

REALIZACIJA DVOKANALNOG AUTOMATSKOG SINHRONIZATORA

Predrag Ninković, Blagota Jovanović, Mladen Milošević, Tomislav Gajić, Dušan Arnaudović

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Kratak sadržaj: U ovom radu je opisana realizacija dvokanalnog automatskog sinhronizatora koji je namenjen sinhronizaciji dva generatora u termoelektrani na mrežu, sa 4 izborna mesta sinhronizacije i koji je potpuno integrisan u distribuirani upravljački sistem (DCS). Uređaj je realizovan primenom programabilnog logičkog kontrolera (PLC) i specijalizovane elektronike za vođenje procesa sinhronizacije, kao i većeg broja elemenata rasklopne opreme za potrebe različitih radnih režima.

Ključne reči: generator, sinhronizacija, uključenje prekidača, programabilni logički kontroler, distribuirani sistem upravljanja.

1. UVOD

U objektima za proizvodnju električne energije sa dva generatora se u fazi modernizacije sistema upravljanja (DCS) ponekad donosi odluka o formiranju jedinstvenog sistema upravljanja za oba bloka. Iako je ovakvo rešenje tehnički inferiorno u odnosu na rešenje sa dva odvojena DCS-a, ekonomski razlozi ponekad veoma bitno utiču na izbor i izazivaju donošenje odluke o izboru jeftinijeg jedinstvenog DCS-a. Pri tome, veliki deo primarne opreme koji se ne koristi istovremeno na oba bloka se takođe realizuje kao jedinstveni sistem sa mogućnošću izmene (multipleksiranja) tačke delovanja. Jedna od takvih uređaja je i automatski sinhronizator koji obavlja sinhronizaciju svakog od generatora na mrežu. Kako se ne dešava da istovremeno treba oba generatora sinhronisati, doneta je odluka od strane investitora (TE-TO "Novi Sad") da jedan uređaj treba primeniti na oba generatora.

2. PRIKAZ RADNIH USLOVA

Osnovna namena automatskog sinhronizatora [1,2,3] je da, na osnovu izbora radnog režima koji postavlja korisnik, prati napon i frekvenciju mrežnih sabirnica i upravlja naponom i frekvencijom generatora na takav način da se postignu veoma male razlike između njih (u okviru parametarski zadatih vrednosti) i da se u trenutku kada fazna razlika između ova napona postane dovoljno mala, aktivira nalog za uključenje prekidača. Po uključanju prekidača, generator je vezan na mrežu. Ovaj proces se naziva sinhronizacija i neizostavan je prilikom puštanja u rad svakog generatora.

Specifičnosti sinhronizacione šeme koja se primenjuje u uređaju veoma zavise od konfiguracije generatorskog polja (opreme koja je vezana u primarnom električnom kolu generatora), čiji su glavni parametri:

- broj prekidača po agregatu na kojima se radi sinhronizacija,
- broj mernih kola po agregatu koja učestvuju u sinhronizaciji,
- broj agregata koji se sinhronizuju na mrežu,
- broj radnih režima (automatski, poluautomatski, ručno...),

- broj mesta sa kojih se komanduje uređajem (lokalno sa lokalnog panela, ručno sa udaljenog pulta, daljinski iz DCS-a...),
- način prijema i razmene informacija sa okruženjem (beznaponski kontakti, potencijal, serijska komunikacija, *ethernet* komunikacija...).

U fazi projektovanja, zahtevane su sledeće karakteristike uređaja:

- uređaj vrši sinhronizaciju na dva agregata,
- na svakom agregatu postoje po dva prekidača na kojima se može vršiti sinhronizacija,
- na svakom bloku postoje tri sistema mernih napona 100V/50Hz za potrebe sinhronizacije,
- uređajem je moguće komandovati lokalno sa lokalnog panela (na vratima ormana) i daljinski (iz DCS-a)
- mogući režimi su: automatski, poluautomatski, test i ručni (u lokalnom radu) i automatski u daljinskom radu,
- uređaj izvršava automatsko konfigurisanje sinhronizacione šeme u svakom radnom režimu (preusmeravanje svih komandi i signala),
- uređaj poseduje HMI jedinicu (*Human-machine interface*) na lokalnom upravljačkom panelu,
- uređaj komunicira sa DCS-om putem serijske Modbus RTU 485 veze
- uređaj je opremljen sistemom za detektovanje neregularnih radnih uslova okruženja i za dijagnostikovanje grešaka u cilju bržeg dejstva pri uspostavljanju normalnog radnog stanja,
- postoji mogućnost podešavanja parametara sinhronizacije [4,5],

Kao što se iz priloženih zahteva vidi, sistem koji treba realizovati ima veliki broj funkcija zbog čega je veoma složen.

3. SPECIFIKACIJA FUNKCIJA

Uvodom u specifikaciju zahteva, prvi korak u projektovanju uređaja je specifikacija opreme sa kojom se vrši razmena informacija. Na osnovu te specifikacije formiran je blok-dijagram na slici 1.

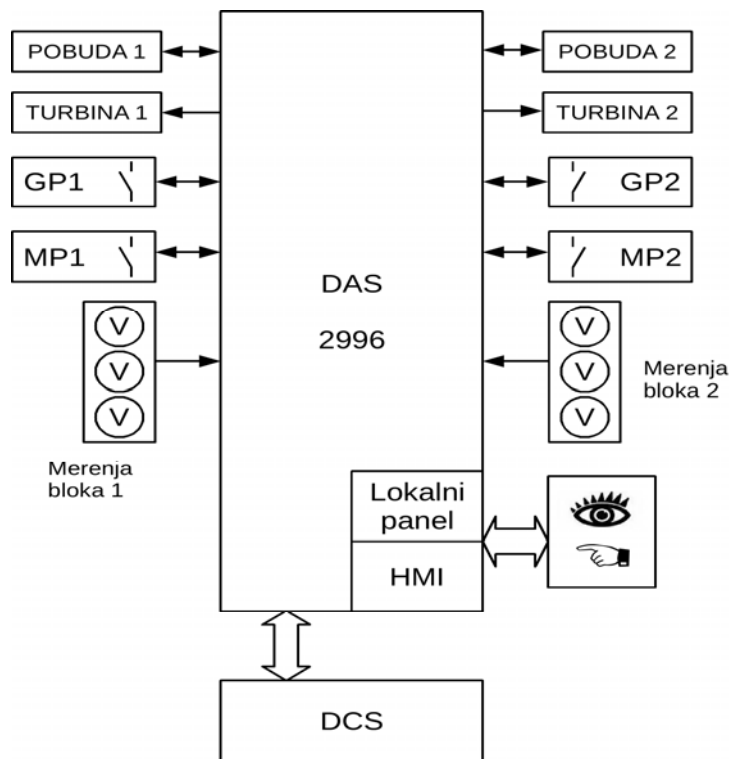
gde su:

GP1, MP1 - generatorski i mrežni prekidač na bloku 1

GP2, MP2 - generatorski i mrežni prekidač na bloku 2

jasno je da postoje dve nezavisne grupe primarne i rasklopne opreme po svakom bloku. Veza sa njima je ostvarena simetrično, prema tabeli 1 i može se smatrati I/O (*input-output*) tabelom izvršnih organa.

Sa druge strane, postoji samo jedan aktivan upravljačko-informacioni sistem oličen u operateru na DCS-u (za režim daljinskog upravljanja) odnosno operateru ispred lokalnog panela (za režim lokalnog upravljanja). Samo jedan od njih može biti aktivan u jednom trenutku, ali veze prema oba moraju biti realizovane, i to se prikazuje u tabeli 2. Izbor aktivnog operatera se radi preko selektora mesta upravljanja na lokalnom panelu sinhronizatora. U skladu sa tabelom 2 treba realizovati funkcije uređaja za razmenu informacija sa operaterom.



Slika 1: Blok-dijagram specifikacije veza sa okruženjem

Tabela 1: Tabela ulaza i izlaza uređaja prema izvršnim organima

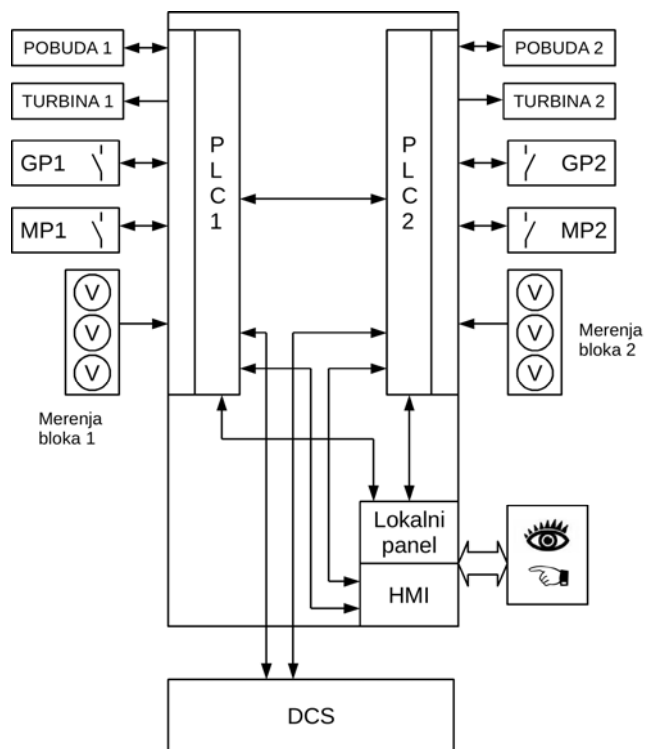
Tip opreme	Tip signala	Opis signala
Pobuda	ulaz	Pobuda uključena
	izlaz	Sinhronizacija u toku
		Nalog za napon gore
		Nalog za napon dole
Turbina	ulaz	-
	izlaz	Sinhronizacija u toku
		Nalog za brzinu gore
		Nalog za brzinu dole
Generatorski prekidač	ulaz	Prekidač spreman
		Prekidač uključen
		Prekidač isključen

Tip opreme	Tip signala	Opis signala
	izlaz	Nalog na uključenje prekidača
		Nalog na isključenje prekidača
Mrežni prekidač	ulaz	Prekidač spreman
		Prekidač uključen
		Prekidač isključen
	izlaz	Nalog na uključenje prekidača
Nalog na isključenje prekidača		
Merenja	ulaz	Tri sistema napona 100V/50Hz
	izlaz	-

4. STRUKTURNA REALIZACIJA

Na osnovu izvršene specifikacije veza sa okruženjem i specifikacije funkcija, potrebno je opredeliti se za strukturu uređaja. S obzirom da uređaj treba realizovati tako da radi sinhronizaciju na dva bloka, prvo rešenje koje se uočava je realizacija sa dva nezavisna kanala od kojih svaki kanal podržava sinhronizaciju na po jednom bloku. Ovakvo rešenje je sa tehničke tačke gledišta najpouzdanije zato što se može konfigurisati tako da, u slučaju otkaza jednog kanala, drugi kanal može poslužiti kao rezerva prvom kanalu. Na taj način se dobija redundantan sistem koji ima potpunu raspoloživost u svakom trenutku (slika 2). Struktura sistema u takvoj konfiguraciji raspolaže sa dva nezavisna PLC-a, i dva skupa izvršnih blokova (prema svakom bloku po jedan), i oba bi komunicirala sa DCS-om i operaterom. Oba hardverska dela bi bila identična, i aplikativni softver bi bio realizovan na isti način. Time bi se smanjilo vreme potrebno za projektovanje, realizaciju, testiranje i puštanje uređaja u rad. Tehnički bi bila izvodljiva čak i istovremena sinhronizacija oba generatora na mrežu.

Na mestu instalacije je, međutim, zahtev bio drugačiji. S obzirom na jaku potrebu za racionalizacijom, dozvoljeno je da uređaj raspolaže samo jednom komunikacionom adresom u postrojenju, pa je broj PLC-ova u uređaju sveden na jedan. Takođe, traženo je da se sinhronizacija može obavljati samo na jednom bloku u jednom trenutku, odnosno da nije poželjna istovremena sinhronizacija na oba bloka. Time su uvedeni u projektovanje kompromisi koji su omogućili racionalizaciju i u realizaciji PLC-a, pa je dobijena struktura na slici 3. U uređaju postoji samo jedan PLC koji komunicira sa DCS-om i operaterom, kao i sa dva izvršna bloka (prema svakom agregatu po jedan). Na ovaj način je dobijen hibridni sistem: sa strane DCS-a i operatera se vidi samo jedan uređaj, dok se sa strane postrojenja vide dva odvojena uređaja. Svo multipleksiranje se radi na nivou PLC, unutar aplikativnog softvera. Na ovaj način je postignuta određena ušteda u ceni komponenata međutim, vreme potrebno za projektovanje hardverskog dela uređaja je povećano, razvoj aplikativnog softvera i ispitivanje uređaja traje duže, a puštanje u rad se mora obavljati u etapama – posebno za blok 1 i posebno za blok 2, uz mogućnost neočekivanog uticaja u preusmeravanju funkcija.

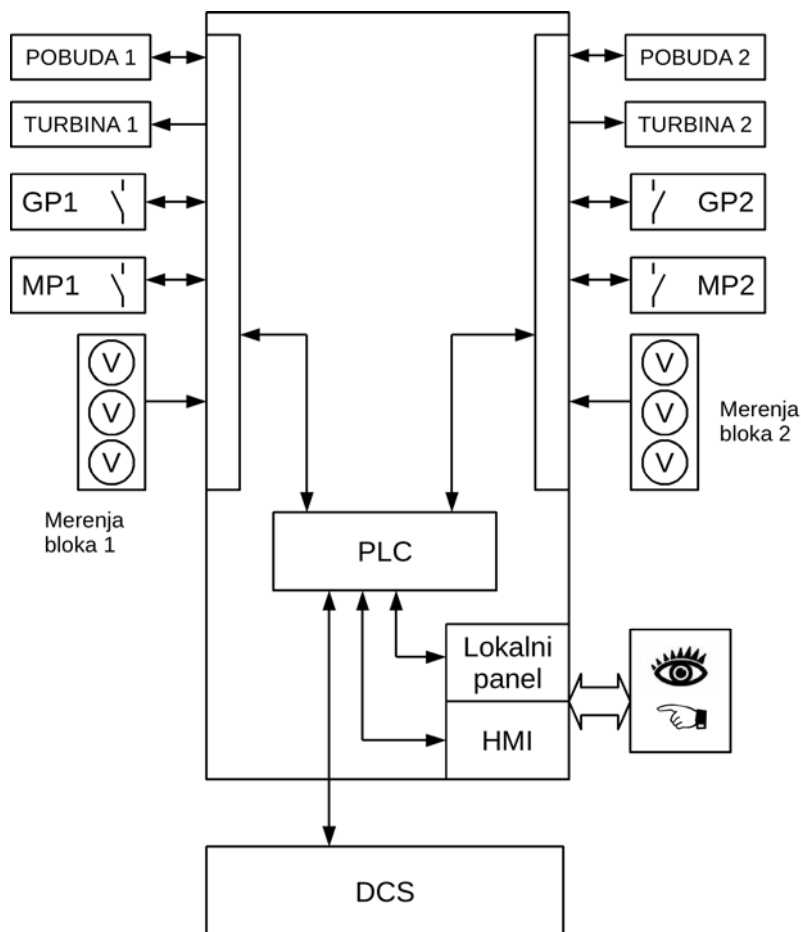


Slika 2: Konfiguracija sa dva nezavisna kanala

Tabela 2: Tabela veza sa daljinskim i lokalnim operaterom

Tip opreme	Tip signala	Opis signala
DCS	ulaz	Dozvola rada na bloku
		Komande za start i stop
		Komanda za reset smetnje
	izlaz	Dojava spremnosti
		Dojava radnog stanja
		Dojava greške
Lokalni panel	ulaz	Selektori režima
		Tasteri za ručno dejstvo
		Tasteri za start i stop
		Taster za reset smetnje
	izlaz	Indikatori dva napona, dve frekvencije i faznog stava

Tip opreme	Tip signala	Opis signala
		Indikatori radnog stanja
HMI	ulaz	Parametri sinhronizacije
	izlaz	Prikaz radnog stanja
		Prikaz grešaka
		Lista događaja

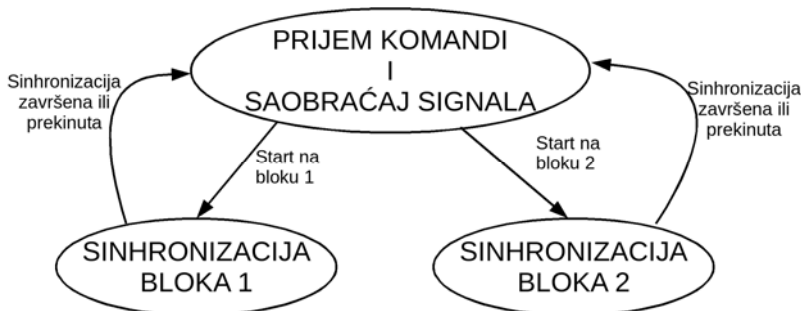


Slika 3: Konfiguracija sa jednim kanalom i multipleksirnjam signala

5. APLIKATIVNI SOFTVER

Osnovni zadatak aplikativnog softvera za PLC [6] je bio da objedini različite konfiguracije koje vide DCS i operater (jedna PLC) i one koju vidi postrojenje (dva izvršna bloka). Zbog toga je bilo potrebno podeliti aplikativni softver na tri osnovna dela: deo koji obavlja zajedničke poslove, deo koji obavlja sinhronizaciju bloka 1 i deo

koji obavlja sinhronizaciju bloka 2. Međusobni odnosi ovih delova su prikazani kroz dijagram stanja na slici 4.



Slika 4: Osnovna struktura aplikativnog softvera

Deo programa koji obavlja zajedničke poslove je servis koji izvršava sledeće zadatke:

- prima sve ulazne signale i obrađuje ih (filtrira, blokira, dozvoljava...)
- određuje na kojem bloku se radi sinhronizacija (na osnovu zahteva)
- komunicira sa operaterom
- komunicira sa HMI
- komunicira sa DCS-om

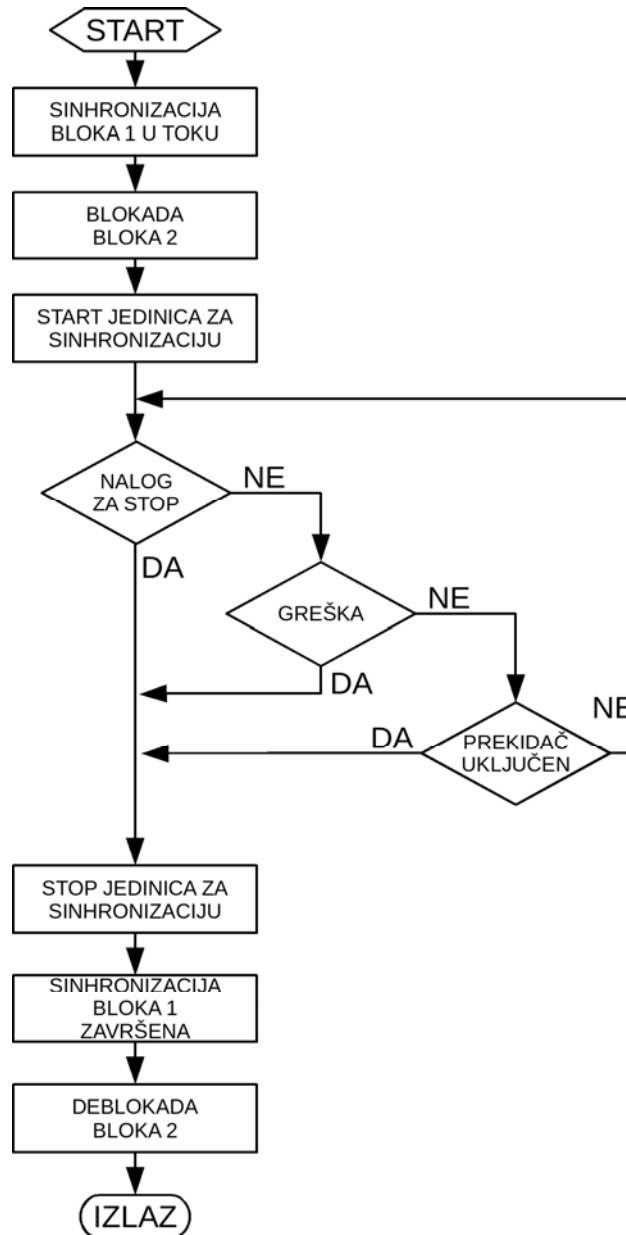
Delovi programa koji obavljaju sinhronizaciju bloka 1 i sinhronizaciju bloka 2 su dva odvojena servisa koji imaju identičnu strukturu sa razlikom adresa koje primaju ulazne veličine i na koje usmeravaju svoje izlaze. Ovo je veoma logično jer u osnovi se sinhronizacija na oba bloka radi na isti način. Dijagram toka događaja za sinhronizaciju na bloku 1 je prikazan na slici 5. Dijagram toka za sinhronizaciju na blok 2 se dobija na sličan način.

6. JEDINICE ZA SINHRONIZACIJU

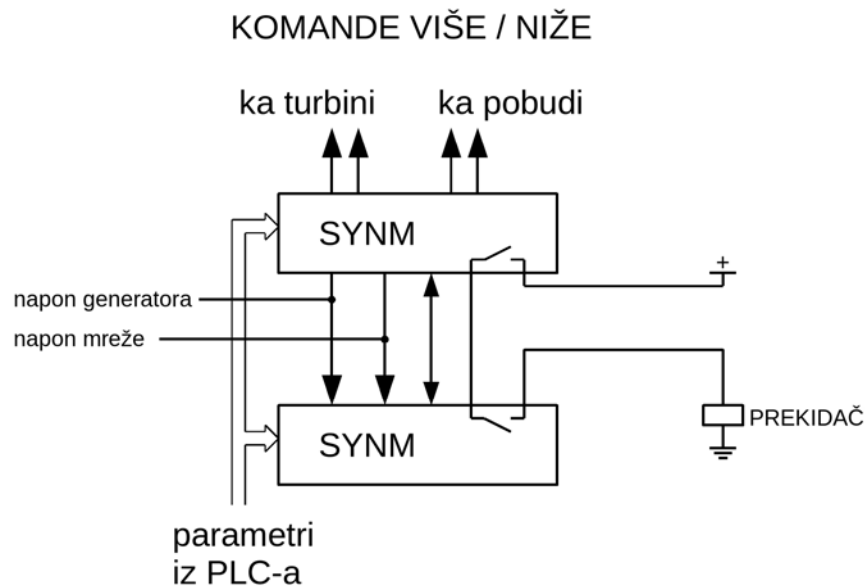
Jedinice za sinhronizaciju su specijalizovani elektronski uređaji proizvodnje “Institut Nikola Tesla” čiji je zadatak da prate merne napone i u skladu sa zahtevima, vode primarnu opremu do uključenja prekidača na mrežu [7]. U uređaj su ugrađene dve sinhronizacione jedinice – MASTER jedinica i SLAVE i one su integrisane u sistem prema slici 6. MASTER jedinica (SYNM) meri dva sistema napona 100V/50Hz od kojih jedan potiče od generatora a drugi od mreže, proverava da li su u dozvoljenim vrednostima, a zatim komanduje promenom brzine i napona generatora zadavanjem komandi za “više” i “niže”. SLAVE jedinica (SYNS) takođe prati dva sistema mernih napona. Kada se naponi i frekvencije dovoljno približe i fazna razlika postane dovoljno mala pa su se stekli uslovi za uključenje prekidača, MASTER jedinica uspostavlja kontakt sa SLAVE jedinicom u cilju potvrde ispravnog zahteva za uključenje. Ako se obe jedinice za sinhronizaciju slože o ispunjenim uslovima, obe aktiviraju svoje izvršne releje, pa se preko redne veze kontakata prosleđuje nalog na uključenje prekidača.

Kako u uređaj stiže 6 sistema napona 100V/50Hz, PLC u okviru aplikacionog programa određuje koji od napona prolazi na merne sabirnice sinhronizacionih jedinica. Takođe, putem izolovanih ulaza, sinhronizacione jedinice od PLC-a dobijaju informaciju o tome na koji se prekidač radi sinhronizacija kako bi podesile parametre

sinhronizacije (nominalne vrednosti napona, trajanje komandi za pobudu i turbinu, karakteristična vremena prekidača...)



Slika 5: Dijagram toka događaja servisa za sinhronizaciju bloka 1



Slika 6: Blok-šema funkcionisanja sinhronizacionih jedinica

7. REALIZACIJA LOKALNOG UPRAVLJANJA

Sistem lokalnog upravljanja je realizovan sa dve namene:

- da se omogući automatska sinhronizacija sa lokalnog panela na vratima ormana kada daljinska komanda (sa DCS-a) nije dostupna i
- da se omogući ručna sinhronizacija kada dođe do otkaza u automatici.

U cilju realizacije lokalnog upravljanja, uređaj je opremljen selektorima radnog režima, tasterima za uključenje i isključenje svih prekidača, vizuelnom indikacijom njihovog stanja, i tasterima za komandovanje brzinom i naponom svakog od agregata. Prikaz opreme za lokalno upravljanje je dat na slici 7.

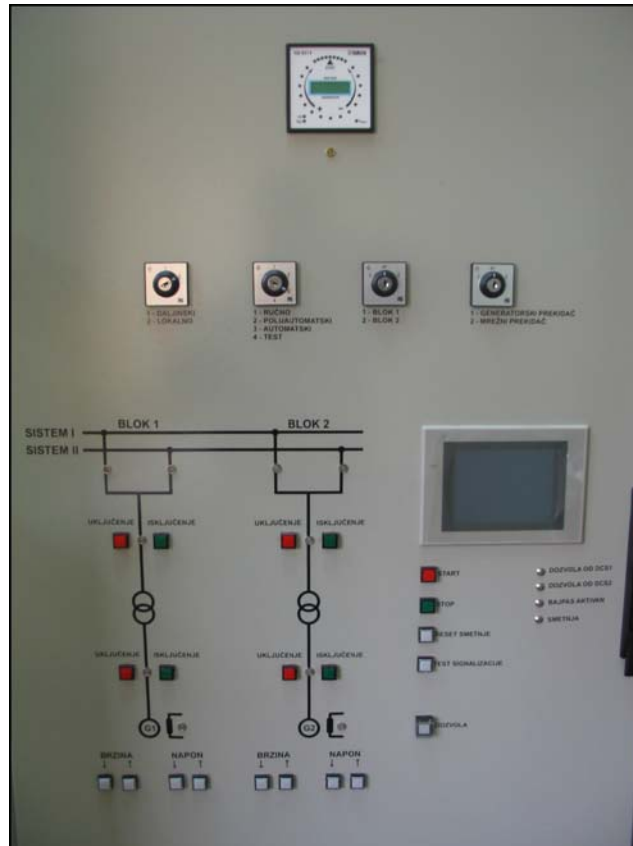
Za potrebe lokalne sinhronizacije, postoje četiri radna režima:

- automatski, kada operator zadaje mesto sinhronizacije i pokrene sinhronizaciju pritiskom na taster START,
- poluautomatski, kada operator bira mesto sinhronizacije, pokrene sinhronizaciju i zatim sam upravlja brzinom i naponom generatora, i zadaje nalog na uključenje prekidača koji, ako su uslovi ispunjeni, sinhronizacione jedinice potvrđuju i nalog na uključenje prolazi na prekidač,
- ručno, kada operator bira mesto sinhronizacije, sam upravlja brzinom i naponom generatora i sam uključuje prekidač bez kontrole automatike.

Prikaz mernih veličina za potrebe sinhronizacije (dva napona, dve frekvencije i fazni stav) se obavlja preko integrisanog digitalnog sinhronoskopa koji je postavljen na lokalnom panelu, tako da operator ima precizan uvid u tok sinhronizacije.

Dodatni element komunikacije sa operaterom u lokalnom radu je HMI (Human-Machine Interface) koji je realizovan u obliku ekrana osetljivog na dodir na kojem se prikazuju radna stanja uređaja, prikaz i podešenja nekih parametara sinhronizacije,

prikaz grešaka i lista poslednjih 100 događaja. Na ovaj način, operater može da na olakšan način prati i utiče na proces sinhronizacije, kao i da brže otkloni eventualne greške u radu.



Slika 7: Prikaz lokalnog panela sa HMI

8. REALIZACIJA DALJINSKOG UPRAVLJANJA

Daljinsko upravljanje i signalizacija su izvedeni prema DCS-u na dva načina:

- komande, u obliku beznaponskih kontakata
- osnovne indikacije, u obliku beznaponskih kontakata,
- detaljne indikacije, putem serijske veze.

U skladu sa zahtevom za smanjenje cene, realizovan je minimalni skup signala koji se razmenjuje između DCS-a i sinhronizatora:

- komande: za start i stop sinhronizacije na 4 prekidača, dozvole za rad od strane DCS-a, reset smetnje,
- indikacije: da je sinhronizator spreman, da je sinhronizacija u toku, signal zbirne greške i signal upozorenja.

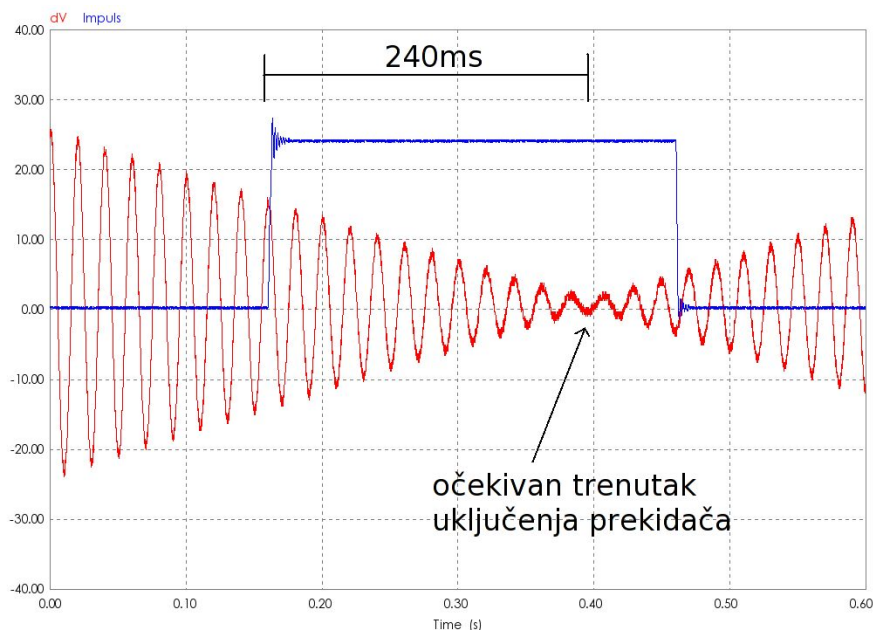
Detaljne informacije o radnom stanju i izveštaj o greškama se DCS-u šalje putem dvožične serijske RS-485 veze po Modbus-RTU protokolu. Time je broj veza koje treba pustiti po postrojenju sveden na minimalnu meru, čime je smanjena ukupna cena radova ali i vreme potrebno za njihovo izvođenje.

9. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

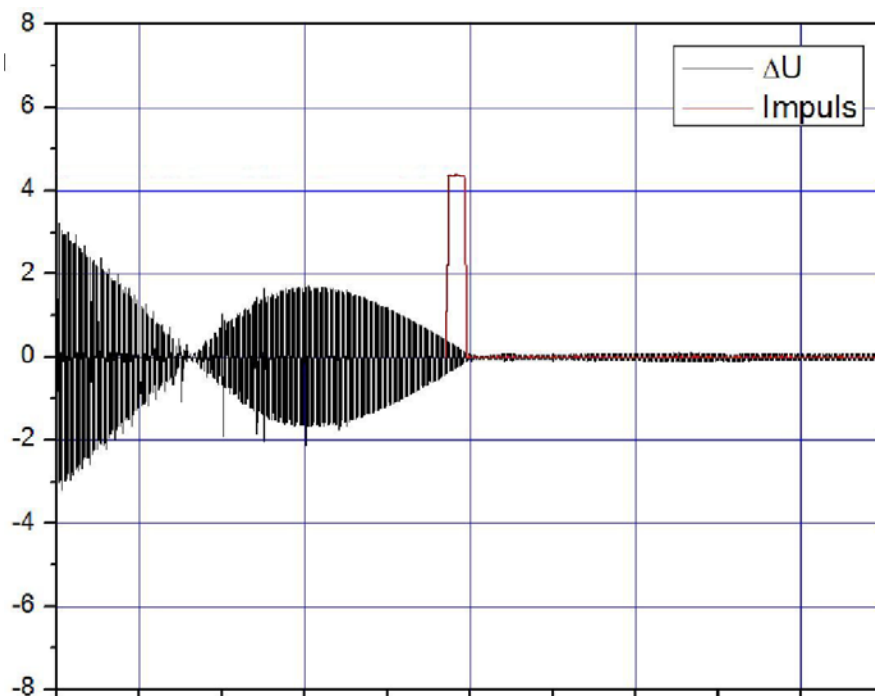
Prilikom puštanja u rad, važno je proveriti kvalitet procesa sinhronizacije. Glavni pokazatelji kvaliteta su promena napona i frekvencije, kao i trenutak zadavanja naloga za uključenje. Kao deo procesa prijemnog ispitivanja, uređaj je povezan u ispitno okruženje, tako da su simulirani realni radni uslovi. Za date radne uslove, podešeno vreme uključjenja prekidača iznosi 240ms te se signal šalje toliko vremena ranije u odnosu na anticipiran trenutak fazne podudarnosti. Trajanje impulsa za uključenje je iznosilo 300ms. Merni naponi su podešeni na jednake amplitude i razliku frekvencija od približno 60mHz.

Na slici 8 je prikazan talasni oblik razlike napona dva merna ulaza i nalog za uključenje prekidača. Sa snimka se može videti da se očekivani trenutak uključjenja prekidača nalazi u zoni veoma male razlike napona, frekvencije i faznog stava. Takođe, vidi se i da je trajanje impulsa za uključenje približno 300ms. Ovim testiranjem je potvrđeno ispravno određivanje trenutka uključjenja i slanje naloga na uključenje.

Na slici 9 je prikazan talasni oblik razlike dva napona i naloga za uključenje pri stvarnoj sinhronizaciji agregata na mrežu. Sa slike se može primetiti promena gradijenta anvelope što pokazuje da je uređaj pravilno vodio pobudni i turbinski regulator ka smanjenju razlika frekvencije i napona. Takođe, nalog za uključenje prekidača je poslat u pravom trenutku, te je prekidač uključen i time je sinhronizacija uspešno obavljena.



Slika 8: Prikaz talasnih oblika u testiranju sinhronizatora



Slika 8: Prikaz talasnih oblika pri sinhronizaciji agregata na mrežu

10. ZAKLJUČAK

U ovom radu je opisana realizacija dvokanalnog automatskog sinhronizatora koji je instaliran i pušten u rad na objektu TE-TO "Novi Sad". Njegova specifičnost leži u tome što mora da obezbedi automatsku sinhronizaciju na dva agregata i što je, u cilju postizanja bolje ekonomičnosti, realizovan ne kao dva sinhronizatora u jednom kućištu, već kao jedan sinhronizator sa distribucijom (multipleksiranjem) izvršnih signala. Ovakav tip realizacije je zahtevao strukturiran pristup projektovanju i hijerarhijski organizovan aplikativni softver unutar PLC-a.

Po puštanju u rad bloka 2, zahvaljujući upravo strukturiranom hardveru, deo uređaja koji je zadužen za sinhronizaciju bloka 2 je u funkciji dok je onaj deo hardvera koji je zadužen za sinhronizaciju bloka 1 ostavljen van funkcije (do puštanja tog bloka u pogon) na takav način da ne utiče na rad sinhronizatora bloka 2. Takođe, omogućeno je da prilikom povezivanja uređaja u sistem bloka 1 uređaj ne mora da bude isključen čime se održava njegova funkcija na bloku 2. Na ovan jačin je raspoloživost sistema dovedena do maksimuma uz racionalizaciju u njegovoj proizvodnji.

LITERATURA

- [1] IEEE guide for AC generator protection - IEEE Std C37.102-1987
- [2] S. Kan, "Industrial Power Systems", CRC Press 2008, ISBN-13: 978-0-8247-2443-6.
- [3] D. Reimert, "Protective relaying for power generation systems", CRC Press 2006, ISBN-13: 978-0-8247-0700-2.

- [4] "GENERATOR SYNCHRONIZING INDUSTRY SURVEY RESULTS IEEE POWER SYSTEM RELAYING COMMITTEE REPORT ", u Trans. On Power Delivery, Vol.11, No.1, Januar 1996. strane 174-183.
- [5] ABB Synchrotact 5 operating instructions
- [6] OMRON CJI Programmable Logic Controller Datasheet
- [7] M. Janković, P. Ninković, J. Dragosavac, "Mikroprocesorski redundantni sinhronizator", u zborniku radova 27. savetovanja JUKO CIGRE, rad R B4-03, Zlatibor 29.05.-03-06-2005.

Abstract: This paper presents design and development of dual-channel automatic generator synchronizing device made for a thermal power plant with two generators and four points of synchronization. It is realized using programmable logic device (PLC) and specialized electronic synchronization controller together with a number of switching elements for switching the control scheme. The device is completely incorporated in the plants distributed control system, providing remote control and debugging functions.

Key words: *generator, synchronization, generator circuit-breaker closing, programmable logic controller, distributed control system.*

DESIGN AND DEVELOPMENT OF DUAL-CHANNEL AUTOMATIC GENERATOR SYNCHRONIZING DEVICE

Predrag Ninković, Blagota Jovanović, Mladen Milošević, Tomislav Gajić, Dušan
Arnautović

Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade