

SUPSTITUCIJA ANALOGNOG UPRAVLJANJA TIRISTORSKIM ISPRAVLJAČEM DIGITALNIM KONTROLEROM

B.I.Jeftenić, M.Z.Bebić, D.S.Jevtić, M.M.Marković, S.Ž.Avramović,
Elektrotehnički fakultet, Beograd
S.B.Milosavljević, *Institut "Nikola Tesla", Beograd*

Sadržaj: U radu je prikazana mogućnost zamene analognog upravljačkog podsistema tiristorskog ispravljača, drugim koji je realizovan na bazi mikroprocesora. Analizom ove supstitucije pokazano je da ona na jednostavan, efikasan i ekonomičan način obezbeđuje potpunu zamenu postojećeg upravljačkog dela, ali omogućuje i funkcionalno poboljšanje čitavog sistema u koji je integrisan ispravljač, kako u pogledu upravljanja tako i u pogledu zaštite. Na ovaj način može se produžiti rok upotrebe ispravljača kod kojih je upravljački podsistem dotrajavao i tehnološki prevaziđen. U cilju ilustracije, izvršena je supstitucija postojećeg analognog upravljačkog sistema na dvokvadrantnom ispravljaču MINISEMI 389/60-43, Sever Subotica, digitalnim upravljačkim sistemom. Performanse ovako integrisanog ispravljača pokazane su na jednom regulisanom jednosmernom pogonu.

Ključne reči: tiristorski ispravljač / mikroprocesor / regulacija.

1 UVOD

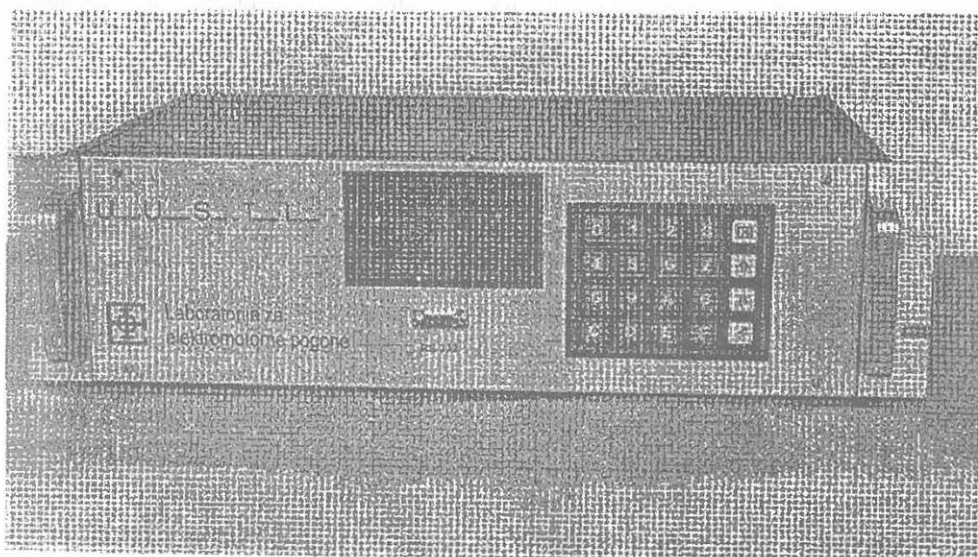
U okviru Inovacionog projekta pod nazivom "Univerzalni upravljački sistem za tiristorske ispravljače (UUSTI)", finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije, i uz saradnju sa firmom RDA, na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, u Laboratoriji za elektromotorne pogone, razvijen je mikroprocesorski sistem za upravljanje i zaštitu tiristorskih ispravljača. Uređaj je koncipiran tako da se može primeniti kod različitih ispravljača, nezavisno od namene, broja radnih kvadranta i snage [1,2,3]. Pri projektovanju upravljačkog sistema posebno smo imali u vidu potrebu za revitalizacijom velikog broja postrojenja koja u sebi sadrže tiristorske ispravljače. Kod većine postojećih ispravljača energetska deo je u dobrom funkcionalnom stanju sa mogućnošću korišćenja u dužem vremenskom periodu i u budućnosti. Međutim, upravljački delovi ovih postrojenja su na kraju svog funkcionalnog veka, a s obzirom na veliku disperziju korišćenih tehnologija vrlo ih je teško, u nekim slučajevima i nemoguće dalje održavati.

Eksperimentalne provere uređaja u jednoj od najsloženijih aplikacija, četvorokvadrantnom regulisanom pogonu, potvrdile su pretpostavljene mogućnosti [1,2]. Kako su ove probe vršene na laboratorijskom prototipu ispravljača, tj. pogona, napravili smo i drugi korak, primenili smo naš upravljački sistem na postojećem, dobro poznatom i u praksi široko zastupljenom SEVER-ovom ispravljaču, iz koga je napajan motor jednosmene struje sa nezavisnom pobudom.

2 REALIZACIJA UUSTI-a

UUSTI je smešten u industrijski 19-to inčni rek na devet kartica EVROPA formata. Centralni deo regulacionog sistema je intelov mikrokontroler 80C196 KC. U reku se pored mikroprocesorske kartice nalaze još i sklopovi za napajanje uređaja, zaštitu, sklop za sinhronizaciju impulsa sa mrežnim naponom, pojačavači impulsa i interfejs za prilagođenje mernih signala. Informacija potrebna za sinhronizaciju upaljačkih impulsa sa naponom mreže dobija se preko sklopa koji obezbeđuje galvansko odvajanje i prilagođenje signala po nivou i obliku. Upaljački impulsi koje generiše procesor pojačavaju se i vode na impulsne transformatore. Na taj način moguća je primena nezavisno od snage pogona. Veličine koje se mere mogu biti u analognom obliku (struje, napon, brzina sa tahogeneratora) ili digitalnom obliku (pozicija ili brzina sa inkrementalnog ili absolutnog enkodera). U cilju postizanja potpune pouzdanosti sistema u njega je integrisan blok zaštite. Funkcije ovog bloka su zaštita od prevelike struje, previsokog napona na jednosmernoj strani, prevelike brzine, zaštita od fazne nesimetrije, pregorevanja brzih tiristorskih osigurača, pregrevanja elemenata, a po potrebi je moguće dodati i druge zaštitne funkcije.

Na slici 1 je prikazan fizički izgled UUSTI-a. Na prednjoj ploči mogu se videti dvoredni LC displej, tastatura sa 20 tastera, kao i devetopinski priključak za serijsku vezu.



Sl. 1. Fotografija UUSTI-a.

Mikrokontroler izvršava posebno razvijen software, koji osim regulacionih i zaštitnih rutina, [1, 3] sadrži i korisnički interfejs. UUSTI-om se upravlja pomoću sistema menija, kroz koje se korisnik kreće pomoću četiri tastera: Gore ↑, Dole ↓, Prihvati (Enter) ↵ i Poništi (Escape) ⌫. Osim ovih tastera, posebne funkcije dodeljene

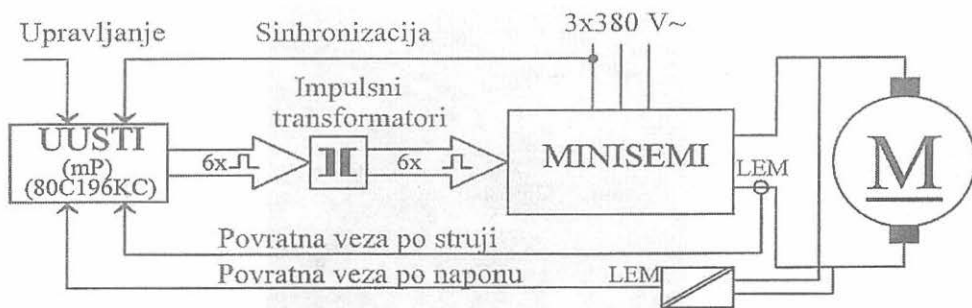
su i postojećim slovnim znacima sa tastature, za pozivanje najčešće korišćenih komandi. Brojni parametri mogu se zadavati direktnim unošenjem, kao i izborom jedne od ponuđenih vrednosti. U trenutno aktuelnoj verziji software-a, kroz sistem menija se mogu menjati parametri radnog ciklusa, i unositi parametri opterećenja ispravljača, dok se svi ostali podešivi parametri sistema (nivoi reagovanja zaštita, parametri svih regulatora, konfiguracija upravljačkog sistema - pozicioni ili brzinski servo ili strujno napajanje) mogu menjati samo posle unošenja šifre. Svi parametri dostupni kroz sistem menija mogu se menjati i slanjem odgovarajućih poruka serijskom vezom. U toku je izrada Windows programa koji će na pregledan način omogućiti konfigurisanje sistema i podešavanje njegovih parametara pomoću PC računara.

3 SUPSTITUCIJA UPRAVLJAČKOG PODSISTEMA ISPRAVLJAČA

Pvi korak u postupku supstitucije postojećeg upravljačkog podsistema univerzalnim digitalnim upravljačkim sistemom, je utvrđivanje dodirnih tačaka između njega i celog sistema kojim se želi upravljati, a u koji je uključen i tiristorski ispravljač. Ove dodirne tačke mogu se podeliti u dve grupe, u prvu grupu spadaju veze sa samim ispravljačem koji je izvršni organ regulatora, tj. aktuator, a u drugu grupu možemo svrstati veze preko kojih regulator dobija informacije o stanju u sistemu. UUSTI se sa ispravljačem povezuje preko impulsnih transformatora, čime se obezbeđuje neophodna galvanska izolacija elektronskog sklopa od energetskog dela sistema. Kod supstitucije mogu se koristiti postojeći impulsni transformatori, bez obzira na snagu postrojenja, jer su projektovani impulsni pojačivači UUSTI-a dovoljno snažni. U slučajevima gde impulsni transformatori ne postoje, ili se iz nekih razloga ne mogu koristiti, moraju se predvideti novi, što ne bi bitno povećalo složenost cele konstrukcije, niti bi značajno uticalo na cenu. Maksimalan broj impulsnih izlaza iz UUSTI-a je 2×6 , međutim u posmatranoj supstituciji korišćeno je samo šest, s obzirom da se radi o ispravljaču sa jednim trofaznim mostom. Takođe, u ovom slučaju nismo mogli da koristimo postojeće impulsne transformatore, jer bi to zahtevalo velike intervencije na originalnoj štampanoj ploči, što nismo hteli da radimo, već smo dodali šest novih impulsnih transformatora.

Vrsta i broj veza preko kojih UUSTI dobija informacije o stanju u sistemu zavisi od željenog načina upravljanja i vrste zaštite koja se želi obezbediti. Kod nekih od ovih veza, moraju se koristiti davači ili senzori sa obaveznim galvanskim izolovanjem. Međutim, kod informacije za sinhronizaciju galvansko izolovanje je obezbeđeno u samom uređaju, što je slučaj i kod nekih zaštita. U ovim slučajevima naponski nivo izolovanosti odgovara standardnim naponima napajanja od 380 V.

Na sl. 2 prikazan je blok dijagram kojim je ilustrovan princip supstitucije UUSTI-a u sistem. Sa ove slike takođe, može se videti da je u posmatranom slučaju primenjena regulaciona struktura sa povratnim vezama po naponu i struji ispravljača, tj. indukta motora.

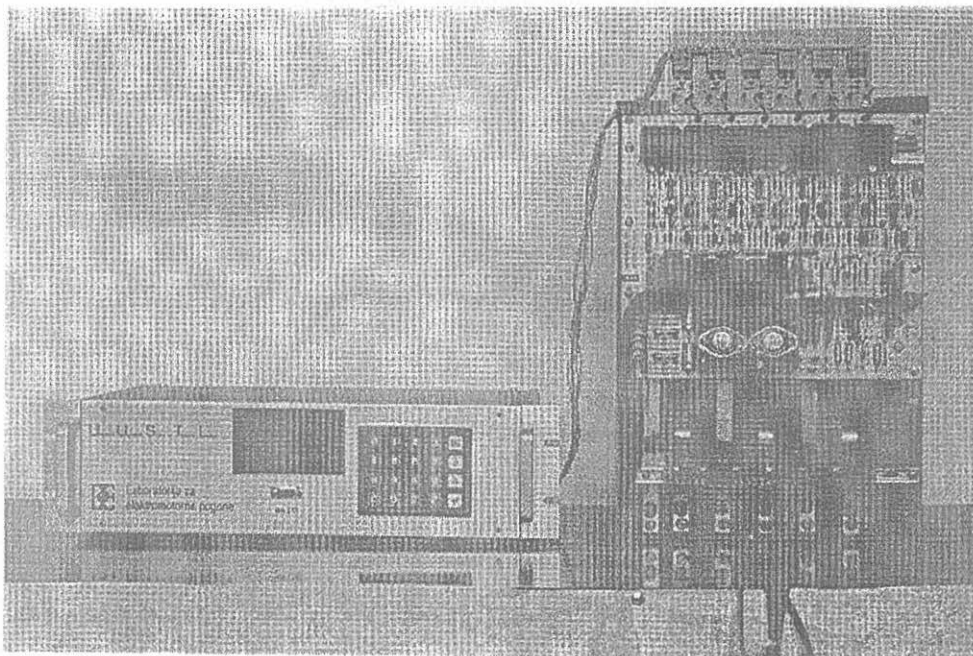


Sl. 2 Princip supstitucije upravljačkog sistema

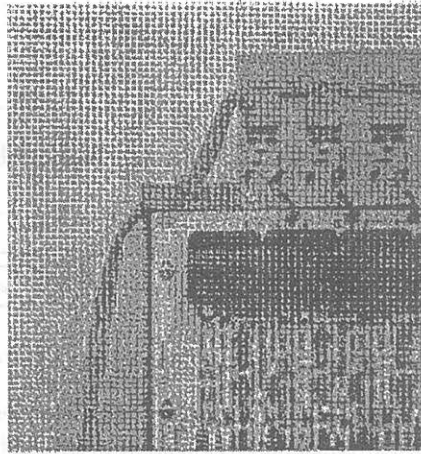
Povratne veze ostvarene su pomoću LEM davača napona i struje. Ove informacije omogućavaju istovremeno i realizaciju prekostrujne i prenaponske zaštite. Zaštita od nestanka faze (fazne nesimetrije) obezbeđena je preko trofaznog priključka za sopstveno napajanje UUSTI-a. Informacije za funkcionisanje drugih zaštita moraju se dovesti do uređaja na predviđeni način.

4. PRIKAZ REZULTATA SUPSTITUCIJE UUSTI-a

Na sl. 3 prikazan je izgled UUSTI-a zajedno sa ispravljačem. Na slici, zbog preglednosti nisu prikazani LEM davači za realizaciju povratnih veza, kao ni sam motor. U ovoj postavci, korišćeni su strujni modul LEM LT200s, naponski modul LEM LV 400-100 i jednosmerni motor sa nezavisnom pobudom, snage 5kW, 220V, 28A i nominalne brzine 1500o/min.



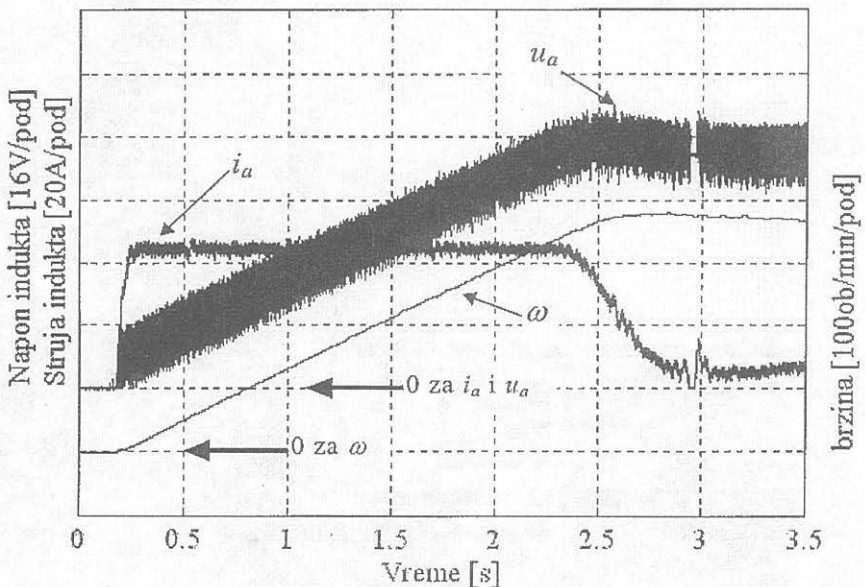
Sl. 3. UUSTI povezan sa ispravljačem.



Sl. 4. Uvećan detalj sa Sl. 3: jedna od dodirnih tačaka povezivanja UUSTI-a.

Slika 4 pokazuje uvećan detalj jedne od dodirnih tačaka između upravljačkog dela, odnosno UUSTI-a i aktuatora u sistemu kojim se želi upravljati, tj. ispravljača. Prikazane su veze do impulsnih transformatora. Na slici možemo videti da ovakva zamena analognog upravljačkog sklopa ne zahteva rekonstruktivne zahvate na postojećem uređaju, čak je moguća ugradnja paralelno sa postojećim upravljačkim podsistemom.

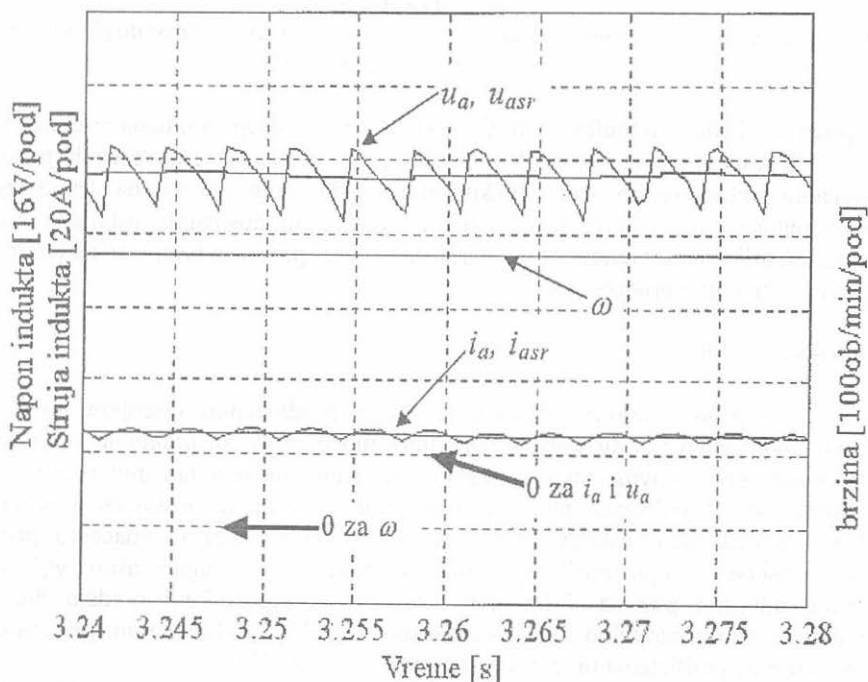
Na prikazanoj i opisanoj aparaturi napravljano je i nekoliko eksperimenata da bi se prikazale osobine i mogućnost UUSTI-a. Slike su snimane pomoću digitalnog višekanalnog osciloskopa realizovanog pomoću PC računara i akvizicione A/D kartice. Propusni opseg na 386-40MHz računaru za tri kanala je 3 kHz.



Sl. 6. Zaletanje pogona do brzine 375 o/min.

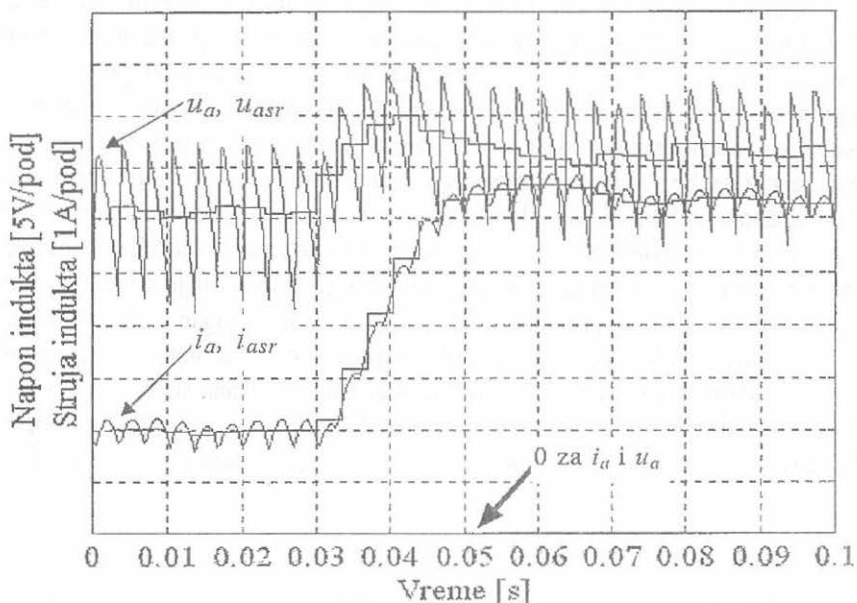
Na slici 6. prikazano je zaletanje pogona do četvrtine nominalne brzine (375 o/min). Dinamika porasta brzine određena je podesivim parametrom - nagibom soft-starta. Strujni limit, čija se vrednost takođe može nezavisno podešavati, nije dostignut. Iako UUSTI ima više mogućnosti za merenje brzine (tahogenerator, inkrementalni i apsolutni enkoder), u ovoj aplikaciji želeli smo da pokažemo mogućnost regulacije brzine bez senzora. Informacija o brzini dobijena je filtriranjem trenutne vrednosti napona indukta. Ovaj jednostavan način regulacije brzine dovoljno je tačan za pogone kojima nisu potrebne visoke performanse ili regulacija pozicije. Informacija o brzini prikazana na slici, dobijena je pomoću tahogeneratorsa, ali je dovedena samo na akvizicioni sistem, da bi se primenjeni algoritam upravljanja mogao adekvatno oceniti.

Na slici 7 prikazani su talasni oblici napona i struje na motoru, u stacionarnom stanju, pri zadatoj brzini od 375 o/min. Na istoj slici prikazane su i srednje vrednosti ovih veličina, dobijene digitalnim filtriranjem (FIR filter 16-og reda) koje procesor koristi u regulacionim rutinama. Signal brzine sa tahogeneratorsa takođe je prikazan na slici 7.



Sl. 7. Talasni oblici napona i struje motora u stacionarnom stanju.

Na slici 8 prikazane su karakteristične veličine sistema, pri naglom povećanju referentne struje, za slučaj kada je UUSTI konfigurisan za strujno upravljanje, tj. regulacioni sistem sačinjava samo PI regulator struje. Sve zaštitne funkcije su aktivne.



Sl. 8. Talasni oblici napona i struje motora u toku prelazne pojave naglog povećanja struje - strujno upravljanje

Na prikazanoj slici u trenutku $t = 0,03$ s zadata je nagla (step) promena referentne struje, sa $i_{aref} = 2$ A na vrednost $i_{aref} = 6,5$ A. Zahtevana promena struje dovedeće do postepenog povećanja brzine pogona. Kontraelektromotorna sila motora deluje na strujni regulator kao poremećaj, što izaziva malu statičku grešku, do dostizanja ustaljene vrednosti brzine. Za prikazanu vremensku razmeru (0,01s/pod) promena brzine se ne može uočiti, pa kriva brzine nije prikazana na slici.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženog jasno je da se predloženim rešenjem univerzalnog upravljačkog sistema za tiristorske ispravljače može upravljati praktično svim tipovima ispravljača, kako novim tako i postojećim. Dobijeni rezultati potvrđuju izvedeni zaključak, jer je pokazana mogućnost potpune supstitucije postojećeg upravljačkog sistema. Korišćenjem ostalih mogućnosti UUSTI-a moguće je značajno proširenje performansi ne samo postojećih ispravljača, u pogledu upravljanja i zaštite, već i čitavog sistema, odnosno pogona. Primenjeni koncept pri konstrukciji uređaja dozvoljava njegovu ugradnju paralelno sa postojećim upravljačkim podsistemom, pri čemu bi se izbor aktivnog podsistema mogao savim jednostavno izvršiti.

Korišćenje mogućnosti komunikacije preko tastature i displeja, i (ili) interfejsa RS-232 pruža mogućnosti ugodnog i fleksibilnog upravljanja, kao i prikupljanje niza informacija o stanju u celom sistemu. Korišćenjem standardnih komponenti i rešenja u konstrukciji uređaja obezbedene su karakteristike važne za praktičnu primenu, niska cena, jednostavno održavanje i ugradnja. Moramo istaći da je mikroprocesorska kartica posebno projektovana za ovu i slične namene, i da predstavlja originalno rešenje autora ovoga rada.

Pored navedenih primena već su izvršene analize i eksperimenti vezani za primenu UUSTI-a za upravljanje pobudom i kompletnim procesom asinhronog starta velikih sinhronih motora. U daljem radu iskoristićemo mogućnosti postojećeg hardvera, i razvojem potrebnog softvera omogućićemo proširenja područja primena UUSTI-a na faznu regulaciju naizmeničnog napona, sa antiparalelnim tiristorima. Ovo će imati primenu kod velikih asinhronih motora, za "meko" startovanje, ograničeno upravljanje brzinom, bezkontaktnu promenu smera obrtanja i optimizaciju iskorišćenja.

LITERATURA:

- [1] S.Milosavljević, B.Jeftenić, M.Gvozdrenović, M.Bebić, Jednosmerni pogon sa mikroprocesorski upravljanim tiristorskim pretvaračem, *Zbornik radova, VIII Simpozijum Energetska elektronika Ee'95.*, Novi Sad, Sep. 1995. pp 404-410
- [2] S.Milosavljević, B.Jeftenić, A.Nikolić, D.Jevtić, Upravljanje pogonom za pozicioniranje sa stalnim trzajem, *Zbornik radova, Tesla III milenijum, Peta međunarodna konferencija*, Beograd, 15-18. Oktobar 1996., pp.II-135 do II-140.
- [3] B.Jeftenić, M.Bebić, S.Milosavljević, "Početni uslovi digitalnog strujnog regulatora četvorokvadratnog regulisanog ispravljača u trenutku promene aktivnog mosta", objavljeno na ETRAN-u 97, Zlatibor, 3-6. juna 1997.

Abstract: This paper presents the replacement possibility of the thyristors rectifier analog subsystem, with the one based on a microcontroller. Analyses of this substitution proves it to be simple, effective, and inexpensive solution for a total replacement of the existing control logic in the thyristors rectifier system. In addition, it can serve as a functional improvement of the system, in its dynamic performance and characteristics, as well as the protective capabilities. The substitution can lengthen the life of the rectifiers with the control system being degraded and technologically outdated. To illustrate the possibilities, an existing analog control subsystem on a two-quadrant rectifier MINISEMI 389/60-43, Sever, Subotica, was replaced by a digital control system. Performance of the assembled rectifier was evaluated on a controlled DC drive.

TITLE: SUBSTITUTION OF THIRISTORS RECTIFIER ANALOG CONTROL SUBSYSTEM WITH DIGITAL CONTROLER

B.I.Jeftenić, M.Z.Bebić, D.S.Jevtić,
M.M.Marković S.Ž.Avramović,
S.B.Milosavljević