

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA RADA GENERATORA U ELEKTRANAMA**

**Diplomski rad**

**Viktor Golemović**

**Osijek, 2015.**

Sadržaj	
1. UVOD .....	1
2. KONCEPTI SINKRONIH GENERATORA .....	2
2.1. Osnove transformacije mehaničke i električne energije .....	2
2.2. Izvedbe sinkronih generatora .....	4
2.2.1. Turbogenerator .....	5
2.2.2. Hidrogenerator .....	6
2.3. Osnovni konstrukcijski elementi generatora .....	8
2.3.1. Stator .....	8
2.3.2. Rotor .....	9
2.4. Matematički opis sinkronog generatora .....	12
2.4.1. Osnovne jednačbe sinkronog stroja .....	13
2.4.2. Transformacija modela iz trofaznog u dvofazni sustav .....	19
2.4.3. Jednačbe napona ravnoteže u namotima statora i rotora u $\alpha\beta$ sustavu .....	20
2.4.4. Transformacija modela između dvofaznih koordinatnih sustava s različitim brzinama vrtnje .....	20
2.4.5. Jednačbe ravnoteže napona u dq sustavu .....	21
2.4.6. Snaga i elektromagnetski moment .....	22
3. ANALIZA KUTNE STABILNOSTI GENERATORA PRIKLJUČENOG NA EES .....	23
3.1. Uvod u problematiku stabilnosti EES-a .....	23
3.2. Klasifikacija stabilnosti .....	24
3.3. Jednačba gibanja rotora generatora .....	25
3.4. Odziv sustava uslijed poremećaja u mreži .....	26
3.4.1. Inercijski odziv .....	27
3.4.2. Primarna, sekundarna i tercijarna regulacija .....	28
3.5. Kutna stabilnost generatora priključenog na EES .....	31
3.6. Prijelazna stabilnost .....	33
3.6.1. Odziv kuta rotora sinkronog generatora na poremećaj .....	34

3.6.2. Ispitivanje prijelazne stabilnosti kriterijem jednakih površina .....	35
3.6.3. Prijelazna stabilnost višegeneratorskog sustava .....	37
3.7. Kritično vrijeme isključenja kvara .....	39
3.8. Podfrekvencijsko rasterećenje .....	40
3.9. Mjere za poboljšanje prijelazne stabilnosti .....	41
3.10. Vrste uzбудnih sustava i njihov utjecaj na prijelaznu stabilnost sustava.....	41
3.10.1. Istosmjerni (DC) sustavi uzbuđe.....	42
3.10.1. Izmjenični (AC) sustavi uzbuđe.....	44
3.10.1. Statički (ST) sustavi uzbuđe.....	45
4. ISPITIVANJE TRANZIJENTNE STABILNOSTI GENERATORA NA TESTNOJ MREŽI (IEEE 9-Bus System) .....	47
4.1. Rješenje zadatka diplomskog rada u programu DigSilent 14.1 .....	47
4.2. Opis testne mreže .....	48
4.3. Analiza kratkih spojeva na sabirnicama blizu i daleko od generatora .....	52
4.3.1. Simulacija 3-faznog kratkog spoja na sabirnici 1 .....	52
4.3.2. Simulacija 3-faznog kratkog spoja na sabirnici 2.....	56
4.3.3. Simulacija 3-faznog kratkog spoja na sabirnicama daleko od generatora.....	60
4.3.3. Usporedba trajanja kritičnih vremena isključenja kvara.....	62
4.4. Utjecaj naglog rasterećenja i ponovnog opterećenja sustava .....	63
5. ZAKLJUČAK .....	68
LITERATURA.....	680
SAŽETAK.....	73
SUMMARY .....	73
ŽIVOTOPIS .....	74

## SAŽETAK

Ključne riječi: sinkroni generator, Clark-Park transformacija, statička stabilnost, prijelazna stabilnost, kut rotora, kriterij jednakih površina, kratki spojevi, podfrekvencijsko rasterećenje, računalna simulacija

U ovom diplomskom radu analiziran je rad generatora priključenog na elektroenergetski sustav. Rad se sastoji od teorijskog i praktičnog dijela. S obzirom na važnost sinkronog generatora kao elementa elektroenergetskog sustava, u teorijskom dijelu su opisani konstrukcijski elementi generatora i dan je detaljan fizikalni i matematički opis rada generatora. Također je izvršena transformacija varijabli iz trofaznog u dvofazni koordinatni sustav čime su pojednostavljene statorske i rotorske jednadžbe. Pored toga, analizirana je kutna stabilnost generatora priključenog na EES. Nužan uvjet stabilnog stanja u mreži predstavlja održanje generatora u sinkronizmu. Praktični dio rada se izvodi u računalnom programu DigSilent 14.1. Simulirani su kratki spojevi na sabirnicama blizu i daleko od generatora, te je promatran njihov utjecaj na stabilnost generatora. Za definirane događaje snimljene su karakteristike: kuta rotora, radne snage u ovisnosti o kutu rotora, struja, napona i frekvencija generatora.

## SUMMARY

Key words: synchronous machine, Clark-Park transformation, static stability, transient stability, rotor angle, equal area criterion, short circuits, load shedding, computer simulation

This paper analyzes the operation of generator connected to the power system. The work consists of theoretical and practical parts. Given the importance of synchronous machine as an element of the power system, the theoretical part described structural elements of generator and an overview of physical and mathematical description of generator is given. Also, transformation of variables is executed from three-phase to two-phase coordinate system which simplifies stator and rotor equations. Further, this paper analysis rotor angle stability of generator connected to the power system. Maintenance of generator in synchronism represent a necessary condition for stable operation. Practical part is performed in a computer program DigSilent 14.1. Short circuit events are simulated on the buses near and far from the generator, and observed their impact on the stability of the generator. For defined events operation variables such as generator rotor angles, active powers, current, voltages and frequency were recorded.