovima), *CUD2* (dodatak kartice *CUDI*), koje su smještene u konvertorskoj jedinici. U **energetski dio** spadaju kola i komponente koje su robusnije od komandnog dijela, kao što su mostovi ispravljača, kola za detekciju prenapona, kolo field flashing (kolo koje obezbjeđuje početnu energiju pobudnom namotaju), kolo za pražnjenje prenapona i slično [3], [4].



Slika 1. Glavne komponente Thyricona 500

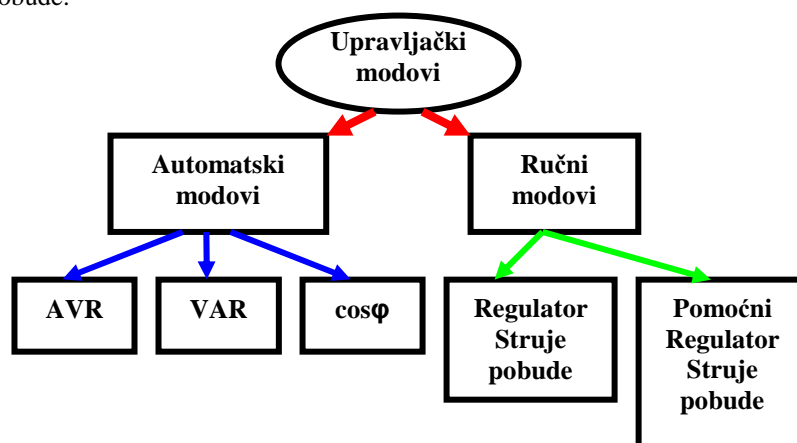
3. UPRAVLJAČKI MODOVI THYRICON-a

Thyricon je dizajniran tako da nudi kompletan set automatske i ručne regulacije napona sinhronne mašine. Slika 2. prikazuje podjelu upravljačkih modova.

Svrha **automatskih modova** jeste automatsko regulisanje napona generatora, reaktivne snage i faktora snage generatora. Regulator reaktivne snage i faktora snage koristi AVR kao podređenu strukturu, mijenjajući podešenu vrijednost napona radi dobijanja željene vrijednosti reaktivne snage ili samog faktora snage. Funkcija AVR-a je kontrola izlaznog napona generatora upotrebom PID regulatora. Razlika između podešene vrijednosti napona i stvarnog napona generatora predstavlja ulaz u PID regulator. Izlaz iz PID regulatora kontroliše ugao okidanja tiristorskog mosta, pa na taj način AVR podiže ili spušta napon pobude i tako reguliše izlazni napon generatora.

Kod **ručnog moda** Thyricona vrši se ručna kontrola izlaznog napona generatora, na taj način što se djeluje na struju pobude. Podešavajući pobudnu struju, vrši se indirektna kontrola izlaznog napona.

Ručni mod regulatora napona radi kao podrška automatskom modu. No, ručni mod ima i dodatne funkcije, kao što su upotreba kod ispitivanja u praznom hodu i u kratkom spoju generatora. Postoji **FCR** – regulator struje pobude i **EFCR** – pomoćni regulator struje pobude.



Slika 2. Opšta podjela upravljačkih modova Thyrica 500

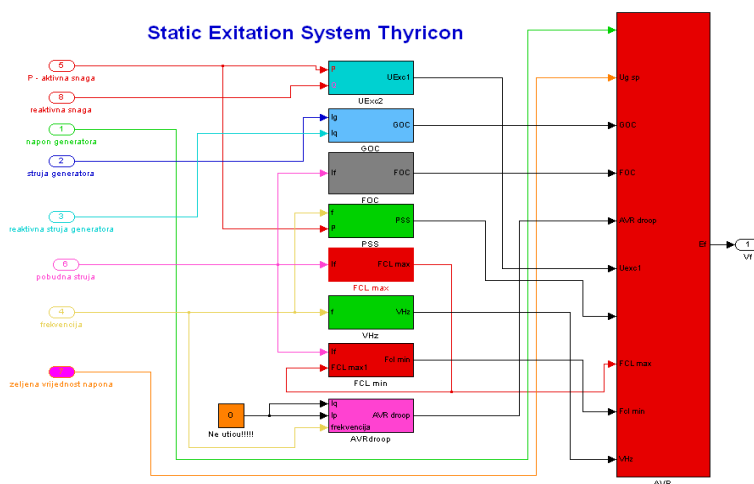
U Thyricon-u su implementirani i brojni limiteri koji obezbjeđuju siguran i pouzdan rad mašine i njenih djelova. To su : **FOC** – limiter pobudne struje, **GOC** – limiter struje generatora, **VHz** – limiter fluksa u mašini, **FCL** – brzi limiteri pobudne struje, **UExc** – limiter podpobude . Osim limitera rada, kod Thyrica postoje i stabilizator EES-a (**PSS**), kao i kompenzatori pada reaktivne i aktivne snage u generatoru i blok transformatoru (**AVRdroop**).

4. SIMULINK MODEL THYRICON-a

Na slici 3. prikazan je realizovani Simulink model Thyricon-a. Pobudni sistem Thyricon spada u multivarijabilne pobudne sisteme, jer uzima veliki broj podataka da bi se regulisao pobudni napon. Ulazi u ovaj pobudni sistem su: setpoint napona (podešena vrijednost napona), stvarna vrijednost napona, struje generatora, reaktivna komponenta struje generatora, pobudna struja, aktivna snaga, reaktivna snaga i frekvencija.

Sa iste slike se vidi da su u posebnim blokovima realizovani svi limiteri, zatim stabilizator EES-a i kompenzator reaktivne i aktivne snage, čiji su ulazi svi predhodno nabrojani podaci. Izlazi iz ovih blokova se uvode u AVR - automatski regulator napona, na čijem izlazu se dobija pobudni napon sinhronog generatora [5]. U AVR-u signali sa svih limitera se uvode u sumacioni blok čiji izlaz predstavlja ulaz u PI regulator. Izlaz iz PI regulatora predstavlja signal za paljenje tiristorskih mostova [5-6].

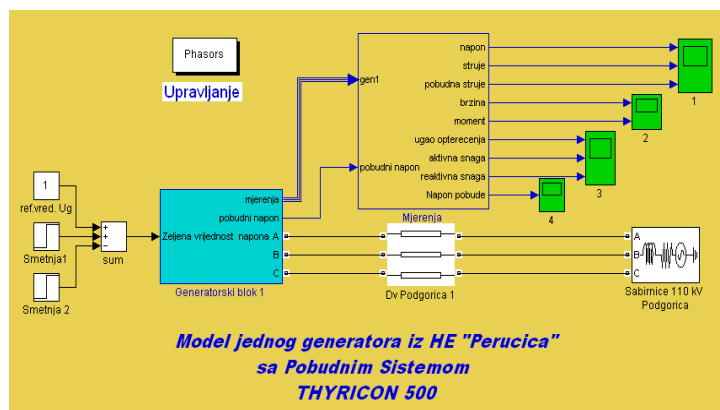
Da bi se mogla ispitati dinamika ovakvog pobudnog sistema, potrebno ga je implementirati u neki dio elektroenergetskog sistema. U tu svrhu realizovan je model jednog generatora od 40 MVA u HE „Perućica“, sa priključnim dalekovodom 110kV do Podgorice.



Slika 3. Simulink model Thyriston-a

5. SIMULINK MODEL JEDNOG GENERATORA OD 40 MVA IZ HE „Perućica“

HE „Perućica“ ima sedam sinhronih generatora. Na slici 4. prikazan je jedan generator od 40MVA, sa dalekovodom 110kV do TS Podgorica 2. U referenci [7], navedeni su pobudni sistemi sinhronih generatora koji postoje u HE „Perućica“, i njihove odlike, dok radovi [8-12] opisuju načine modelovanja djelova, ili čitavih, EES-a.



Slika 4. Simulink model jednog generatora iz HE „Perućica“

Na slici 4. *Generatorski blok* čine generator, sopstvena potrošnja elektrane, transformator, pobudni sistem, turbinski regulator i blokovi za mjerenja. Osim toga, u ovom Simulink modelu nalazi se i blok *Mjerenja*, koji obavlja upravo istoimenu funkciju.

Za regulaciju protoka fluida iskorišćen je turbinski regulator koji postoji u biblioteci *SimPowerSystem* u Simulinku, dok pobudni sistem odgovara stvarnom statičkom pobudnom sistemu Thyristor, čije je modelovanje prikazano na slici 3.

Kod simulacija u Simulinku može se vršiti podešavanje iznosa aktivne i reaktivne snage koju generatori daju mreži. To se ostvaruje korišćenjem elementa *PowerGui* (na slici 4. nazvan je *Upravljanje*), koji osim toga pruža mogućnost podešavanja ustaljenog stanja sistema i slično.

6. ISPITIVANJE DEJSTVA STEP SMETNJE NA REFERENTNU VRIJEDNOST NAPONA GENERATORA

Realizovani Simulink model jednog generatora HE „Perućica“ je iskorišćen za ispitivanje dejstva step smetnje na referentnu vrijednost napona generatora.

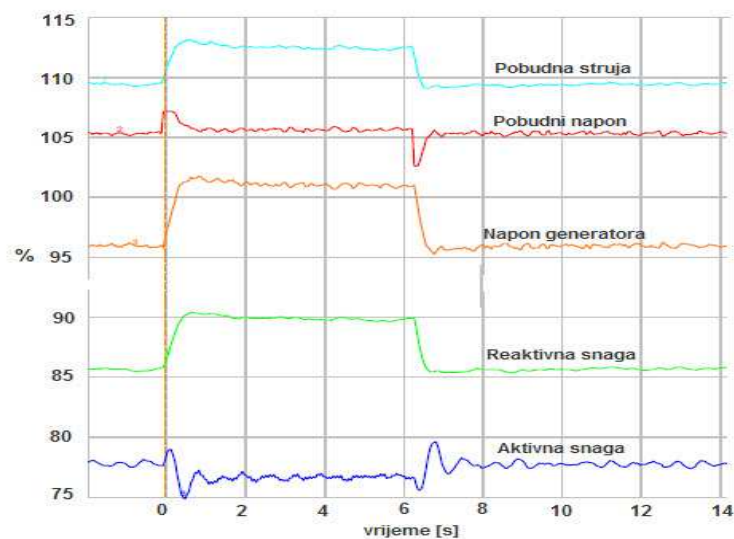
Na slici 5. prikazana su rezultati eksperimentalnih snimanja karakterističnih veličina na step smetnju od 5% u odnosu na referentnu vrijednost napona generatora, koja je vršio VOITH SIEMENS u HE „Perućica“, dok se na slici 6. prikazani ti isti karakteristični grafici koji se dobijaju upotrebom realizovanog Simulink modela pobudnog sistema Thyristor.

Simulirano trajanje step smetnje je 6 sekundi. Analizom grafika prikazanih na slikama 5. i 6. uočava se dobro poklapanje rezultata, kako po brzini odziva, tako i po obliku i vrijednostima.

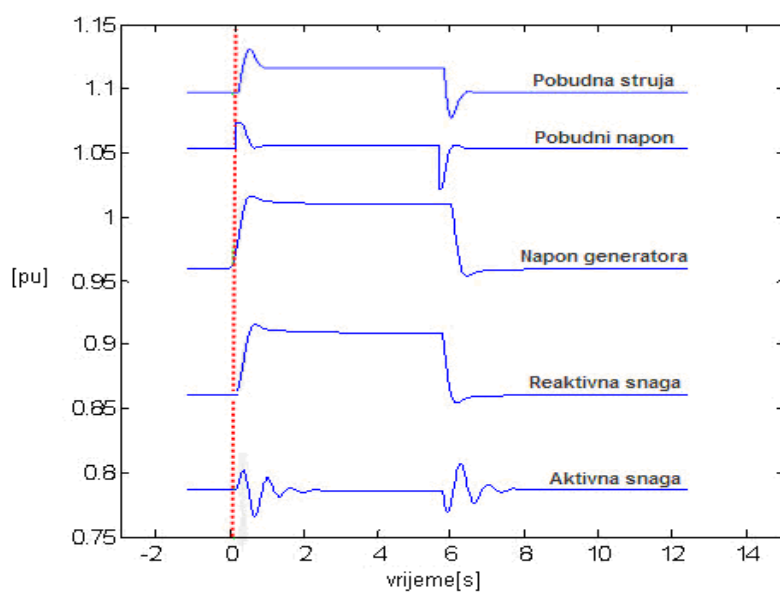
Logika dejstva simuliranog poremećaja je jasna. Formirani poremećaj (step smetnja) direktno utiče na povećanje vrijednosti greške na ulazu u PI regulator AVR-a. Kao posljedica toga, napon pobude se naglo povećava, a samim tim i struja pobude. Forsirajući pobudnu struju mašine povećava se iznos reaktivne snage. Pošto step smetnja ne utiče na snagu turbine koja pokreće rotor mašine, aktivna snaga se nije promijenila, mada je malo zaoscilovala. Kako se povećao iznos reaktivne snage koju mašina daje mreži, a aktivna snaga je ostala konstantna, promijenio se i faktor snage. Osim toga, forsiranjem pobude dolazi i do smanjenja ugla opterećenja [1]. Na slici 7. prikazan je vektorski dijagram sinhrona mašine prije i nakon dejstva step smetnje. Nakon isteka šest sekundi, vrši se otklanjanje step smetnje i u tom slučaju ulaz u PI regulator AVR-a postaje negativan, što uslovljava naglo smanjenje pobudnog napona, koji će čak promijeniti i polaritet. Pobudna struja će da prati pobudni napon, pa će se i ona smanjivati. Posle nekog prelaznog stanja, napon generatora će zauzeti vrijednost od prije nastanka poremećaja.

. Tabela I. Skala „y“ ose predstavljenih grafika

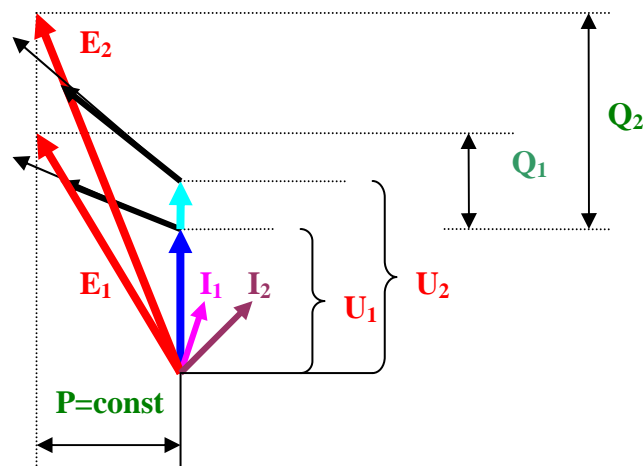
VELIČINA	SKALA
Pobudna struja	(-120% do 40%)*1600A
Pobudni napon	(-1200% do 400%)*360V
Napon generatora	(75% do 115%)*10.5kV
Reaktivna snaga	(-100% do 300%)*40MVA
ktivna snaga	(20% do 100%)*40MVA



Slika 5. Odzivi karakterističnih veličina na step smetnju koje je dobio VOITH SIEMENS mjerenjem u HE „Perućica“



Slika 6. Odzivi karakterističnih veličina na step smetnju dobijeni upotrebom Simulink modela jednog generatora HE „Perućica“



Slika 7. Vektorski dijagram sinhronne mašine prije i nakon step smetnje („1“-prije step smetnje, „2“-nakon step smetnje)

U Tabeli I nalaze se objašnjenja za tumačenje ose „y“ snimljenih veličina. Npr. ako je skala (od -120% do 40%), to znači da na grafiku oznaci 75% (ili 0.75) odgovara vrijednost $0.4 \cdot 1600$ a to je 400A, a vrijednosti 115% (1.15) : $-1.2 \cdot 1600 = -1920A$.

Generatori u realizovanom Simulink modelu su predstavljeni kao PV čvor (reaktivna snaga kod njih nije specificirana) i mogu se podešavati vrijednosti aktivne snage koji oni daju mreži. Ako bi se generatori specificirali kao PQ čvor, ne bi se mogao ispuniti zahtjev po pitanju reaktivne snage pošto regulator napona radi u AVR modu (vrši automatsku vrijednost napona), čiji je zadatak da dovede i održava napon generatora na zadatoj vrijednosti [5].

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršeno modelovanje statičkog pobudnog sistema Thyricon upotrebom programskog paketa Matlab-Simulink. Da bi se analizirale njegove dinamičke karakteristike, izvršeno je i modelovanje jednog generatora od 40 MVA u HE „Perućica“, čiji je pobudni sistem Thyricon. Taj model generatora je iskorišćen za ispitivanje ponašanja ovoga pobudnog sistema pri djelovanju step smetnje.

Analizom dobijenih odziva u simulaciji i odziva koje je snimio VOITH SIEMENS u HE „Perućica“ uočava se dobro poklapanje rezultata.

Zbog toga, realizovani Simulink model pobudnog sistema Thyricon može biti iskorišćen i za brojna druga ispitivanja i analize, a ne samo za analizu step smetnji. Npr. moguće je ispitivati kratke spojeve, kako na sabirnicama generatora, a takođe i bilo gdje i u mreži i porediti dobijene podatke sa vrijednostima dimenzionisanih parametara elementa za zaštitu (provjeravati vrijeme isključenja prekidača, i slično).

LITERATURA

- [1] M. Ostojić: „Sinhrona Mašine“, Nikšić, 1994 godine
- [2] M. Čalović: „Regulacija elektroenergetskih sistema“, Tom 2, (Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Beograd, 1997)
- [3] Tehnička dokumentacija sistema pobude generatora br. 1, 2, 3 i 4, HE ”Perućica”
- [4] Tehnička dokumentacija sistema pobude Thyricon 500, HE ”Piva”
- [5] Đ.Stojić, Z.Čirić, I.Stevanović: „Digitalni automatski regulator pobude sinhronog generatora“, 26.savetovanje YUKO CIGRE, Teslić, 2003
- [6] „IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies“, *IEEE trans.*
- [7] M.Čalasan, R.Vukotić: „Pobudni sistemi sinhronih generatora koji su u funkciji u HE „Perućica“, *CIGRE*, oktobar 2009.
- [8] „Computer Models for Representation of Digital-Based Excitation Systems“, *Digital Excitation Task Force of the Equipment Working Group*,
- [9] Jun Ho, Kenneth Mun: “Implementation of Controls to a Synchronous Machine (Simulation using MATLAB)” , University of Queensland, October 2003
- [10] Z. Chen, F. Blaabjerg, F.Iov: “A Study of Synchronous Machine Model Implementations in Matlab/Simulink” Simulations for New and Renewable Energy Systems
- [11] A.S.Bozin: “Electrical power systems modeling and simulation using Simulink”, 1998, *The Institution of Electrical Engineers*, London
- [12] Simulink, “Dynamic system simulation software”, *The Mathworks Inc*, 2001