

TEHNOLOGIJA, INFORMATIKA I OBRAZOVANJE
ZA DRUŠTVO UČENJA I ZNANJA

6. Međunarodni Simpozijum, Tehnički fakultet Čačak, 3–5. jun 2011.

TECHNOLOGY, INFORMATICS AND EDUCATION
FOR LEARNING AND KNOWLEDGE SOCIETY

6th International Symposium, Technical Faculty Čačak, 3–5th June 2011.

UDK: 621.313/.314:004.42LabVIEW

Stručni rad

VIZUELIZACIJA POSTUPKA SINHRONIZACIJE SINHRONOG GENERATORA NA MREŽU

Miloš Božić¹, Marko Rosić², Miroslav Bjekić³

Rezime: U radu je prikazana vizuelizacije postupka sinhronizacije sinhronog generatora na mrežu. Vizuelizacija je ostvarena programom koji je napisan u softverskom paketu LabVIEW i akvizicionom karticom NI USB 6009. Program koji je napisan i kondicioneri napona koji se koriste za prilagođavanje nivoa napona će se primeniti za izvođenje laboratorijske vežbe sinhronizacije generatora na mrežu.

Ključne reči: sinhronizacija, vizuelizacija, LabVIEW, laboratorijska vežba

VISUALIZATION PROCEDURE OF SYNCHRONOUS GENERATOR SYNCHRONIZATION TO THE NETWORK

Summary: This paper presents a visualization of synchronous generator synchronization to the network. Visualization is realised with the application written in LabVIEW software and by acquisition card NI USB 6009. The programme and conditioners voltage, used for adaptation voltage levels, will be implemented in laboratory exercises of generator synchronization to the network.

Key words: synchronization, visualization, LabVIEW, laboratory exercise

1. UVOD

Studenti, budući inženjeri da bi mogli da se bave poslovima u svojoj struci potrebno je da dobro razumeju teoriju i pojave koje se dešavaju u zadacima i problemima koji stoje pred njima. Jedan od mogućih zadataka budućih inženjera je i sinhronizacija generatora na elektroenergetski sistem – EES. Da ne bi doveli sebe i opremu u opasnost potrebno je dobro razumeti proces sinhronizacije generatora.

Sinhroni generatori su glavni izvori naizmenične električne energije u. Broj generatora u mreži može biti na stotine, međusobno povezanih stotinama kilometara prenosnih vodova. EES raznih zemalja se povezuju, rade u interkonekciji, u cilju jednostavnije razmene energije i poboljšanje stabilnosti EES kao celine.

¹ Miloš Božić, saradnik, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: mbozic@tfc.kg.ac.rs

² Marko Rosić, asistent, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: rosic@tfc.kg.ac.rs

³ Dr Miroslav Bjekić, docent, Tehnički fakultet, Svetog Save 65, Čačak, E-mail: mbjekic@gmail.com

Osnovna ideja povezivanja generatora je kontinualno snabdevanje električnom energijom, smanjivanje troškova ulaganja i održavanja. Zahtevi za električnom energijom variraju u toku dana ili nekog perioda tako da se generatori povezuju na sistem ili isključuju sa sistema u cilju proizvodnje zahtevane električne energije.

Sinhroni generator se može povezati na jaku električnu mrežu, ako se ispune zahtevi u pogledu brzine obrtanja generatora i jačine pobudne struje tako da napon generatora odgovara naponu mreže. Pored ovih veličina potrebno je i poznavati redosled faza kao i fazni stav. Ako frekvencija priključenog generatora nije jednaka frekvenciji mreže na koju se generator priključuje razlika napona između mreže i generatora se menja razlikom frekvencija ova dva napona. Usled nepravilne sinhronizacije mogu nastati velike struje izjednačavanja koje mogu prouzrokovati poremećaje u mreži [1].

Jedan od ranijih načina demonstracije postupka sinhronizacije u laboratorijskim uslovima je korišćenje tri inkadescetne sijalice priključene na krajevima glavnog prekidača, tako da je jedan kraj sijalice na fazi generatora, a drugi kraj sijalice na fazi mreže. Danas se umesto sijalica koriste i uređaji koji se nazivaju sinhronoskopi.

Ni jedna od navedenih metoda ne prikazuje šta se suštinski dešava u postupku sinhronizacije. Ideja ovog rada je da se vizuelizuju pojave koje se događaju tokom sinhronizacije i na taj način omogući studentima bolje razumevanje procesa.

2. USLOVI ZA SINHRONIZACIJU

Sinhronizacija je postupak kojim se sinhroni generator dovodi u takvo radno stanje da se može priključiti na EES bez negativnih posledica. Da bi bilo moguće izvršiti sinhronizaciju potrebno je da se ispune sledeći uslovi:

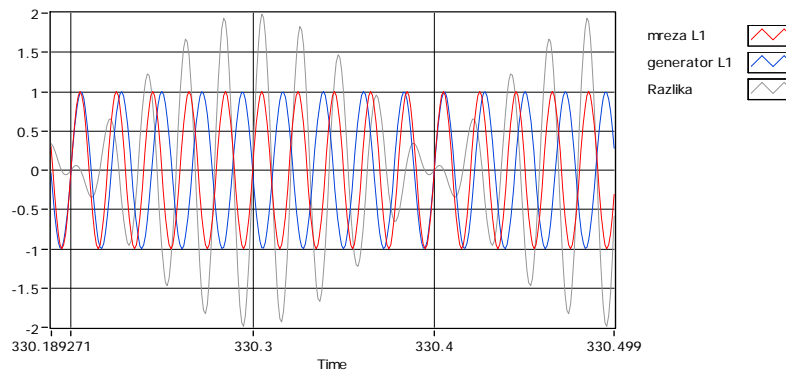
1. Pre prve sinhronizacije potrebno je utvrditi redosled faza. Faze na generatoru se moraju slagati sa fazama na mreži. Ovaj uslov se obično izvodi samo na početku pri prvom povezivanju generatora. Kada se jednom ovaj uslov ispuni više ga nije potrebno izvoditi.
2. Frekvencija generatora mora biti jednaka frekvenciji mreže. U simetričnom trofaznom sistemu frekvencija se može utvrditi merenjem frekvencije i na strani mreže i na strani generatora.
3. Naponi generatora moraju biti jednaki naponima na mreži

$$V_{g1}=V_{m1}, V_{g2}=V_{m2}, V_{g3}=V_{m3}$$

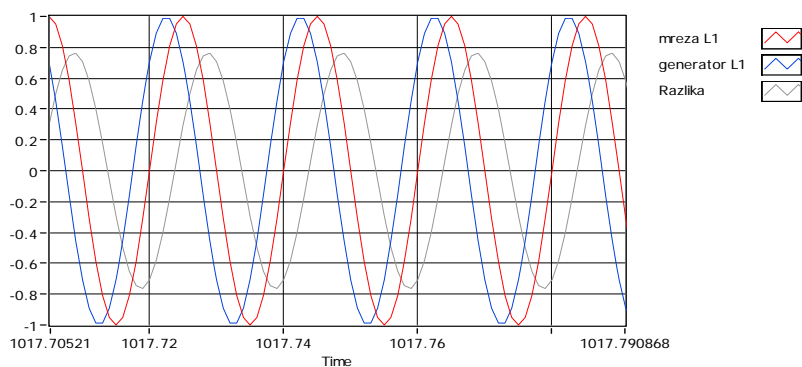
4. Naponi generatora i mreže moraju biti u fazi:

$$\Theta_{g1}=\Theta_{m1}, \Theta_{g2}=\Theta_{m2}, \Theta_{g3}=\Theta_{m3}$$

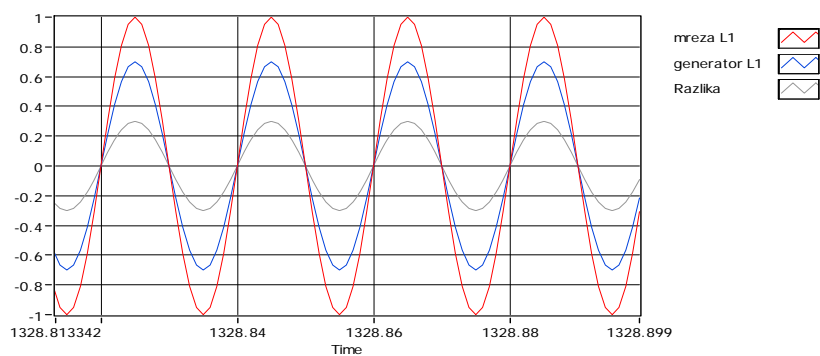
Na slikama 1, 2 i 3 su prikazana tri tipična stanja napona jedne faze mreže u trofaznom sistemu kao i napon na generatoru. Može se primetiti da ni u jednom slučaju nije zadovoljen uslov sinhronizacije. Bitno je znati da u praksi nije ni potrebno da uslovi budu u potpunosti zadovoljeni, male razlike napona, frekvencije i faznih stavova su prihvatljive.



Slika1: Različite frekvencije, a isti fazni stav i amplituda

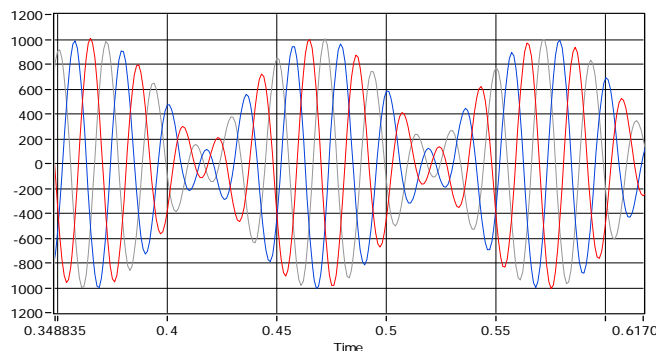


Slika2: Različit fazni stav, a iste frekvencije i amplitude



Slika3: Različite amplitude, a iste frekvencije i fazni stav

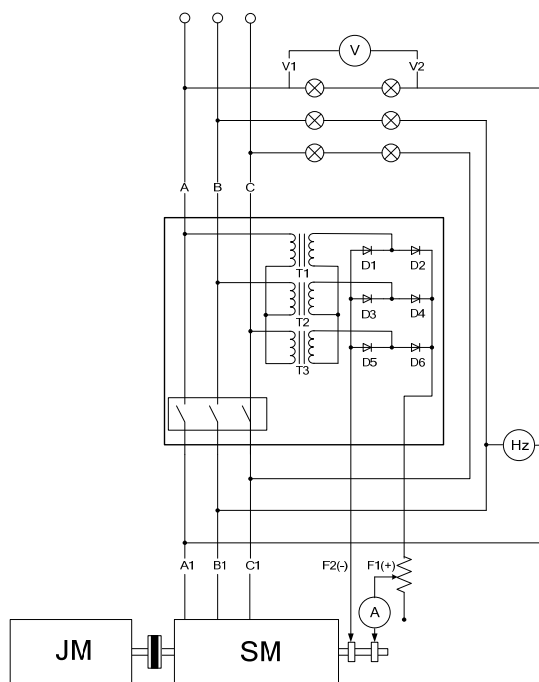
Međutim, ako su razlike ovih veličina velike mogu se pojaviti ogromne struje izjednačavanja koje mogu prouzrokovati trajne deformacije na namotajima generatora. Pored ovih pojava može se pojaviti i moment torzije na osovini, koji može prouzrokovati čak i sam lom osovine.



Slika4: Izgled napona sve tri faze kada se razlikuje frekvencija

3. POSTUPAK SINHRONIZACIJE

U laboratoriji za električne mašine na Tehničkom fakultetu u Čačku, sinhrona mašina je u sprezi sa jednosmernom mašinom. Postupak sinhronizacije započinje priključivanjem jednosmerne mašine i postepenim povećavanjem napona sve dok jednosmerna mašina ne razvije nominalnu brzinu obrtanja koja iznosi 1500 obr/min, što će na strani sinhronne mašine proizvesti naizmenični napon frekvencije 50Hz. Vrednost frekvencije se očitava preko frekvenmetra, dok se ostvareni napon prati u obliku razlike napona na istoj fazi generatora i mreže. Fazni stav se prati preko sijalica koje su povezane između faza mreže i generatora i napajaju se razlikom napona koja je prikazana na slikama iznad. Na slici je dat izgled električne šeme [2] aparature koja se koristi prilikom sinhronizacije.



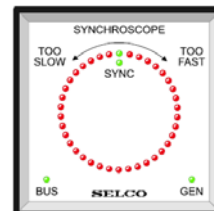
Slika5: Šema električne veze

Ako postoji značajna razlika faznih stavova, da bi se ta razlika smanjila na dozvoljenu vrednost potrebno je jednosmernu mašinu malo ubrzati ili usporiti. Ovaj deo predstavlja i najteži deo sinhronizacije i zavisi isključivo od iskustva operatera koji vrši sinhronizaciju.

Kada se ispune prethodno navedeni uslovi, može se izvršiti priključenje sinhronne mašine na mrežu. Da bi se izvršila sinhronizacija potrebno je pratiti više instrumenata. Da bi se olakšao proces sinhronizacije, i stvorila mogućnost za realizaciju automatske sinhronizacije kreirana je aplikacija u softverskom paketu LabVIEW.

4. OPIS VIRTUELNOG SINHRONIZATORA

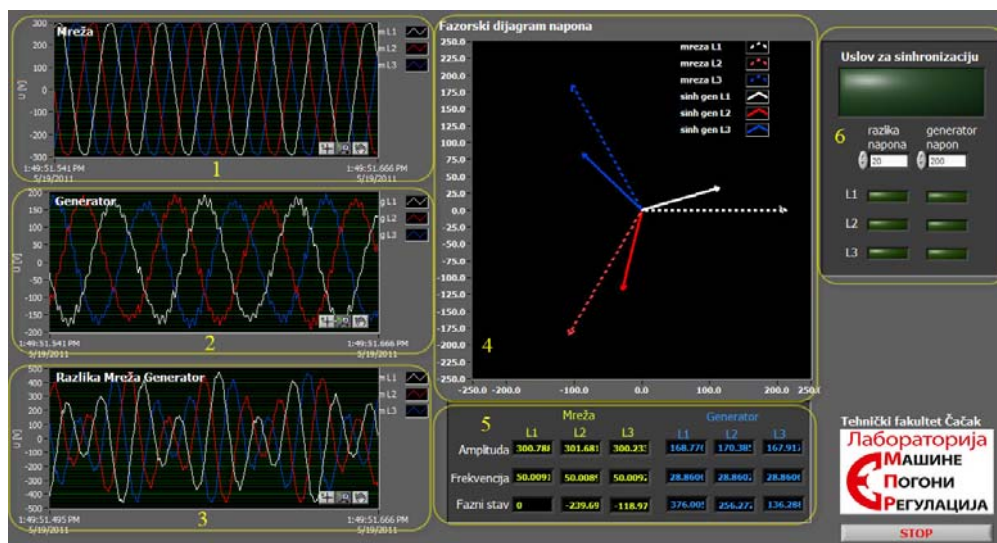
Sinhronoskop je uređaj kojim se meri fazna razlika između dva izvora napona. Izlaz sinhronoskopa može biti video ekran, merni pokazivač sa kazaljka ili neki drugi tip uređaja. Najveći broj sinhronoskopa koji se upotrebljava u elektranama su merači faza sa rotirajućom kazaljkom u analognom obliku ili u obliku lampica koja pokazuje frekvenciju i razliku faza između napona mreže i napona generatora. Na slici 6 je prikazan tipičan izgled sinhronoskopa.



Slika6: Sinhronoskop

Kreiranjem virtuelnog instrumenta tj. virtuelnog sinhronoskopa stvorena je mogućnost praćenja velikog broja parametara direktno na displeju računara. Praćenje napona se vrši na sve tri faze mreže i generatora. Pored napona se prati i frekvencija.

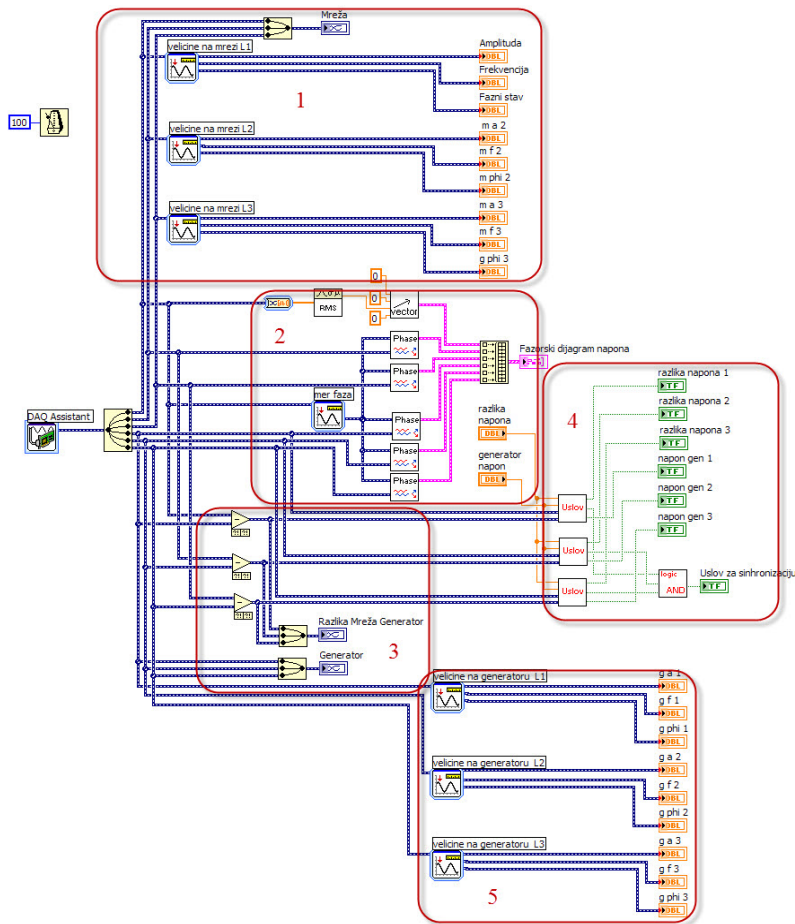
Pored ovih veličina koje se prate u numeričkom obliku, ono po čemu je ovaj virtuelni instrument vrlo koristan za studente je i mogućnost praćenja napona u obliku fazora. Fazori napona mreže su predstavljeni kao statični, a referentni fazor je napon faze 1. Fazori napona generatora su fazori koji rotiraju razlikom frekvencija mreže i generatora. Kada su frekvencije mreže i generator jednake fazori napona rotora staju i zauzimaju neki fazni stav, koji se može direktno i trenutno videti na računaru. Izgled virtuelnog instrumenta je prikazan na slici. Na virtuelnom instrumentu se može uočiti više elemenata.



Slika7: Izgled virtuelnog instrumenta

Elementi virtuelnog instrumenta:

1. grafik *Mreža* prikazuje trenutne vrednosti mrežnog napona
2. grafik *Generator* prikazuje trenutne vrednosti napona sa generatora
3. grafik *Razlika Mreža Generator* vrednosti razlike napona mreže i generatora
4. xy grafik *Fazorski dijagram napona* prikazuje fazore napona mreže i generatora
5. blok koji sadrži informacije o efektivnim vrednostima napona kao i vrednosti frekvencije i faznog stava za svaku fazu u numeričkom obliku
6. blok koji sadrži numeričke vrednosti uslova koji su potrebni za simulaciju



Slika8: Izgled blok dijagrama

1. Prikaz trenutnih vrednosti mreže u obliku vremenskog dijagrama kao i prikaz trenutnih vrednosti amplitude, frekvencije i faznog stava u obliku numeričkih vrednosti
2. Deo koda koji formira fazorski dijagram pri čemu je za referentnu fazu uzeta faza L_1
3. Prikaz trenutnih vrednosti napona generatora i trenutni oblik i vrednost razlike napona mreže i generatora
4. Prikaz trenutnih vrednosti generatora amplitude, frekvencije i faze u obliku numeričke vrednosti.
5. Uslovi koje je potrebno ispuniti da bi se izvršila sinhronizacija

Da bi bilo moguće izvršiti sinhronizaciju potrebno je da budu ispunjena sledeća tri uslova: ista frekvencija, fazni stav i napon na generatoru i mreži.

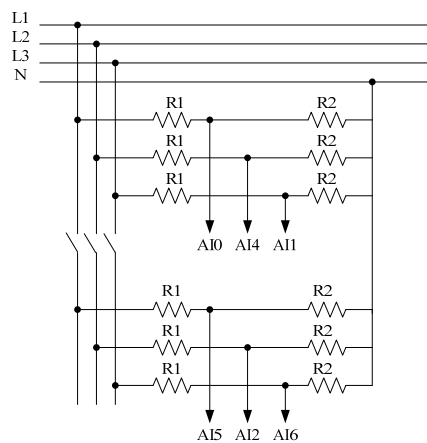
Kada se ispuni uslov jednakih frekvencija, što se na grafu može videti kao zaustavljanje fazora napona generatora ili jednostavno očitati iz numeričke kontrole, pristupa se

podešavanju faznog stava. Blagim smanjivanjem ili povećavanjem napona napajanja jednosmerne mašine, dolazi do njenog usporavanja odnosno ubrzavanja, što se na fazorskom dijagramu može pratiti kao skretanje fazora napona generatora i zauzimanje novog položaja. Kada se postigne da je uslov za fazni stav ispunjen pristupa se podešavanju amplitude napona generatora, što se jednostavno postiže podešavanjem struje pobude. Kada se ispune ova tri uslova uključuje se signalna lampica koja označava da je bezbedno izvršiti sinhronizaciju. Sinhronizacija se za sada izvodi ručno dejstvom na taster, a budući cilj je realizovati automatsku sinhronizaciju, tako da se sinhronizacija izvodi bez uticaja operatora.

5. KONDICIONIRANJE I PRIHVATANJE SIGNALA

Kako su naponi sa kojima se operiše reda stotina volti potrebno ih je prilagoditi i svesti na naponski nivo koji odgovara akvizicionoj kartici, a to je standardni napon reda $\pm 10V$. Da bi aplikacija mogla da radi potrebno je akvizirati trenutne vrednosti napona, a ne samo efektivne vrednosti. Kao najjednostavniji način da se izvrši prilagođavanje iskorišćeni su razdelnici napona koji su priključeni između svake faze i neutralne tačke. Galvansko odvajanje akvizicione kartice se može izvršiti korišćenjem transformatora na svakoj liniji.

Vrednosti otpornika koji se koriste su 330k i 10k.



Slika 9: Izgled električne šeme razdelnika

6. POSTUPAK ZA IZVOĐENJE LABORATORIJSKE VEŽBE

Pre dolaska u laboratoriju potrebno je izvršiti pripreme u vidu iščitavanja laboratorijske vežbe i razumevanja pojava koje se dešavaju u toku sinhronizacije. U cilju lakšeg razumevanja razlika napona koji se javljaju usled razlike frekvencija, amplituda i faznih stavova pokrenuti simulaciju sinhronizacije [Simsinh](#).

U toku laboratorijske vežbe:

1. Uključiti laptop preko sopstvenog napajanja i pokrenuti aplikaciju *Sinhronizacija.vi*.
2. Proveriti da li je šema ispravno povezana i proveriti da li je taster za sinhronizaciju isključen. Napon koji se dovodi na jednosmernu mašinu treba postaviti na nultu vrednost.
3. Uključiti glavni prekidač na laboratorijskom stolu. Postepenim povećavanjem napona pokrenuti jednosmerni motor. Podizati vrednost napona sve dok se ne dostigne frekvencija izlaznog napona generatora približno 50Hz, što se može kontrolisati na virtuelnom instrumentu kao usporavanje rotacije fazora napona generatora i pri dostizanju frekvencije pojave njegovog zaustavljanja.

4. Kada su usaglašeni frekvencija i napon pažnju treba posvetiti podešavanju faznog stava između napona mreže i generatora. Finim podešavanjem napona na jednosmernoj mašini deluje se na njenu brzinu, koja ima za cilj da promeni fazni stav napona generatora što se može trenutno videti na fazorskom dijagramu. Može se pratiti kako utiče blago povišenje napona, a kako sniženje napona na trenutni fazni stav i šta treba preduzeti u cilju prilagođenja na potrebnu vrednosti.
5. Podesiti pobudu sinhronne mašine preko odgovarajućeg promenljivog otpornika postavljenog u kolu pobude, da bi se dobio nivo napona koji je jednak naponu mreže.
6. Kada se ispune uslovi po frekvenciji, amplitudi i faznom stavu odgovarajuće signalizacione lampice zasvetle čime je dozvoljeno izvršiti sinhronizaciju.
7. Pritisnuti taster za sinhronizaciju, čime je sinhronizacija uspešno izvršena. Ako se desi bilo kakva nepredviđena situacija isključiti glavni prekidač na laboratorijskom stolu.

Video zapis laboratorijske vežbe sinhronizacije može se preuzeti sa internet portala laboratorija za električne mašine <http://www.empr.tfc.kg.ac.rs/video.html>

7. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana realizacija virtuelnog instrumenta za sinhronizaciju sinhronog generatora na mrežu korišćenjem LabVIEW softverskog paketa i akvizicione kartice National Instruments 6009. Korišćenjem virtuelnih instrumenata daje se bolja i jasnija predstava šta se dešava u postupku sinhronizacije. Omogućeno je trenutno praćenje veličina u formi vremenskih dijagrama (na kojima se mogu pratiti oblici napona) i u formi fazorskog dijagrama (gde se mogu pratiti sve veličine koje su potrebne u toku procesa sinhronizacije). Prednost ovakvog načina je i da su svi instrumenti objedinjeni u obliku virtuelnog instrumenta. Moguće je i snimati tok sinhronizacije i potom analizirati snimljene vremenske oblike napona.

Kada se u laboratorijske vežbe koje se izvode dugi niz godina, sa dotrajalom i starom opremom, uvede nova oprema kao što su računar i akviziciona kartica i time omogući vizuelizacija procesa, studenti su zainteresovaniji za rad u laboratoriji. Kako je u elektrotehnici veoma čest problem da se pojave koje se dešavaju ne mogu vizuelno videti i opipati kao u nekim drugim tehničkim oblastima ovakav vid laboratorijskih vežbi bi trebalo da podigne nivo pažnje studenata i da im omogući bolji proces razumevanja.

Budući koraci na osavremenjavanju ove laboratorijske vežbe će biti usmereni ka potpunoj automatizaciji procesa sinhronizacije generatora, čime bi se izbegao subjektivni uticaj operatora i logika sinhronizacije prepustila u potpunosti računaru.

8. LITERATURA

- [1] Nesimi, E.: *LabVIEW for electric circuits, machines, drives and laboratories*, Prentice Hall, New Jersey, 2002
- [2] Janda S., Bjekić M., Beloševac D.: *Laboratoriski praktikum iz električnih mašina 2*, Čačak, 1995
- [3] Božić M, Bjekić M, Rosić M: *Akvizicija električnih parametara i formiranje fazorskog dijagrama korišćenjem LabVIEW-a*, Konferencija ETRAN, jun 2011.
- [4] Elektrotehnički fakultet Sarajevo, <https://c2.etf.unsa.ba/login/index.php>, maj 2011.
- [5] National Instruments, www.ni.com, maj 2011.
- [6] Laboratorija za el. mašine, pogone i regulaciju www.empr.tfc.kg.ac.rs, maj 2011.