PREDGOVOR AUTORA I KRATAK PRIKAZ KNJIGE

Knjiga **SINHRONE MAŠINE - *Određivanje parametara i radnih karakteristika generatora u samostalnom i paralelnom radu*** je namenjena svima koji žele da prošire znanja iz ove oblasti u odnosu na osnovnu literaturu obima jednosemestralnih kurseva. Pogodna je za inženjere koji rade u elektranama ili se bave upravljanjem i eksploatacijom električnih mreža na koje su priključene manje ili veće elektrane. Knjiga je korisna i za kadrove u institutima i fakultetima koji se bave naučno-istraživačkim i studijskim radom za elektroprivredu. Pogodna je i kao udžbenik za studente koji na poslediplomskim studijama izučavaju sinhrone mašine ili se bave analizom rada elektroenergetskih sistema.

Namera je Autora da u ovoj knjizi da prikaz savremene teorije i metoda proračuna parametara i karakteristika sinhronih generatora. U tom smislu najvažnije su metode za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi jer se time stvara osnova za tačniji proračun radnih karakteristika generatora u eksploataciji ili pri projektovanju, uključujući proračun i konstrukciju pogonskih dijagrama (PD) konkretnih generatora u realnim (nelinearnim) režimima. Iako je određivanje promene parametara sinhronih generatora (SG) složeno (radi se o nelinearnostima višeg reda) u inženjerskim proračunima se koriste jednostavniji modeli (ekvivalentne šeme) koji su uobičajeni u teoriji linearnih mašina. Dodatak je u tome da se vrednosti parametara modela određuju (podešavanju) tako da aproksimiraju efekat nelinearnosti na karakteristike SG. Suština je u tome da se vrednosti zasićenih sinhronih reaktansi utvrđuju za karakteristične režime (prazan hod, režime natpobude i režime potpobude za rad na liniji stabilnosti i slično) koji su definisani odgovarajućim linijama na PD SG.

Osnovni razlog za pisanje knjige je da se da prikaz većeg broja savremenih inženjerskih metoda koje se koriste za proračun radnih karakteristika generatora u realnim režimima uz uvažavanje nelinearnosti parametara (sinhronih reaktansi).

***

Navedena problematika je obrađena kroz devet poglavlja pa se **kratak prikaz knjige** daje kroz naslove pojedinih poglavlja uz *kratak opis obrađene materije*. U svim poglavljima se detaljnije opisuje i analizira data problematika kroz primenu na pogodno odabranim primerima proračuna.

U poglavlju 1, *Osnovi proračuna i analize parametara i karakteristika sinhronih generatora,* ukratko su obrađeni osnovi teorije i proračuna. To predstavlja kratak podsetnik za inženjere i studente koji su ovu materiju izučavali u okviru kraćih kurseva električnih mašina. Analiza rada sinhronih generatora se sprovodi na osnovu linearnih modela - pomoću fazorskih dijagrama i odgovarajućih jednačina za nezasićenu mašinu.

U poglavlju 2, *Teorija i metode proračuna zasićenih sinhronih reaktansi generatora,* daje se prikaz teorije i savremenih metoda za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi turbogeneratora za *d* i *q* osu, X_{dsat} i X_{qsat}, i ugla snage (δ). Razmotren je uticaj vrednosti X_{dsat}, ali i danas prihvaćene činjenice da je $X_{qsat} > X_{dsat}$ i za turbogeneratore sa jednakim nezasićenim vrednostima $X_{qu} \approx X_{du}$, na karakteristike radnih režima generatora.

U okviru poglavlja 3, *Metode za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi i radnih karakteristika* turbogeneratora, daje se prikaz pet savremenih inženjerskih metoda. Primena metoda proračuna se ilustruje na 8 primera - proračuna vrednosti pobudne struje (I_f) i ugla snage (δ), za 4 režima natpobude i 4 režima potpobude turbogeneratora 727 MVA/620 MW, koji su pogodni za uporednu analizu tačnosti svake od 5 korišćenih metoda.

U poglavlju 4, *Nova metoda za određivanje potjeove reaktanse i konstrukciju pogonskog dijagrama za režime natpobude*, se daje opis i analiza standardne i *unapređene (nove) metode za određivanje potjeova reaktanse* za proračun pobudne struje u oblasti visokih reaktivnih snaga, $Q_G \geq Q_{GR}$, i konstruisanje odgovarajuće linije graničnih reaktivnih snaga (LGRS) na pogonskom dijagramu (PD). Postupak je posle eksperimentalnih i studijskih provera prihvaćen u JP Elektroprivreda Srbije a potom je urađena odgovarajuća Studiju *"Konstruisanje stvarnih pogonskih karakteristika generatora (po novoj metodi za određivanje potjeove reaktanse* za *5 odabranih turbogeneratora"*. U ovom poglavlju je dat prikaz primene te metode na primeru generatora snage 727 MVA/618 MVA.

U poglavlju 5, *Ugaone karakteristike generatora i analiza režima rada,* detaljnije se razmatraju zavisnosti aktivne (p) i reaktivne snage (q) od ugla snage (δ), u vidu ***P-δ*** i ***Q-δ*** krivih za TG i HG. Time se omogućava potpunija analiza zavisnosti karakteristika generatora od parametara režima rada (U, P, Q). Zavisnosti aktivnih i reaktivnih snaga su nerazdvojivo povezane pa se odgovarajuće P-δ i Q-δ krive ne mogu razmatrati posebno kada je u pitanju analiza karakteristika generatora. Razmotren je uticaj vrednosti nejednakosti zasićenih sinhronih reaktansi generatora, $X_{d,sat} > X_{q,sat}$, i inicijalnih režima TG i HG na pomenute zavisnosti pa se potpunije razmatraju i ugaone karakteristike reaktivnih snaga, Q-δ krive.

U poglavlju 6, *Proračun linije stabilnosti i konstrukcija pogonskog dijagrama za režime potpobude generatora*, je detaljnije obrađena data problematika. Detaljnije je obrađen postupak proračuna i konstrukcije linije teorijske stabilnosti (LTS) i linije praktične stabilnosti (LPS) i razlikuje se od postupaka koji su opisani u literaturi. Novina je da se vrednosti q_{LPS} i q_{LTS} i ugla snage δ_{LPS} i δ_{LTS}, određuju postupkom direktnog proračuna pomoću iterativnih podešavanja vrednosti q_{LPS} i q_{LTS} uz pomoć računara, umesto grafičkog postupka koji se koristi zbog nemogućnosti direktnog rešavanja sistema nelinearnih jednačina. Ovo je i najobimnije poglavlje (50 strana).

U poglavlju 7, *Osnovi teorije, proračuna i analize tranzijentne i dinamičke stabilnosti generatora u paralelnom radu,* daje se kratak prikaz tranzijentne stabilnosti. *Praktičan postupak za proračun i analizu stabilnosti generatora za male promene snage* je korisna metoda za približan proračun i utvrđivanje kriterijuma dinamičke i statičke stabilnosti pod određenim uslovima.

U poglavlju 8, *Model i parametri sinhrone mašine za proračun struja kratkog spoja i tranzijentnih režima*, razmatra se ekvivalentna šema sinhrone mašine za karakteristične režime tokom trajanja kratkog spoja. Kroz proračune i analizu razmotrene su promene reaktansi i struja statore tokom trajanja kratkog spoja. Za tranzijentni režim su razmotrene promene elektromagnetne snage kao i uprošćen postupak za utvrđivanje kriterijuma stabilnosti. U ovom poglavlju je izložen i generalizovani model sinhrone mašine za d i q osu za proračun struja kratkog spoja i tranzijentnih režima.

U poglavlju 9, *Proračun i analiza graničnih režima s obzirom na pregrevanje krajnjih limova statora*, razmatra se uticaj pregrevanja krajeva statora na definisanje pogonskog dijagramu za režime potpobude. Problemi sa pregrevanjem krajeva jezgra statora se, po pravilu, javljaju kada je generator (pored aktivne) opterećen kapacitivnom reaktivnom snagom, tj. u potpobuđenom režimu. Razlog za dodatno povišenje temperature je aksijalni fluks (Φ_{end}) koji pod uglom od 90° prodire u krajnje limove statora i indukuje vrtložne struje koje ih dodatno zagrevaju.

Na kraju knjige je dat spisak *Ključnih reči / Key Words* uporedo na srpskom i engleskom jeziku kako bi čitaoci mogli lakše da pronađu relevantnu literaturu: knjige, udžbenike i publikovane radove u časopisima na oba jezika.

***

Povod i dodatni razlozi za pisanje knjige postaju jasniji kada se imaju u vidu teškoće u određivanja zasićenih sinhronih reaktansi - parametara ekvivalentne šeme koja se koristi za proračun eksploatacionih karakteristika generatora. Za mašine čije se vrednosti reaktansi malo menjaju sa promenom režima rada dovoljno je koristiti model sa nezasićenim vrednostima reaktansi. Za SG sa magnetnim zasićenjem, vrednosti sinhronih reaktansi se podešavaju kako bi se došlo do tačnijih radnih karakteristika, npr. koristi se zasićena sinhrona reaktansa praznog hoda $x_{ds} = x_{ds0}$. Sa povećanjem snaga i zasićenja magnetnog kola SG to postaje nedovoljno, pa se uvodi potjeova reaktansa i odgovarajuća zasićena sinhrona reaktansa $x_{ds} = x_{dsP}$. Za tačnije proračune zasićenih sinhronih reaktansi, x_{ds} i x_{qs}, se koristi *metoda konačnih elemenata* koja je složena za inženjerske proračune u praksi i studijskim analizama. U savremenoj literaturi se navodi "da rešenje ovog problema u smislu uvođenja opšteprihvaćene metode još uvek nije ni blizu".

Zbog navedenog Autor se nada da nije neskromno što je u savremene metode uvrstio i ukratko opisao svoju novu metodu - "Postupak za određivanje sinhronih reaktansi, X_{ds} i X_{qs} i ugla snage (δ) iz direktnih merenja veličina generatora u režimu potpobude", tj. na osnovu (*online*) merenih vrednosti: napona (U_{mer}), aktivne (P_{mer}) i reaktivne snage (Q_{mer}) i pobudne struje ($I_{f\,mer}$) i krive magnećenja generatora u praznom hodu $u_0(i_{m0})$, poglavlje 2.6. On je jednostavniji za primenu jer ne zahteva direktno merenja ugla snage (δ), koji se ovim postupkom direktno sračunava. Najvažniji proistekli rezultati i zaključci se posebno navode.

1. Moguće je *indirektno određivanje (merenje) ugla δ u realnom vremenu*, koje je neophodno za ocenu stabilnosti rada generatora u režimima sa kapacitivnom reaktivnom snagom (režima potpobude). Tačnost u određivanje ugla snage je proverena na primerima iz literature a pobudne struje i za 8 režima rada turbogeneratora 727 MVA/620 MW, poglavlje 3.

Treba istaći da bi novi postupak mogao biti korisna dopuna direktnoj metodi za merenje ugla snage (δ). Naime

- rezultati direktnih merenja ugla (δ) bi omogućili proveru tačnosti predložene metode za indirektno merenje ugla, dok je
- definisanje referentnih vrednosti ugla (δ) za granične režime na liniji praktične i teorijske stabilnosti je moguće samo na osnovu sračunatih reaktansi $X_{qsTG} < X_{dsTG}$ i odgovarajućih vrednosti $\delta_{LTS} = \delta_{PmaxTG} = 82° \div 86° < 90°$ i $\delta_{LPS} = 63° \div 66° < 70°$.

2. Na osnovu rezultata proračuna zasićenih sinhronih reaktansi (x_{ds}) za režime (pod 1) izvedeni su značajni zaključci:

- vrednosti $x_{ds} = x_{ds,ind} \approx$ const za režime sa visokom reaktivnom snagom ($Q_{Gind} \geq Q_{Gn}$) i da su
- vrednosti $x_{ds} = x_{ds,cap} \approx$ const za režime sa kapacitivnom snagom $Q_{Gcap} \geq 0.1 S_{Gn}$ ili $\delta \geq 60°$.

Promene vrednosti $x_{ds,ind}$ i $x_{ds,cap}$ su u uskim granicama (±5%) pa bi se mogle utvrđivati i navoditi kao parametar generatora i koristiti za proračun odgovarajućih linija na pogonskom dijagramu (linije graničnih reaktivnih snaga i linije praktične stabilnosti).

3. Nova metoda je unapređena (poslednjih meseci) kako bi se mogla koristiti i za hidrogeneratore (HG) ali nije opisana jer je proverena samo na nekoliko primera - proračuna ugla snage (δ) za režime HG koji su publikovani u literaturi.

***

Najznačajnija istraživanja u cilju određivanja parametara i radnih (eksploatacionih) karakteristika generatora i pogonskog dijagrama Autor je sproveo u termoelektranama Elektroprivrede Srbije (JP EPS) u okviru izrade tri studije, po jednu za TENT A i B i TE Kostolac a treću je naručilo JP EPS. Odgovarajuća ispitivanja su urađena u saradnji sa inženjerima navedenih termoelektrana i na osnovu analize podataka koji karakterišu eksploatacione režime rada i koji su bili arhivirani u elektronskoj formi. Kada su u pitanju hidroelektrane (HE), korišćeni su podaci iz ispitivanja koje su obavili stručnjaci Instituta Nikola Tesla Beograd i publikovanih rezultata ispitivanja hidrogeneratora domaćih i stranih autora. Dodatna istraživanja u ovoj oblasti Autor je sproveo u periodu 2010 - 2015. godine u okviru rada na projektima TR33024, "Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana EPS-a utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih mernih metoda ispitivanja i daljinskog nadzora" koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije, pa im se zbog te podrške zahvaljuje. Autor se posebno zahvaljuje svim kolegama koji su učestvovali u radu na navedenim studijama, projektima i ispitivanjima.

Autor koristi priliku da se zahvali recenzentima, prof. dr Zoranu Lazareviću i prof. dr Željku Đurišiću na pažljivom čitanju relativno složenog i obimnog teksta i na korisnim savetima. Zahvalnost duguje i tehničkom uredniku knjige mr Milanu Ivanoviću za pažljivo čitanje, korekturu teksta i izradu složenih grafičkih ilustracija, slika, šema i dijagrama.

Autor

Beograd, februar 2020. godine

SADRŽAJ

1. OSNOVI PRORAČUNA I ANALIZE PARAMETARA I KARAKTERISTIKA SINHRONIH GENERATORA 1
   - *1.1. Osnovni principi proračuna i analize režima rada 1*
   - *1.2. Jednačine napona za uzdužnu i poprečnu osu i fazorski dijagrami 2*
   - *1.3. Proračun i analiza karakteristika generatora sa valjkastim rotorom - turbogeneratora (TG) 5*
     - *1.3.1 Ekvivalentna šema i fazorski dijagram turbogeneratora 5*
     - *1.3.2 Proračun struja, aktivnih i reaktivnih snaga sinhronog generatora (SG) 6*
   - *1.4. Fazorski dijagram i osnovi proračuna i analize režima rada SG sa istaknutim polovima (HG) 6*
     - *1.4.1 Fazorski dijagrami sinhronih generatora sa istaknutim polovima 6*
     - *1.4.2 Ugaone karakteristike SG sa istaknutim polovima 8*
   - *1.5. Određivanje sinhrone reaktanse generatora iz eksperimentalnih ispitivanja 9*
   - *1.6. Nominalni parametri i karakteristike za analizu radnih režima generatora 10*
     - *1.6.1 Konstrukcija pogonskog dijagrama generatora i definisanje graničnih režima 11*
     - *1.6.2 V- krive za definisanje i analizu graničnih režima generatora 12*
   - *1.7. Proračun ugla snage i pobudne struje generatora za date vrednosti sinhronih reaktansi 13*
   - *1.8. Sinhrone reaktanse i fazorski dijagrame generatora sa magnetnim zasićenjem 14*
     - *1.8.1 Postupak za određivanje pobudnih struja i potjeove reaktanse 14*
     - *1.8.2 Uticaj metode na razlike fazora interne ems, pobudne struje i ugla snage 17*
     - *1.8.3 Proračun zasićene sinhrone reaktanse pomoću krive praznog hoda 18*
     - *1.8.4 Uticaj zasićenja i metode proračuna na vrednosti sinhronih reaktansi i karakteristike režima generatora 19*
   - *1.9. Rezime i Zaključci 21*
   - *1.10. Literatura 22*
2. TEORIJA I METODE PRORAČUNA ZASIĆENIH SINHRONIH REAKTANSI GENERATORA 25
   - *2.1. Uvod 25*
   - *2.2. Uticaj nejednakosti sinhronih reaktansi na vrednosti karakteristika generatora 26*

2.2.1 Fazorski dijagrami generatora sa nejednakim sinhronim reaktansama za d i q osu ... *26*
2.2.2 Uticaj nejednakosti sinhronih reaktansi po d i q-osi na vrednosti (komponenti) aktivne i reaktivne snage generatora ... *27*
2.3. Teorija i metode proračuna zasićenih sinhronih reaktansi turbogeneratora ... *30*
2.3.1 Uvod ... *30*
2.3.2 Model sa po jednom krivom magnećenja za d-osu i za q-osu ... *31*
2.3.3 Familije krivih magnećenja (zasićenja) za d-osu i za q-osu ... *31*
2.3.4 Model sa uračunavanjem dodatnih uticaja flukseva i ems poprečne magnetizacije ... *33*
2.3.5 Metoda konačnih elemenata za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi ... *33*
2.4. Analiza uticaja režima rada generatora na zasićenje i sinhrone reaktanse ... *35*
2.4.1 Uvod i sistematizacija osnovnih postavki za formiranje metoda ... *35*
2.4.2 Kvalitativna analiza uticaja režima rada generatora na zasićenje sinhrone reaktanse ... *36*
2.4.3 Analiza zasićenih sinhronih reaktansi i zavisnosti od ugla snage ... *39*
2.5. On-Site Measurements Method za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi ... *40*
2.5.1 Uvod ... *40*
2.5.2 Konstruisanje familija krivih zasićenja za d i q osu po On-Site Measurements Method ... *41*
2.5.3 Uprošćene On-Site Measurements Methods sa po jednom krivom zasićenja za d-i q-osu ... *43*
2.5.4 Praktičan postupak za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi za proračun stabilnosti (u literaturi i računarskim programima) ... *45*
2.6. Novi postupak za određivanje sinhronih reaktansi i ugla snage generatora ... *47*
2.6.1 Uvod ... *47*
2.6.2 Redosled postupaka za određivanje zasićenih sinhronih reaktansi i ugla snage po novoj metodi ... *47*
2.6.3 Fizikalna analiza tačnosti i prednosti nove metode ... *48*
2.7. Rezime i Zaključci ... *50*
2.8. Literatura ... *52*
3. METODE ZA ODREĐIVANJE ZASIĆENIH SINHRONIH REAKTANSI I RADNIH KARAKTERISTIKA TURBOGENERATORA ... 55
3.1. Uvod ... *55*
3.2. Metode za određivanje sinhronih reaktansi iz standardnih i eksperimentalnih ispitivanja generatora ... *55*
3.2.1 Određivanje sinhrone reaktanse iz ogleda praznog hoda i kratkog spoja ... *56*
3.2.2 Određivanje zasićene sinhrone reaktanse za režim praznog hoda i za režime opterećene mašine ... *57*

3.3. Metode za proračun karakteristika turbogeneratora sa zasićenim sinhronim reaktansama za d i q osu ... *60*
3.3.1 Uvod ... *60*
3.3.2 Metode za proračun karakteristika TG sa jednakim zasićenim sinhronim reaktansama za d i q osu ... *60*
3.3.3 Metode za proračun karakteristika TG sa nejednakim zasićenim sinhronim reaktansama za d i q osu ... *61*
3.4. Rezultati proračuna zasićenih sinhronih reaktansi i karakteristika turbogeneratora i analiza tačnosti pojedinih metoda ... *63*
3.4.1 Uvod ... *63*
3.4.2 Proračun i analiza karakteristika turbogeneratora za rad u režimima natpobude ... *64*
3.4.3 Proračun i analiza karakteristika turbogeneratora za rad u režimima potpobude ... *65*
3.5. Grafička ilustracija zavisnosti pobudne struje i ugla snage od sinhronih reaktansi i metode proračuna ... *67*
3.5.1 Uporedni grafički prikaz određivanja pobudne struje po različitim metodama ... *67*
3.5.2 Grafička ilustracija zavisnosti ugla snage od date vrednosti sinhrone reaktanse i metode proračuna ... *69*
3.6. Rezime - Analiza rezultata i Zaključci ... *74*
3.7. Literatura ... *76*
4. NOVA METODA ZA ODREĐIVANJE POTJEOVE REAKTANSE I KONSTRUKCIJU POGONSKOG DIJAGRAMA ZA REŽIME NATPOBUDE ... 79
4.1. Uvod ... *79*
4.2. Postupci za određivanje reaktanse rasipanja i pobudne struje generatora ... *79*
4.2.1 Određivanje potjeove reaktanse rasipanja iz ogleda praznog hoda i reaktivnog opterećenja ... *80*
4.2.2 Metoda za određivanje potjeove (ekvivalentne) reaktanse rasipanja za dati (specificirani) režim ... *81*
4.3. Analiza zavisnosti potjeove (ekvivalentne) reaktanse rasipanja od reaktivne snage i napona ... *85*
4.3.1 Zavisnost potjeove (i ekvivalentne) reaktanse rasipanja od reaktivne snage ... *85*
4.3.2 Potjeova (i ekvivalentna) reaktansa rasipanja za režime visokih reaktivnih snaga ... *87*
4.4. Određivanje pobudne struje pomoću potjeove reaktanse rasipanja i analiza rezultata ... *88*
4.5. Konstruisanje pogonskog dijagrama za oblasti visokih reaktivnih snaga na osnovu nove metode za određivanje potjeove reaktanse ... *89*
4.5.1 Uvod ... *89*
4.5.2 Analiza potjeove reaktanse u oblasti visokih reaktivnih snaga ... *89*
4.5.3 Proračun i konstruisanje linije graničnih reaktivnih snaga (LGRS) ... *91*
4.5.4 Analiza pogonskih dijagrama generatora ... *94*

4.6. Proračun i konstrukcija linije graničnih reaktivnih snaga na osnovu zasićenih vrednosti sinhrone reaktanse ... 95
4.6.1 Određivanje zasićene sinhrone reaktanse u oblasti prekomerne reaktivne snage ... 96
4.6.2 Proračun i konstrukcija linije visokih reaktivnih (induktivnih) snaga ... 96
4.7. Rezime i Zaključci ... 97
4.8. Literatura ... 99
5. UGAONE KARAKTERISTIKE GENERATORA I ANALIZA REŽIMA RADA ... 101
5.1. Uvod ... 101
5.2. Ugaone karakteristika i analiza režima generatora sa jednakim sinhronim reaktansama ... 102
5.3. Ugaone karakteristike turbogeneratore sa nejednakim zasićenim sinhronim reaktansama ... 104
5.3.1 Uvod ... 104
5.3.2 Analiza ugaonih karakteristika generatora sa nejednakim sinhronim reaktansama ... 105
5.3.3 Proračun i analiza uticaja nejednakosti sinhronih reaktansi na vrednosti P_{max}, ΔP_{max} i δ_{Pmax} ... 106
5.3.4 Ugaone karakteristike TG sa $x_{qs} < x_{qs}$ za parametre datih režima ... 107
5.4. Proračun i analiza ugaonih karakteristika hidrogeneratora ... 109
5.4.1 Uvod ... 109
5.4.2 Ugaone karakteristike HG za različite režime i odgovarajuće parametre ... 110
5.5. Proračun i analiza zavisnosti aktivnih i reaktivnih snaga, P-δ i Q-δ krive, generatora sa nejednakim zasićenim sinhronim reaktansama ... 112
5.5.1 Proračun i analiza zavisnosti ukupne reaktivne snage (Q-δ krive) i pojedinih komponenti ... 112
5.5.2 Ugaone karakteristike, P-δ i Q-δ krive, turbogeneratora sa nejednakim zasićenim sinhronim reaktansama ... 113
5.5.3 Ugaone karakteristike, P-δ i Q-δ krive, hidrogeneratora ... 114
5.6. Rezime i Zaključci ... 116
5.7. Literatura ... 118
6. PRORAČUN LINIJE STABILNOSTI I KONSTRUKCIJA POGONSKOG DIJAGRAMA ZA REŽIME POTPOBUDE GENERATORA ... 121
6.1. Uvod ... 121
6.2. Pogonski dijagrami i linije stabilnosti turbogeneratora sa jednakim sinhronim reaktansama ... 122
6.2.1 Uvod ... 122
6.2.2 Uticaj zasićenja na vrednosti sinhrone reaktanse generatora i liniju teorijske stabilnosti ... 124
6.2.3 Linija praktične stabilnosti turbogeneratora u režimu potpobude ... 126
6.2.4 Linija visokih reaktivnih (induktivnih) snaga ($Q_G \geq Q_{Gn}$) ... 128

6.2.5 Pogonski dijagram generatora za režime induktivnih i režime kapacitivnih snaga *129*
6.2.6 Linija stabilnosti bloka transformator - generatora *129*
6.2.7 Povećanja graničnih reaktivnih snaga u potpobudi sa tačnijim određivanjem sinhrone reaktanse *132*
6.3. Proračun režima potpobude i linije stabilnosti generatora sa nejednakim sinhronim reaktansama *134*
6.3.1 Proračuni veličina generatora pomoću fazorskog dijagrama generatora nejednakim sinhronim reaktansama po d i q-osi *134*
6.3.2 Uticaj zasićenja na vrednosti zasićenih sinhronih reaktansi, ugao snage i stabilnost turbogeneratora *135*
6.3.3 Analitički proračun reaktivnih snaga i linija stabilnosti generatora sa nejednakim sinhronim reaktansama *140*
6.4. Direktan proračun reaktivnih snaga i linija stabilnosti turbogeneratora i hidrogeneratora *142*
6.4.1 Uvod *142*
6.4.2 Direktan proračun linija stabilnosti turbogeneratora *143*
6.4.3 Proračun i analiza linija praktične i teorijske stabilnosti hidrogeneratora *148*
6.5. Proračun i analizu LPS turbogeneratora sa jednakim sinhronim reaktansama pomoću standardne uprošćene metode *151*
6.5.1 Uticaj smanjenja aktivne snage na smanjenje granične vrednosti reaktivne kapacitivne snage i ugla snage *152*
6.5.2 Uticaj režima na smanjenja sinhrone reaktanse (x_{dC}) na povećanje granične reaktivne snage $q_{LPS\delta}$ i $q_{LPS70°}$ *155*
6.6. Pogonski dijagrami generatora za oblast potpobude (LPS i Linija minimalne pobudne struje) *156*
6.7. Rezime i Zaključci *160*
6.8. Literatura *163*
7. OSNOVI TEORIJE, PRORAČUNA I ANALIZE TRANZIJENTNE I DINAMIČKE STABILNOSTI GENERATORA U PARALELNOM RADU 167
7.1. Uvod *167*
7.2. Uticaj promene opterećenja na stabilnost rada generatora u paralelnom radu *168*
7.3. Analiza tranzijentnih režima i dinamičke stabilnosti sinhronih generatora u paralelnom radu *170*
7.3.1 Uvod - Karakteristični uzroci tranzijentnih režima i mogućih nestabilnosti *170*
7.3.2 Naglo povećanje snage pogonske mašine i oscilatorni režim generatora *171*
7.3.3 Promena režima u mreži tokom trajanja i eliminisanja kvara po isključenju dela mreže *174*
7.3.4 Promena opterećenja zbog promene konfiguracije mreže izazvane isključenjem vodova *175*

7.4. Proračun i analiza tranzijentnih režima i stabilnosti generatora po metodi jednakih površina ... 176
7.5. Praktičan postupak za proračun i analizu stabilnosti generatora za male promene snage ... 178
7.6. Efekat zasićenja sinhronog generatora na statičku i tranzijentnu stabilnosti ... 180
7.7. Analiza dinamičke (i tranzijentne) stabilnosti tokom trajanja i eliminisanja kvara isključenjem dela mreže ... 182
7.8. Stabilnost sistema za male poremećaje (promene snage) i unapređenje statičke i dinamičke stabilnosti ... 184
7.9. Rezime i Zaključci ... 184
7.10. Literatura ... 185
8. MODEL I PARAMETRI SINHRONE MAŠINE ZA PRORAČUN STRUJA KRATKOG SPOJA I TRANZIJENTNIH REŽIMA ... 187
8.1. Uvod ... 187
8.2. Magnetni fluksevi sinhrone mašine u toku trajanja kratkog spoja ... 188
8.3. Ekvivalenta šema sinhrone mašine za karakteristične režim tokom trajanja kratkog spoja ... 189
8.4. Promene aperiodične i periodične komponente struje generatora tokom trajanja kratkog spoja ... 191
8.5. Promene elektromagnetne snage i analiza stabilnosti generatora u tranzijentnom režimu kratkog spoja ... 196
8.6. Analiza stabilnosti generatora u tranzijentnom režimu kratkog spoja sa gubitkom kompletnog opterećenja ... 198
8.7. Ekvivalentna šema generatora i mreže za proračun struja kratkog spoja ... 200
8.8. Generalizovani model sinhrone mašine za d-osu i q-osu i proračun tranzijentnih režima ... 201
8.8.1 Uvod ... 201
8.8.2 Jednačine fluksnih obuhvata i ekvivalentne šeme SM po d i q osi u tranzijentnim režimima ... 201
8.8.3 Jednačine napona SM po d i q osi u tranzijentnim režimima ... 203
8.8.4 Modeli SM za određivanje radnih performansi i karakteristika generatora u tranzijentnim režimima ... 203
8.9. Rezime i Zaključci ... 204
8.10. Literatura ... 205
9. PRORAČUN I ANALIZA GRANIČNIH REŽIMA S OBZIROM NA PREGREVANJE KRAJNJIH LIMOVA STATORA ... 207
9.1. Uvod ... 207
9.2. Kvantitativna i kvalitativna analiza rasutog aksijalnog fluksa i gubitaka snage u krajnjim limovima statora ... 209
9.3. Eksperimentalna istraživanja povišenja temperature krajeva statora i kvantitativno-kvalitativna analiza efekata ... 214

9.3.1 Eksperimentalna istraživanja povišenja temperature krajeva statora i kvantitativno-kvalitativna analiza efekata *214*
9.4. Uporedna analiza temperature krajnjih limova statora i aksijalnog fluksa rasipanja *216*
9.5. Pojednostavljeni postupak za definisanje graničnih režima na pogonskom dijagramu s obzirom na zagrevanje krajeva statora *217*
9.6. Rezime i zaključci *219*
9.7. Literatura *220*
KLJUČNE REČI KEY WORDS 223