

## REALIZACIJA MONOFAZNOG SISTEMA BESPREKIDNOG NAPAJANJA SA REŽIMOM KRATKOG SPOJA U POTROŠAČU

Predrag Ninković, Blagota Jovanović, Mladen Milošević, Tomislav Gajić  
*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd*

**Kratak sadržaj:** U elektroprivrednim objektima često je prisutan sistem sigurnosnog napajanja koji napaja kritične potrošače. Uvođenjem novih tehnologija u ove objekte zahtevi za izvor sigurnosnog napajanja postaju strožiji, uključujući i rad u kratkom spoju sa ograničenom izlaznom strujom dovoljno dugo da dođe do samočišćenja kvara. Po čišćenju kvara, sistem napajanja nastavlja sa normalnim radom, sinhrono sa mrežom.

**Ključne reči:** sistem besprekidnog napajanja, invertor, statička preklopka, histerezisna strujna kontrola, aktivno strujno ograničenje.

### 1. UVOD

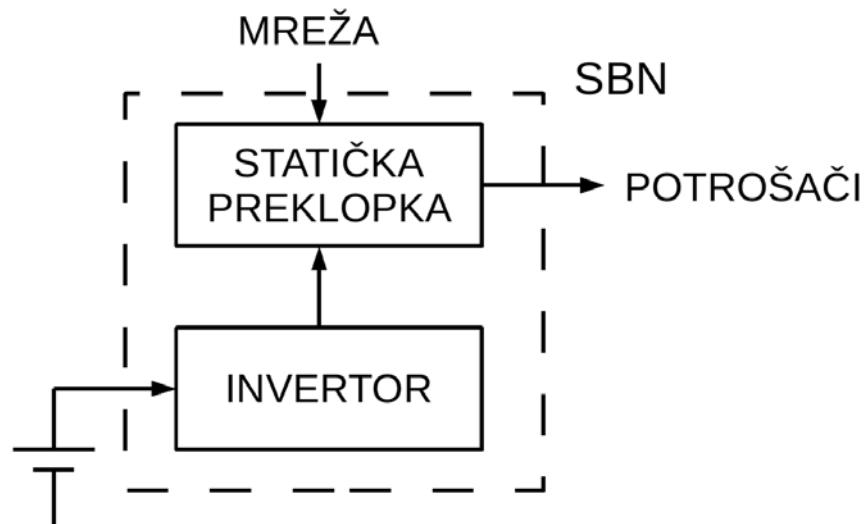
U elektroprivrednim objektima često je prisutan sistem sigurnosnog napajanja koji napaja kritične potrošače. Kao takav, namena mu je da obezbedi pouzdano i stabilno napajanje potrošača u svim radnim režimima, jer njihovo isključenje ili nesiguran rad zbog lošeg napona dovodi do obustavljanja procesa proizvodnje. Uvođenjem novih tehnologija u elektro-opremi u ovim objektima (novi elektronski sistemi merenja, zaštita, upravljanja i komunikacije) bitno je promenjena karakteristika opterećenja i sa pretežno linearne (tipična za relejno upravljanje) se promenila na pretežno nelinearnu karakteristiku (zbog većeg broja elektronskih komponenata koje se napajaju sa nazimeničnog napona). Samim tim se postavljaju novi zahtevi za rad sistema besprekidnog napajanja – izdržavanje teškog starta, rad sa strujama opterećenja koje odudaraju od sinusnog talasnog oblika (sa izraženim vršnjim vrednostima). Zbog toga je potrebno ugraditi sistem besprekidnog napajanja (SBN) koji može da podrži rad sa takvим potrošačima.

U ovom radu je prikazana realizacija jedne familije sistema besprekidnog napajanja (SBN) tipa MISP koja je realizovana iz invertorske jedinice i jedinice statičke preklopke. Oba podsklopa su upravljana savremenom multiprocesorskom tehnologijom i odlikuju se sigurnim i brzim delovanjem, sa dobrim dijagnostičkim funkcijama i mogućnošću povezivanja u distribuirani sistema upravljanja elektrane putem industrijske ethernet komunikacije po IEC 60870-5-104 protokolu. SBN uređaji iz ove familije su uspešno instalirani u više termoelektrana i hidroelektrana (HE "Ovčar Banja", HE "Međuvršje", HE "Bočac", TE "Kostolac-A").

Rad je podeljen u više odeljaka. Odeljak 2 opisuje radne uslove u kojima sistem radi i njegovu osnovnu strukturu. U poglavlju 3 je opisana realizacija invertora. Poglavlje 4 prikazuje realizaciju statičke preklopke. Poglavlje 5 prikazuje snimke dobijene prilikom puštanja u rad na objektima.

## 2. RADNI USLOVI SBN-A

Standardni izvor besprekidnog napona u elektroenergetskim objektima je realizovan kao monofazni sistem i on se, u osnovnoj konfiguraciji, sastoji od jednog invertora i statičke preklopke [1] kao na slici 1. Invertor koristi bateriju da generiše stabilan naizmenični napon sinusnog talasnog oblika uz mogućnost sinhronizacije na mrežu. Statička preklopka rapolaže sa dva izvora naizmeničnog napona: invertora i mreže. Preklopka omogućava prebacivanje napajanja potrošača sa invertora na mrežu i obratno, tako da se ostvari prelaz napajanja bez naponske pauze. Uobičajeno je da se potrošači napajaju sa invertora, čime se koristi takozvani on-line režim rada. Korisnik po potrebi može zahtevati i da se napajanje potrošača izvodi preko mreže i tada invertor radi u praznom hodu sinhronizovan sa mrežom kao pomoći izvor (*off-line* režim).



Slika 1: Blok-šema sistema besprekidnog napajanja

U rekonstruisanim objektima, karakter potrošača je pretežno nelinearan, što znači da je ulazni stepen realizovan kao diodni punotalasni ispravljač (“diodni grec”) koji je podržan elektrolitičkim kondenzatorom i praćen prekidačkim visokonaponskim napajanjem. Takav ulazni stepen u normalnom radu uzima struju iz napojne jedinice u obliku impulsa širine 2-4ms i intenziteta nekoliko puta većeg od efektivne vrednosti [1,2]. Pri startu takvog ulaznog stepena, struja uključenja (engl. *inrush-current*) dostiže vršnu vrednost koja višestruko premašuje radne vrednosti (zbog priključenja praznog elektrolita na ulazni napon) i to sve postavlja veoma surove zahteve za strujno preopterećenje invertora. SBN mora da podrži strujni udar pri uključenju tih potrošača bez propada napona, tako da ostali potrošači ovu promenu ne osete.

Rad u normalnim uslovima besprekidnog napajanja uzima najveći deo vremena i tada je napajanje potrošača stabilno. Međutim povremeno se dešavaju preopterećenja ili kratki spojevi u razvodu sigurnosnog napajanja, i to u slučaju uključenja većeg broja potrošača, otkaza nekog od potrošača u regularnom radu ili usled greške u manipulaciji u toku remonta. Tada se zahteva od SBN-a da obezbedi čišćenje udaljenog kratkog spoja. Raspoloživi izvori energije su mreža (preko mrežnog ulaza u SBN) ili baterija (preko invertora). Korisnik može da izabere koji od ova dva izvora će čistiti kratak spoj

(nezavisno od toga da li je izabran on-line ili off-line režim). Mreža kao snažan izvor može da obezbedi brzo čišćenje kvara dok invertor ulazi u režim ograničenja struje od 3 x Inom u trajanju od 10 sekundi. Ovo je podešeno u koordinaciji zaštite tako da se nijedan od osigurača, osim onog koji je neposredno ispred mesta kvara, neće isključiti (čišćenje kratkog spoja). U slučaju da je mreža primarni izvor za čišćenje kvara, ona će obezbediti veoma veliku struju koja će brzo “počistiti” osigurač ispred mesta kvara. U slučaju da je invertor primarni izvor za čišćenje kvara, neminovno je da će doći do prekida napajanja potrošača (zbog malog napona na sabirnicama) ali se očekuje da će kvar biti automatski otklonjen i da će, zahvaljujući sistemu daljinske dojave stanja osigurača u svakom od potrošača biti veoma brzo otkriveno koji potrošač je u kvaru. Ovo omogućava brzo otklanjanje kvara a takođe i brzo ospozobljavanje proizvodnje za nastavak rada. U poređenju sa klasičnim metodama detekcije kvara putem selektivnog uključenja potrošača, brzina detekcije u ovoj primeni je neuporedivo veća.

Standardni invertor u ovakvim situacijama obara napon i dozvoljava strujno preopterećenje za kratko vreme (što veća struja to kraće trajanje) [1]. U slučaju kratkog spoja na izlazu, on se isključuje trenutno. Zbog toga, standardni invertori nisu odgovarajući za ovu namenu. Potrebna je posebna realizacija prilagođena težini zahteva.

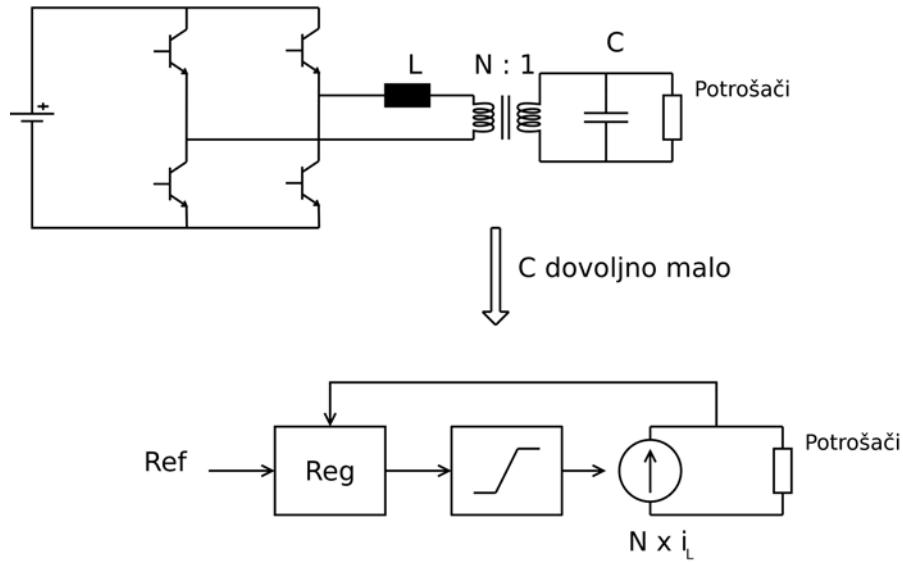
### 3. REALIZACIJA INVERTORA

Realizacija invertora koji će raditi u teškim radnim uslovima zahteva pretvaračku strukturu koja će biti u stanju da trenutno detektuje na ulazak u specijalni radni režim (ekstremno preopterećenje ili kratak spoj) i pravilno reaguje na njega. Energetika zahtevanog invertora je stoga izvedena na bazi topologije punog tranzistorског mosta sa impulsno-širinskom modulacijom [2] i transformatorom za prilagođenje naponskog nivoa (slika 2).

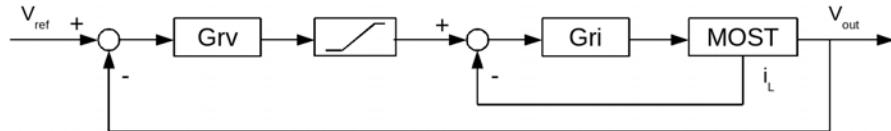
Kako bi se ostvarila brza regulacija, potrebno je obezbediti minimalna kašnjenja u energetici invertora. Idealna situacija bi bila ako bi se postiglo da upravljeni objekat (energetika invertora) ima oblik kontrolisanog strujnog izvora koji napaja potrošače, pri čemu bi se vrednost struje podešavala iz regulatora izlaznog napona. Poteškoća je u tome što se u kolu invertora nalaze dva akumulaciona elementa (filtarska prigušnica i kondenzator), i što je potrebno uraditi neke modifikacije kako bi se postigla željena struktura upravljanja.

Glavna modifikacija u odnosu na uobičajene sisteme realizacije se radi u konfiguraciji filtra mosta – koristi se mala vrednost filtarskog kondenzatora tako da zbog male kapacitivne struje koju on uzima, struja prigušnice koja se kontroliše je praktično slika izlazne struje (uz skaliranje preko glavnog transformatora) kao što je prikazano na slici 2. Osim toga, uvođenjem idealno-simetričnog limita na izlazu naponskog regulatora, postiže se aktivno ograničenje izlazne struje na programiranu vrednost u slučaju bilo kakvog preopterećenja ili kratkog spoja.

Upravljanje je izvedeno hibridno (kombinovano mikrokontrolerski i diskretno) sa dvostrukom upravljačkom strukturom (slika 3) - unutrašnja regulaciona petlja po struci prigušnice mosta i spoljašnja regulaciona petlja po izlaznom naponu potrošača. Unutrašnja strujna petlja je izvedena diskretno i obuhvata strujni regulator koji je predstavljen blokom sa oznakom Gri. Strujni regulator je realizovan primenom adaptivne histerezisne regulacije. Spoljašnja regulaciona petlja obuhvata naponski regulator (blok sa oznakom Grv) koji je realizovan kao standardni PI regulator.



Slika 2: Energetska šema invertora



Slika 3: Blok-dijagram upravljanja invertorom

Razlog za uvođenje histerezisne strujne petlje leži u tome što je moguće postići preciznu regulaciju oko zadate trenutne vrednosti referentne struje [2]. Visokofrekventni ripl koji se pri tome javlja je određen vrednošću histerezisa i u osnovnoj primeni izaziva rad sa promenljivom prekidačkom frekvencijom tranzistorskog mosta. Kako bi se to izbeglo, primenjen je sistem promenljive i programirane vrednosti histerezisa tako da se smanji varijacija prekidačke frekvencije invertora [3]. Funkcija promene histerezisa zavisi od vrednosti ulaznog jednosmernog napona i izlaznog napona invertora i ona je nelinearna. Zbog toga, programiranje histerezisa obavlja mikrokontroler na osnovu merenih većiličina. Pri tome, nije povećana složenost sistema jer je ionako potrebno meriti i izlazni napon (zbog regulacije i zaštite) i jednosmerni napon (zbog zaštite).

Naponska regulaciona petlja je izvedena hibridno: mikrokontroler generiše referentnu sinusoidu (poštujući zahteve za soft-start i sinhronizaciju), dok je regulator izveden u analognom obliku, pri čemu mikrokontroler utiče na parametre regulatora. Izlaz iz regulatora poseduje podesive aktivne simetrične limite, što obezbeđuje limitiranje struje prigušnice (odносно potrošača) na zadatu vrednost.

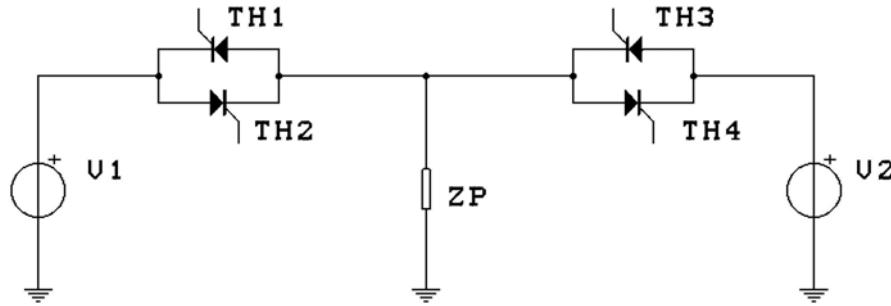
U cilju stabilne sinhronizacije na mrežu u toku rada invertora, odustalo se od uobičajenog načina sinhronizacije izlaznog napona invertora na mrežni napon [4]. Glavni problem je predstavljala mogućnost rada u kratkom spoju u kojem napon invertora nije sinusan a ni prolasci kroz nulu nisu jasno definisani. U takvom režimu nije moguće održati uobičajenu sinhronizaciju. Nasuprot tome, izabrano je da se na

mrežni napon synchroniše referentna sinusoida invertora. Time se omogućava da, čak i u režimu kratkog spoja, interni sistem ostaje sinhronizovan na mrežu tako da nakon čišćenja kratkog spoja se trenutno uspostavlja napon na potrošačima koji je jednak referenci, što znači da je sinhronizovan na mrežu. U slučaju potrebe da se brzo uradi prebacivanje napajanja potrošača na mrežni napon, prelaz će biti sinhron (bez naponske pauze).

#### 4. REALIZACIJA STATIČKE PREKLOPKA

Statička preklopka je realizovana primenom brzih poluprovodničkih prekidača (tiristora). Uz pravilno upravljanje, moguće je obezbediti prebacivanje napajanja potrošača sa jednog izvora na drugi bez naponske pauze, odnosno da pri tome pauza u napajanju ne bude duža od 2ms.

Osnovni zadatak statičke preklopke je da se, u slučaju nestanka primarnog izvora, na potrošače veže drugi izvor napajanja, a da pri tome nema prekida, i to pomocu tiristorskih prekidača. Na slici 4 je prikazana principijelna šema statičke preklopke sa antiparalelnim vezanim tiristorima prema svakom od izvora V1 i V2, koji predstavljaju mrežu i inverter.



Slika 4: Struktura staticke preklopke sa dva ulaza

Potrošač  $Z_p$  je napojen od strane izvora V1 tako što se tiristori Th1 i Th2 pale paketima impulsa, koji se generišu prema znaku napona V1 (u pozitivnoj poluperiodi se pali Th2 a u negativnoj Th1). U trenutku kada se napajanje potrošača prebacuje sa izvora V1 na izvor V2, paketi impulsa za paljenje se generišu za tiristore Th3 i Th4 uz istovremeno ukidanje impulsa za grupu tiristora koja je prethodno vodila. Ako je u stanju vođenja bio tiristor Th1, posle male pauze (približno 1ms) signale za paljenje dobija tiristor Th4. Takođe, ako je u stanju vođenja bio tiristor Th2, posle male pauze signale za paljenje dobija tiristor Th3. Ta mala pauza služi da se odmori tiristor koji je do tada vodio (da nestane nanelektrisanje oko centralnog PN spoja), odnosno da bi povratio svoja blokirajuća svojstva. To je neophodno, jer ako naponi izvora V1 i V2 nisu idealno jednaki, a po pravilu nisu, poteći će struja izjednačenja koja može uništiti tiristore.

U slučaju kvara jednog od ova dva naponska izvora, drugi odmah preuzima napajanje potrošača  $Z_p$  na napred opisani način. Pri tome se prisustvo napona izvora detektuje prema tome da li je:

- a) napon izvora u opsegu (185÷245) Vrms i
- b) učestanost izvora u opsegu (49÷51) Hz.

U normalnom režimu rada potrošači se mogu napajati sa strane invertora ili sa strane mreže.

Selekcija prioritetnog izvora se vrši pomoću prekidača i moguća je samo u slučaju postojanja sinhronizma invertorskog i mrežnog napona. U slučaju kvara vodećeg izvora statička preklopka će izvršiti prebacivanje napajanja na rezervni izvor bez obzira na stanje sinhro signala.

#### 4.1. Upravljanje i merenje

Da bi statička preklopka uspešno obavila prebacivanje napajanja ona mora pouzdano da raspolaže sledećim informacijama:

- Postojanje odredjenog izvora napajanja,
- Gubitak određenog izvora napajanja,
- Postojanje izlaznog napona,
- Stanje sinhronizma invertora sa mrežom,
- Polaritet struje tereta i
- Trenutna vrednost struje tereta.

Naponi raspoloživih izvora mere se pomoću naponskih transformatora. Ovi signali se preko niskopropusnih filtera i kola apsolutne vrednosti dovode na A/D ulaz mikroprocesora (slika 6).



Slika 6: Merno kolo za merenje napona

Frekvencija napona se meri tako što se isfiltrirani naponski signal preko histerezisnog komparatora dovodi na interapt ulaz mikroprocesora u obliku četvrtki koje reprezentuju znak sinusoide ulaznog napona (slika 7). Mikroprocesor kontinualno meri frekvenciju ulaznog napona i, ukoliko je ona u opsegu (49÷51)Hz u trajanju od 3s, smatra se da je frekvencija napona zadovoljavajuća i tada se prelazi na proces merenja napona. Perioda ulaznog napona se deli sa 80 i dobijeno vreme se uzima kao vreme uzimanja odbirka uobličenog naponskog signala. Na osnovu uzetih odbiraka se izračunava efektivna vrednost ulaznog napona. Ako je efektivna vrednost ulaznog napona u opsegu od (185÷245)V i to u trajanju od 3s smatra se da je dat izvor napajanja raspoloživ.

Na osnovu uzetih odbiraka statička preklopka u svakom trenutku ima informaciju o trenutnoj vrednosti napona izvora. Ukoliko je osam uzastopnih odbiraka manje od unapred definisanog fisknog praga smatra se da je došlo do gubitka napona posmatranog izvora. Pored ove „spore” detekcije gubitka napona postoji i brza detekcija gubitka napona INVERTORA koja je izvedena iz logičkog signala stanja invertora koji šalje sam invertor.

Merenje izlaznog napona je potrebno radi zaštite od otkaza pojedinih komponenti sistema. Ukoliko je vodeći izvor napajanja raspoloživ a na izlazu je detektovan gubitak napona, smatra se da je došlo do kvara na vodećoj liniji (npr. otkaz tiristora u toj grani ili njegovog upaljača) i statička preklopka prebacuje napajanje na rezervni izvor.

Naponi invertora i mreže se preko frekventnog mernog kola (slika 7) dovode na ulaze za prekid mikroprocesora koji meri njihov fazni pomeraj. Ako je fazni pomeraj

manji od  $500\mu\text{s}$  u trajanju od  $5\text{s}$  smatra se da postoji sinhronizam između posmatranih izvora.



Slika 7: Merno kolo za merenje frekvencije

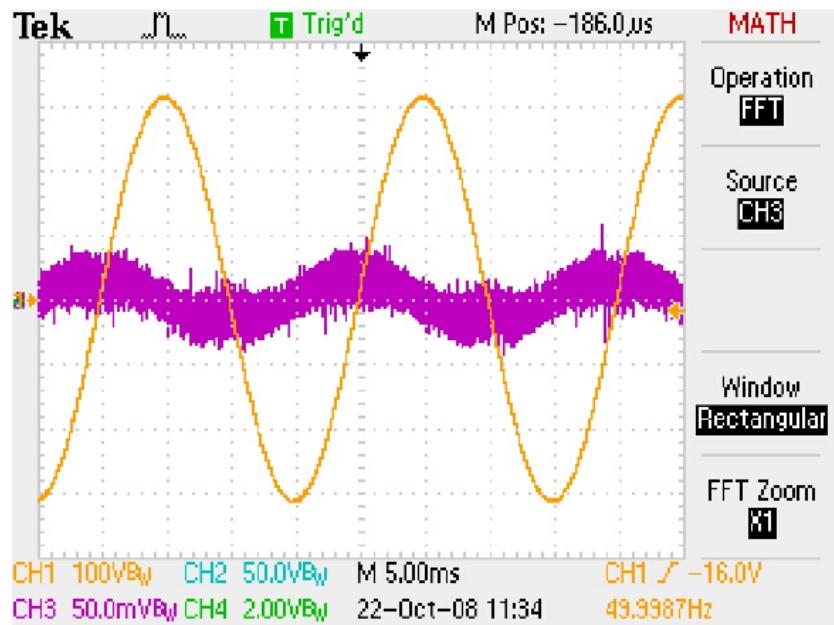
Struja potrošača se meri strujnim transformatorom i posebno izvedenim kolom za preciznu detekciju polariteta struje. Poznavanje trenutka prolaska struje tereta kroz nulu i njenog polariteta je važno za generisanje signala za paljenje tiristora u određenim radnim stanjima. Tipično se koriste merni strujni transformatori (MST) kod kojih greška merenja može biti neprihvatljivo velika pri malim vrednostima struja. Zbog toga se pribegava modifikaciji sekundarnog kola mernog transformatora čija je suština da se sekundarno kolo MST-a drži u kratkom spoju pri malim strujama, čime se postiže neutralizacija (preciznije, značajno smanjenje) struje magnećenja koja je pri malim strujama upravo osnovni izvor velike greške merenja.

Uobličeni signal struje tereta dovodi se na A/D ulaz mikroprocesora koji na svakih  $250\mu\text{s}$  uzima njegove odbirke. Poznavanje struje tereta je bitno radi detekcije preopterećenja invertora. U konfiguracijama gde je dozvoljen rad invertora u režimu kratkog spoja statička preklopka će za vreme trajanja preopterećenja zadržati napajanje potrošača na invertoru u trajanju od maksimalno  $12\text{s}$ , a u suprotnom će izvršiti prebacivanje potrošnje sa invertora na mrežu. Korismu je ostavljena mogućnost izbora vodećeg izvora napajanja potrošnje pri kratkom spoju na izlazu sistema. Kako pri kratkom spoju napon vodećeg izvora padne ispod donjeg praga, to se na osnovu poznavanja njegove trenutne vrednosti ne može zaključiti da li je vodeći izvor raspoloživ ili ne. U tom cilju potrebna je informacija o trenutnoj vrednosti struje tereta radi brze detekcije ispada ultrabrzog osigurača. Nakon detekcije ispada osigurača statička preklopka prebacuje napajanje potrošnje na rezervni izvor napajanja.

## 5. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U nekoliko elektrana je instaliran sistem besprekidnog napajanja iz familije MISP. U toku puštanja u rad na objektu su izvršena primopredajna ispitivanja, u toku kojih su rađeni eksperimenti u kojima je trebalo proveriti ispravnost rada sistema. Eksperimentalni rezultati su snimljeni osciloskopom i prikazani su na slikama 8-14.

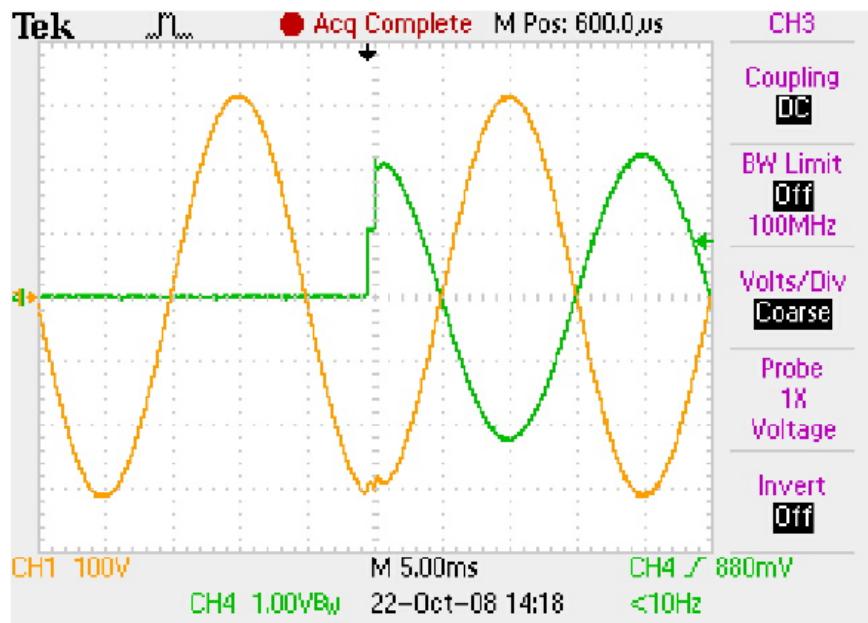
Slika 8 prikazuje talasni oblik napona izlaza sistema nominalne snage  $5\text{kVA}$  (žuta linija – CH1, skala grafika je  $100\text{V}$  po podeoku) i struje prigušnice (ljubičasta linija – CH3, skala grafika je  $50\text{A}$  po podeoku) u praznom hodu. Vidi se da je talasni oblik napona precizna sinusoida sa faktorom izobličenja manjim od  $1\%$  ( $\text{THDv}=0,45\%$ ). Struja prigušnice poseduje osnovni harmonik koja je fazno pomeren u odnosu na izlazni napon i visokofrekventni ripl čija je vrednost promenljiva, u skladu sa programiranom vrednošću.



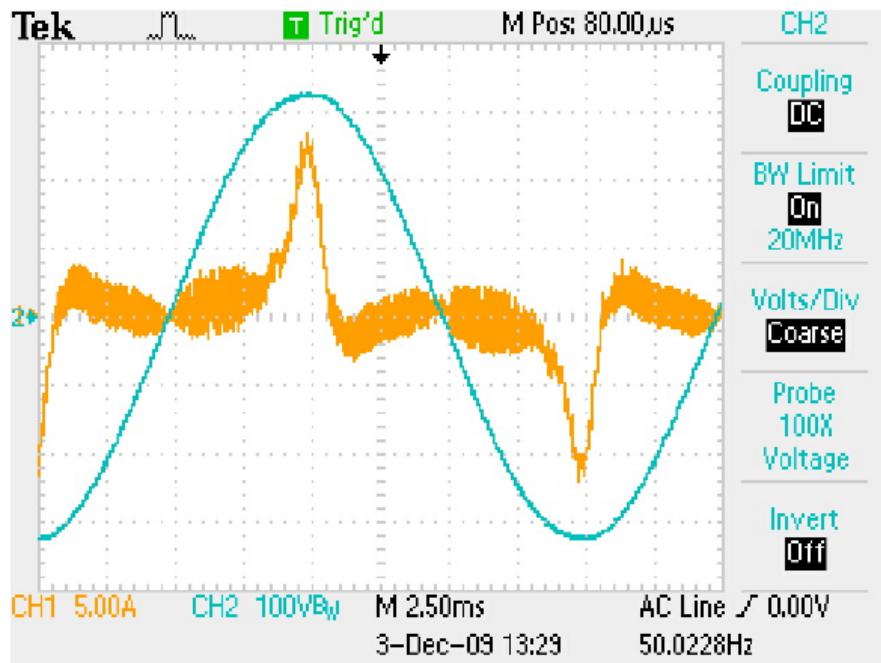
Slika 8:Talasni oblik napona invertora i struje prigušnice u praznom hodu

Na slici 9 je prikazan odziv izlaznog napona (žuta linija – CH1, skala grafika je 100V po podeoku) i struje opterećenja (zelena linija – CH4, skala grafika je 10A po podeoku) sistema nominalne snage 5kVA prilikom prelaska iz praznog hoda u omsko opterećenje od oko 4kW, što iznosi 80% nominalnog opterećenja. Vidi se da dolazi do zanemarljivo malog i kratkog poremećaja (trajanje tranzijenta je približno 2ms), nakon čega se dostiže uravnoteženo stanje.

Na slici 10 je prikazan talasni oblik napona (plavi trag) i struje (žuti trag) potrošača koji su napojeni iz invertora u sistemu nominalne snage 20kVA. Vidi se da je potrošač veoma nelinearan što je izraženo kroz velike i kratkotrajne udare struje opterećenje (“špicast oblik”). Stepen izobličenja struje potrošača iznosi THDi=61%. I pored veoma nepovoljne prirode potrošača, talasni oblik napona potrošača je ostao sinusan bez vidljivog izobličenja. Izmerene vrednosti pokazuju da je stepen izobličenja izlaznog napona i dalje ispod 1% (THDv=0,55%).

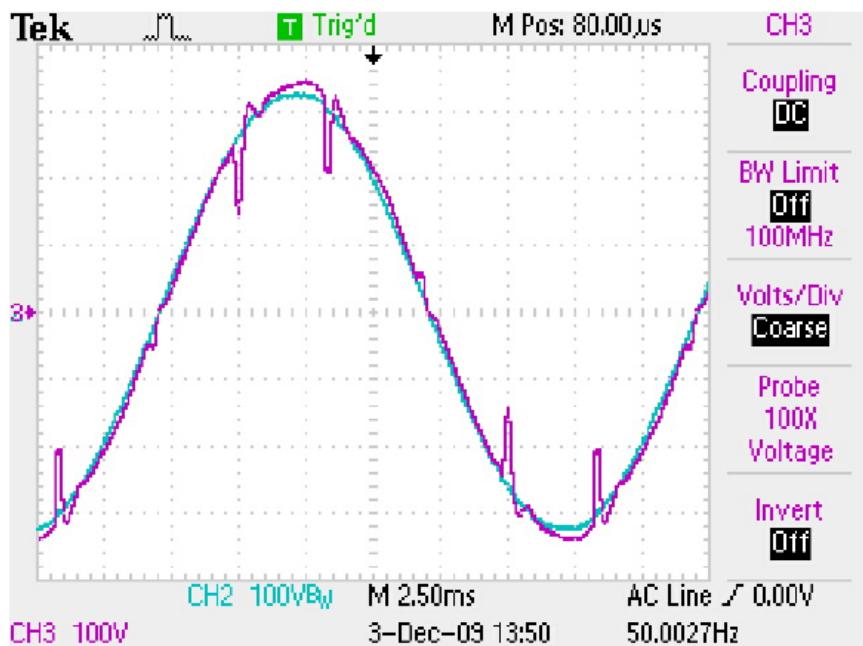


Slika 9: Odziv izlaznog napona pri opterećenju od 80% iz praznog hoda



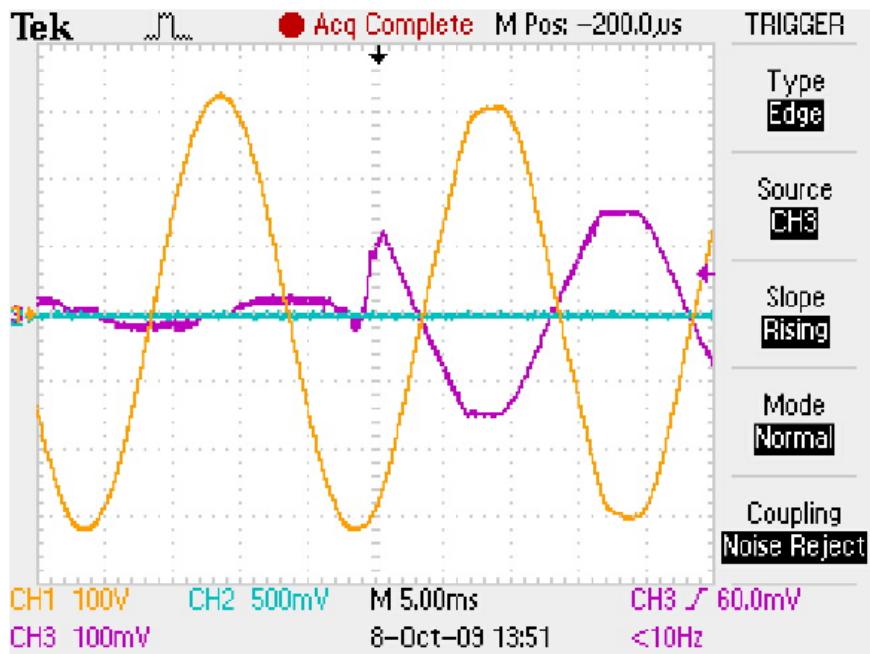
10: Talašni oblik napona i struje potrošača

Slika 11 pokazuje kvalitet sinhronizacije na mrežni napon. Specifičnost mesta instalacije je povremeno izobličenje mrežnog napona usled dejstva jednog tiristorskog ispravljačkog mosta velike snage čije dejstvo traje do 2 minuta, ali je pre instalacije UPS-a izazivao često ispadanje potrošača zbog izobličenja koje je prouzrokovao na napojnoj liniji. Ljubičasti trag pokazuje napon mreže sa velikim poremećajima koji su posledica komutacija u tiristorskom mostu. Plavi trag pokazuje napon potrošača koji nema nikakve poremećaje i pri tome održava istu frekvenciju kao mrežni napon i fazno je uskladen sa njim.



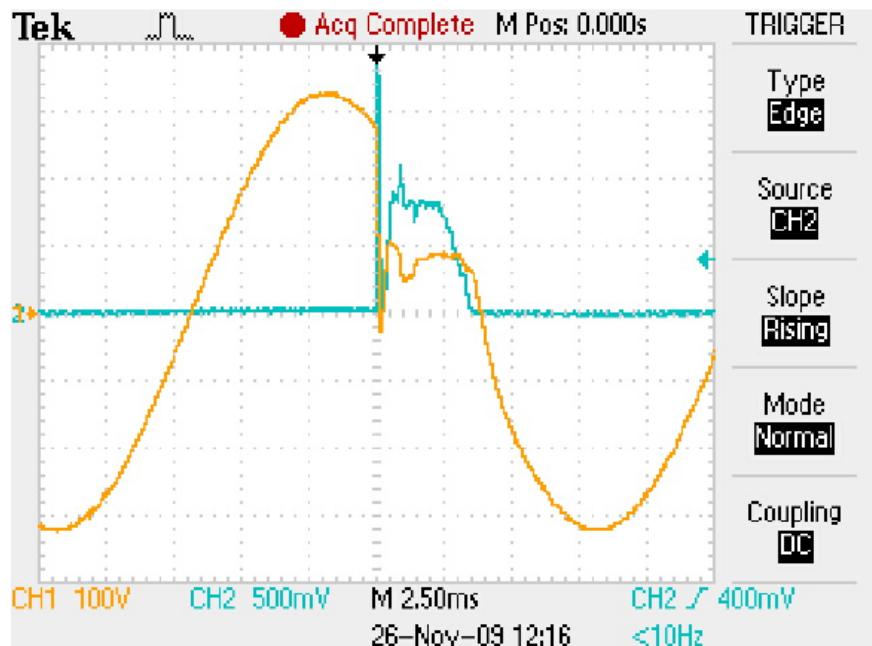
Slika 11: Prikaz sinhronizacije na izobličen mrežni napon

Slika 12 pokazuje delovanje statičke preklopke prilikom ispada invertora. Žuti trag pokazuje napon izlaza dok ljubičasti trag pokazuje struju mrežnog ulaza statičke preklopke. Trenutak prebacivanja je kada struja mrežnog priključka poraste (srednji deo snimka). Vidi se da napon potrošača ostaje stabilan, da je prebacivanje obavljeno bez naponske pauze, kao i da je sam proces preuzimanja trajao približno 1ms.



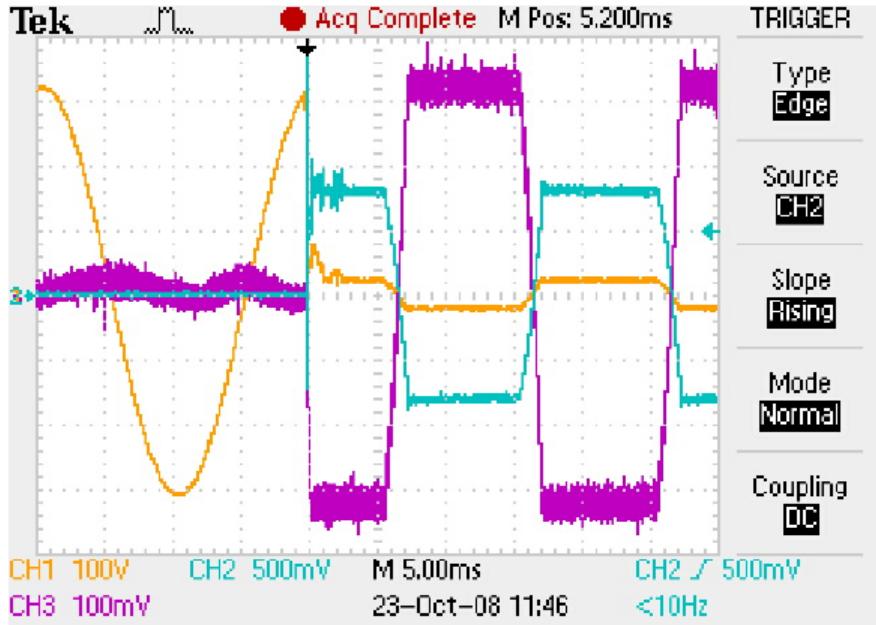
Slika 12: Prebacivanje napajanja potrošača na mrežu

Na slici 13 je prikazana pojava udaljenog kratkog spoja (impedansa kratkog spoja iznosi  $0.4\Omega$ ) na izlazu sistema nominalne snage 5kVA koji je prethodno radio u praznom hodu, a koja je očišćena delovanjem jednospolnog automatskog osigurača Z-tipa nominalne struje 6A. U trenutku pojave kratkog spoja struja izlaza se ograničava na vrednost od približno 80A usled čega napon izlaza pada na nisku vrednost. Automatski osigurač se nakon 2,5ms otvara i čisti kratak spoj. Trajanje prelaznog procesa iznosi približno 3ms, nakon čega se izlazni napon vraća u svoje normalno stanje.



Slika 13: Pojava i čišćenje kratkog spoja

Na slici 14 je prikazan odziv invertora kada se iz praznog hoda simulira udaljeni kratak spoj u postrojenju tako što je na izlaz invertora priključen omski otpor vrednost  $0,2\Omega$  preko prekidača za jednosmernu struju i bez osigurača. Napon je prikazan žutim tragom (CH1, skala grafika je 100V po podeoku) i on pada na neku malu vrednost koja je određena vrednošću otpora u potrošačkom kolu i limita izlazne struje. Struja prigušnice (ljubičasti trag – CH3, skala grafika je 100A po podeoku) je ograničena na 320A što, uz prenosni odnos glavnog transformatora, dovodi do ograničenja izlazne struje na 80A (plavi trag – CH2, skala grafika je 50A po podeoku) što je približno 3,5 puta veće od nominalne efektivne vrednosti struje uređaja. U takvom režimu invertor može da radi 12s, a ako se do tada ne otkloni kvar u potrošaču on se isključuje uz dojavu greške.



Slika 14: Odziv invertora na kratak spoj iz praznog hoda

## 6. INTEGRACIJA U SISTEM UPRAVLJANJA

U elektroenergetskim objektima, komunikacija između jedinica i DCS-a se obavlja po IEC 60870-5-104 standardu [5] koji zahteva komunikaciju putem ethernet mreže. Svaki uređaj ili grupa uređaja u okviru jedne funkcionalne grupe dobija svoju jedinstvenu mrežnu adresu i preko fizičkog medijuma komunicira sa master-jedinicom (DCS). Protokol za komunikaciju definiše oblik i sadržaj poruke koja najčešće sadrži informacije o radnim stanjima, mernim veličinama i izveštaje o greškama.

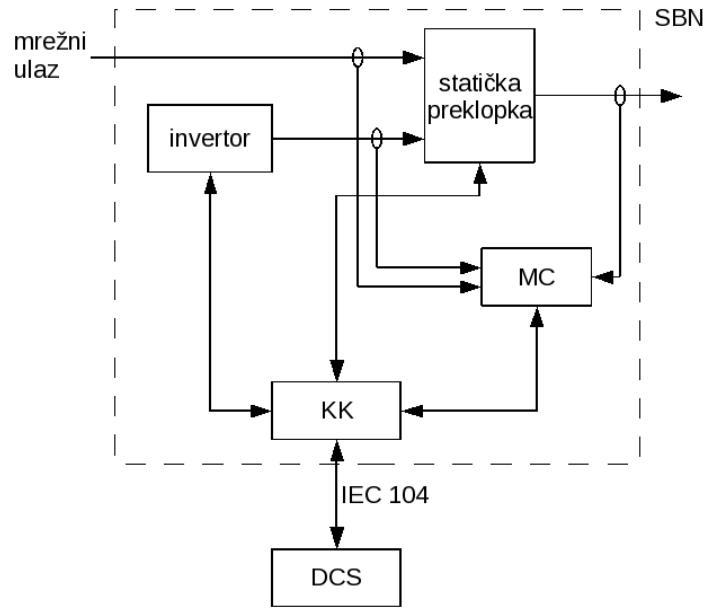
S obzirom da se SBN sastoji od dva odvojena uređaja, komunikacija sa DCS-om je rešena preko specijalizovanog kontrolera za komunikaciju [7], čiji je zadatak da prikupi sve relevantne podatke iz SBN-a i da ih potom prosledi ka DCS-u po zadatom protokolu.

Projektom je zahtevano da se šalju sledeće informacije:

- radno stanje invertora,
- detaljan izveštaj o grešci invertora (kada se javi),
- radno stanje staticke preklopke,
- detaljan izveštaj o staticke preklopke (kada se javi),
- efektivne vrednosti napona i frekvencije mreže, invertora i potrošača,
- struja mreže, invertora i potrošača,
- aktivne, reaktivne i prividne snage mreže, invertora i potrošača,
- faktori izobličenja napona i struje mreže, invertora i potrošača,
- fazni stav između napona mreže i invertora.

Realizacija sistema komunikacije je izvedena prema slici 15. Komunikacioni kontroler KK uzima podatke od invertora i staticke preklopke o radnim parametrima,

dok je za prikupljanje podataka o mernim veličinama upotrebljen specijalizovani merni centar (MC) koji meri napone i struje mrežnog ulaza, invertora i potrošača i formira tražene veličine, a zatim ih putem serijske veze prosleđuje komunikacionom kontroleru KK. Nakon obrade podataka, komunikacioni kontroler formira sopstvenu banku podataka iz koje, po zahtevu DCS-a kao master-jedinice, pravi poruku odgovarajućeg sadržaja i prosleđuje je DCS-u.



Slika 15: Blok-šema komunikacionog bloka

## 7. ZAKLJUČAK

U radu je opisana realizacija sistema besprekidnog napajanja sa posebnim zahtevima za rad u režimu kratkog spoja. Pokazano je da je to moguće izvesti, kao i da pri tome ne treba sprovesti posebne mere u energetici uredaja. Familija SBN-a je realizovana korišćenjem standardnih topologija i primenom pažljivo odabranih upravljačkih tehnika. Izvršena su testiranja uredaja sa ciljem provere ispravnog rada, a eksperimentalni rezultati koji potvrđuju ispravnost projektovanih ciljeva su pokazani. Zaključuje se da je realizovan SBN sa veoma malim izobličenjem izlaznog napona i sa veoma velikim strujnim kapacitetom za podršku preopterećenja i kratkog spoja. Pri tome, potrebno je izabrati komponente koje mogu podržati zahtev za povećanim strujnim kapacitetom a to, opet, znači povećanje cene uredaja. Međutim, zahvaljujući robustnoj realizaciji i povećanoj izdržljivosti sistema, dobijen je sistem sa povećanom otpornošću na promene u naizmeničnom razvodu kao i mogućnost lakog i brzog detektovanja tačnog mesta kvara.

## LITERATURA

- [1] A. King, W.Knight: "Uninterruptible Power Supplies and Standby Power Systems", McGraw-Hill 2003.

- [2] N.Mohan, T.Undeland, W.Robins: "Power Electronics, Converters, Applications and Design", John Wiley & Sons, 1995.
- [3] P. Ninković, "Nov metod strujne regulacije invertora za smanjenje izobličenja ", u elektronskom zborniku radova XIII međunarodnog savetovanja Energetska elektronika EE2005, Tema T4-5, rad broj 054, Novi Sad 02-04.11.2005.
- [4] Ž.Janda, P.Ninković, R.Đorđević, "Mikroprocesorski vođena statička preklopka", u zborniku 26. savetovanja JUKO CIGRE, rad R14-04, Banja Vrućica 25-30.05.2003.
- [5] P. Ninković, B. Jovanović, "Realizacija monofaznog invertora sa podrškom kratkog spoja u potrošaču", u zborniku radova 29. savetovanja CIGRE Serbia, rad B4-07, Zlatibor 2009.
- [6] INTERNATIONAL STANDARD IEC 60870-5-104, Telecontrol equipment and systems – Part 5-104: Transmission protocols – Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles
- [7] WAGO Programmable Filedbus Controller for Telecontrol Applications Datasheet

**Abstract:** Power plants often demand uninterruptible power supply (UPS) system to supply critical load. As modernization of plants is forwarding, specifications for UPS systems become more stringent and they include the load short-circuit support with output current limited long enough to clear the fault. After the fault is cleared, the power supply system continues with regular operation, synchronized to line voltage.

**Keywords:** *uninterruptible power system, inverter, static switch, hysteresis regulator, active current limiting.*

#### **DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SINGLE-PHASE UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM WITH LOAD SHORT-CURCUT SUPPORT MODE**

Predrag Ninković, Blagota Jovanović, Mladen Milošević, Tomislav Gajić  
*Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade*

**FALI SLIKA 5!**