

GRUPA B4: HVDC I ENERGETSKA ELEKTRONIKA

IZVEŠTAJ STRUČNIH IZVESTILACA

P. PEJOVIĆ¹, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd
V. KATIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

SRBIJA

Studijski komitet B4 - Jednosmerni prenos i oprema energetske elektronike (STK B4) prezentira rezultate svoje aktivnosti - referate iz oblasti primene uređaja energetske elektronike u elektroenergetskim sistemima. Uspešan rad, bogata diskusija i veliko interesovanje, koje je ova problematika izazvala na prethodnim savetovanjima navele su ga da za XXIX Savetovanje CIGRE SRBIJA predloži tri preferencijalne teme:

1. Prenos jednosmernom strujom (HVDC) i fleksibilni sistemi naizmenečne struje (FACTS)

- radne karakteristike postojećih HVDC sistema, modernizacija postojećih HVDC sistema i primena tehnika održavanja orijentisanih ka povećanju pouzdanosti rada,
- studije izvodljivosti novih HVDC projekata,
- kriterijumi za planiranje, projektovanje i pouzdanost novih HVDC projekata, uključujući sposobnost preopterećenja i tržišne aspekte,
- praktična iskustva sa korišćenjem povratne veze kroz zemlju i problemi projektovanja i održavanja uzemljivačke elektrode,
- novi razvoj; novi HVDC i FACTS projekti.

2. Primena energetske elektronike i inovacije u novim oblastima

- razvoj novih poluprovodničkih prekidača, pogodnih za srednji napon,
- distribuirani sistemi,²
- kvalitet električne energije (uticaj energetskih pretvarača),
- distribuirana proizvodnja i primena pretvarača (elektrane na vetar, solarne elektrane, mikro i mini hidroelektrane, elektrane na biogas i biomasu),²
- primene u jednosmernim distributivnim mrežama za urbane sredine (light HVDC).

¹ Prof. Dr Predrag Pejović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 11000 Beograd, Bul. kr. Aleksandra 73, peja@etf.bg.ac.yu

² U saradnji sa STK A1 i STK C6

3. Sistemi energetske elektronike

- sistemi za besprekidno napajanje transformatorskih stanica, elektrana i dispečerskih centara,
- energetske pretvarači i regulatori za elektroprivredna postrojenja,
- statički kompenzatori,
- koncepcija, realizacija i ispitivanje opreme energetske elektronike, uključujući upravljanje i zaštitu,
- upotreba energetskih pretvarača na srednjenaponskim nivoima, za besprekidni transfer napajanja i elektromotorne pogone,
- primena energetske elektronike u smanjenju ekološkog uticaja energetskih objekata.

Studijski komitet je imenovao sledeće recenzente: dr Sašu Milića, dr Aleksandra Nikolića, dr Vladimira Vukića, mr Jasnu Dragosavac, Predraga Ninkovića, Savu Dobričića, Rajka Proleta i dr Žarka Jandu. Za svoje stručne izveštioce Studijski komitet je imenovao prof. dr Predraga Pejovića i prof. dr Vladimira Katića.

U predviđenom roku za prijem radova prispelo je ukupno 11 radova. Nakon recenzije i diskusije na Studijskom komitetu, 10 radova je prihvaćeno za izlaganje kao referati u okviru sesije studijskog komiteta B4 na 29. savetovanju CIGRE SRBIJA.

Studijski komitet je 3 referata svrstao u drugu preferencijalnu temu, 7 u treću preferencijalnu temu, dok za prvu preferencijalnu temu nije bilo prijavljenih referata. U pripremanju ovog izveštaja stručni izveštioći su se koristili zapažanjima, komentarima i pitanjima recenzenata, na čemu im posebno zahvaljuju.

Referat B4-01

ANALIZA UTICAJA RADA FREKVENTNIH PRETVARAČA NA PARAMETRE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Autori: A. Nikolić, V. Ćuk

U radu je analiziran uticaj rada savremenih frekventnih pretvarača na napojnu mrežu praćenjem parametara kvaliteta električne energije. Obzirom na sve veću primenu regulisanih elektromotornih pogona u industriji, od interesa je ispitati njihov uticaj na napojnu mrežu naročito sa aspekta povećanog sadržaja viših harmonika koji su posledica načina rada ovih uređaja (veliki broj operacija prekidača u invertoru reda 2kHz i više). Prikazani rezultati su dobijeni merenjima na pogonima različitih proizvođača primenjenim u različitim industrijskim aplikacijama (pogon kompresora u rafineriji i pogon dizalice za paletiranje u industriji cementa). U oba slučaja je izvršeno merenje potrošnje i sadržaja viših harmonika u naponu i struji napajanja i analiza prema važećem evropskom standardu o kvalitetu električne energije EN 50160.

Pitanja za diskusiju:

1. *Frekventni regulator snage 10 kW u prvom slučaju napaja motor koji, prema nominalnoj struji verovatno ima nazivnu snagu 7,5 kW. Zašto se start motora vrši direktnim priključenjem na frekventni regulator, a ne koristi se neka od naprednijih tehnika vektorske kontrole, koja bi omogućila start potpunim momentum pri mnogo manjoj struji statora?*
2. *Da li (u drugom razmatranom slučaju) 30-ti harmonik napona na mestu priključenja može biti potisnut na zadovoljavajući način povećanjem vrednosti prigušnice u jednosmernom međukolu pretvarača?*
3. *Da li postoji još neki drugi, jeftiniji, način za povećanje broja impulsa ispravljača u jednoj periodi mrežnog napona, osim upotrebe dva jednaka trofazna šest impulsa pretvarača uz odgovarajući tronamotajni transformator?*

Referat B4-02

UTICAJ RADA ENERGETSKIH PRETVARAČA VELIKE SNAGE NA KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE NA NISKONAPONSKOM NIVOU OBJEKATA PK“KOLUBARA“ LAZAREVAC

Autori: N. Stevanović, M. Tišma, A. Dimitrijević

Sve veći broj rudarskih objekata na površinskim kopovima Kolubare opremljen je energetskim pretvaračima za napajanje i upravljanje elektromotornim pogonima velikih snaga. Nekada su to bili tiristorski ispravljači za jednosmerne elektomotorne pogone, zatim u nešto manjoj meri tzv. softstarteri a danas se skoro isključivo koriste frekventni regulatori (kod novih i revitalizovanih objekata). Primena ovih uređaja nosi sa sobom, pored dugog niza značajnih prednosti, i nedostatak izobličenja napona napajanja i drugih parametara kvaliteta električne energije. U ovom radu biće prezentovani rezultati merenja parametara kvaliteta napajanja dobijeni na jednom takvom objektu na više naponskih nivoa.

Pitanja za diskusiju:

1. *Na strani 5 gde je dat komentar rezultata harmonijskog sastava napona sa slike 6 se govori o dominantnim harmonicima. Da li su njihove vrednosti veće od granica definisanih standardom ili su oni samo veći od ostalih harmonika ?*
2. *Na strani 7, gde su dati podaci o ukupnim harmonijskim izobličenjima napona, postoji značajna razlika između vrednosti THD faktora međufaznih napona (za AB i CA j ereda 17% dok je za BC 4,5%). Da li je reč o značajnom uticaju nekog monofaznog potrošača ili je u pitanju način rada pretvarača pogona radnog točka ?*
3. *U radu je pokazano da nema uticaja na sadržaj viših harmonika na 6 kV nivou, ali se vidi da su pojedine vrednosti na niskonaponskom nivou veće od granica određenih standardima. Da li ima podataka o graničnim izobličenjima koje daju proizvođači frekventnih regulatora i ako da, da li su merene vrednosti bliske ili veće od tih vrednosti ?*

Referat B4-03

KLASIFIKACIJA MALIH POTROŠAČA ZA ANALIZU VIŠIH HARMONIKA

Autori: S. Mujović, V. Katić, J. Radović

Predmet interesovanja ovog rada su potrošači malih snaga (struje do 16 A), koji svoju primjenu uglavnom nalaze u domaćinstvima, obrazovnim institucijama i poslovnim objektim. Najčešće, ovi potrošači imaju specifične režime rada (kao što je npr. prekidački režim rada kod računara), koji uslovljavaju da generisani harmonijski spektri struja budu bogati višim harmonicima. Iako su razmatrani potrošači malih snaga (reda do nekoliko stotina W), njihova velika zastupljenost, kao i visok faktor jednovremenosti korišćenja (npr. klima uređaja), čine ih veoma respektabilnim u pogledu uticaja na kvalitet električne energije.

U ovom radu je predložen nov način klasifikacije potrošača malih snaga uzimajući kao kriterijum vremenski oblik struje koju angažuju iz sistema. Za svaku od izdvojenih kategorija ovih potrošača, dat je adekvatan matematički model (matematička relacija), koji opisuje razmatrani talasni oblik struje. Model je verifikovan mjerenjem u laboratoriji, odnosno upoređivanjem vrijednosti harmonijskog spektara dobijenih na bazi modela, sa harmonijskim spektrima realnih (mjerenih) struja nekih malih potrošača (računara i klima uređaja).

Ovakav pristup je pogodniji za praktičnu primjenu od ranije poznatih, jer omogućava dobijanje informacije o nivou viših harmonika, bez poznavanja unutrašnje konstrukcije uređaja. Takođe, modelovanje uticaja grupa ovakvih potrošača (na pr. grupe računara u računarskom centru) na nivo viših harmonika se može adekvatnije procijeniti.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Da li su merene vrednosti iz Tabele 1 pomenuta merenja u laboratoriji ili su to dijagrami iz standarda?*
- 2. Na osnovu kojih polaznih osnova su izvođene pojedine relacije kojima se definiše talasni oblik struje potrošača i odakle su preuzeti empirijski parametri?*
- 3. Kolika se procentualna greška javlja između merenja i simulacije? Da li je ona ista ili približna za sve harmonike ili se za svaki razlikuje?*
- 4. U čemu se ogleda značajnija razlika između izmerene i simulirane vrednosti 13-tog harmonika iz Tabele 3?*

Referat B4-04

REKONSTRUKCIJA ISPRAVLJAČA UPOTREBOM MIKROKONTROLERA

Autori: D. Vičić, V. Vučković, S. Hodža

Rad opisuje koncept rekonstrukcije postojećih tiristorskih ispravljača sa diodnim nizom upotrebom programibilnog logičkog mikrokontrolera, Rekonstrukcija podrazumeva ugradnju mikrokontrolera, panoa sa LCD displejom i alfanumeričkom tastaturom, upravljačke elektronike modularnog tipa, ploče analogne elektronike, prilagođenje ulazno izlaznih signala, temperaturne kompenzacije i slično. Upotrebom programibilnog logičkog mikrokontrolera ispravljač postaje

„univerzalni“. Memorijski sklop mikrokontrolera sadrži tačno zadate parametre i režime rada za sve vrste stacionarnih akumulatorskih baterija koje se nalaze u eksploataciji. Odabirom tipa baterije iz menija mikrokontrolera i izborom ponuđenog režima rada postavljaju se parametri punjenja baterije i podešenja zaštita. Rukovanje jednim ovakvim „univerzalnim“ ispravljačem je veoma jednostavno i ne zahteva angažovanje specijalizovanih i usko stručnih izvršilaca.

Pitanja za diskusiju:

1. Zašto je važno da ispravljač bude univerzalan, sa stanovišta elektroenergetskih objekata?
2. Da li je moguće pogodno implementirati funkciju nadzora stanja baterije i kako?
3. Kakav je način povezivanja sa lokalnom SCADA-om predviđen (Modbus, Profibus, Ethernet ...)?

Referat B4-05

ANALIZA RADA TROFAZNOG TIRISTORSKOG NAPAJANJA ELEKTROSTATIČKIH FILTERA

Autori: I. J. Stevanović, R. Đ. Prole, D. N. Jevtić, B. Ostojić, D. B. Arnautović

U radu je prikazana analiza rada trofaznog tiristorskog napajanja elektrostatičkog filtra. Data je električna šema energetskog kola ove vrste napajanja. Modelovan je elektrofilter i pojava proboja u njemu. Izvršen je proračun karakterističnih veličina i poređenje jednofaznog i trofaznog napajanja. Pokazano je kako se ponaša elektrofilter napojen iz trofaznog izvora pri probouju između elektroda. Zatim je urađena optimizacija potrebnog vremena za detekciju proboja i trajanja pauze u vođenju tiristora posle proboja. Za proračun su korišćeni podaci dobijeni sa elektrofiltera bloka A1 u TE „Nikola Tesla A“.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko primenjeni model elektrofiltera odgovara realnoj situaciji?
2. Zašto trofazno napajanje elektrofiltera nije u široj upotrebi u praksi?
3. Koje su mu prednosti i mane kada se upoređi sa visokofrekventnim DC/DC napajanjima elektrostatičkih filtera sa IGBT tranzistorima?

Referat B4-06

PRIMENA OPTIKE U MERENJU VISOKONAPONSKIH VELIČINA KOD ELEKTROSTATIČKIH FILTERA

Autori: S. Dobričić, I. Stevanović, R. Prole, D. Jevtić

U ovom radu je dat opis načina realizacije merenja napona i struje na visokonaponskoj strani elektostatičkog filtra koji se koristi za izdvajanje pepela u dimnom gasu prilikom sagorevanja uglja u termoelektranama. Merenje napona i struje je realizovano pomoću dva odvojena primarna davača. Za naponski davač se koristi naponski otpornički delitelj, a za strujni davač otpornik kroz koji protiče

struja opterećenja. Dobijeni analogni naponski signali se pomoću procesorskog modula pretvaraju u PWM naponske signale. Ovako dobijeni električni signali se u optičkom predajniku pretvaraju u svetlosne signale, a zatim se pomoću optičkog kabla prenose do regulatora elektrofiltera. U drugom optičkom pretvaraču tj. prijemniku ovi svetlosni impulsi se pretvaraju u analogni električni signal. Dobijene električne veličine služe kao povratna veza u regulatoru elektrofiltera. Primena optike u realizaciji ovog merenja je omogućila uvođenje visokonaponskih veličina u upravljanje i regulaciju bez opasnosti da se visoki napon pojavi u niskonaponskim upravljačkim kolima. Ovaj način merenja je primenjen na elektrofilterima bloka A5 u TE „Kolubara A“, blokovima A1 i A4 u TE „Nikola Tesla A“.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliki je propusni opseg mernog signala postignut u opisanoj realizaciji?
2. Kakva su iskustva iz eksploatacije — da li je bilo otkaza ili nepravilnog rada?

Referat B4-07

REALIZACIJA MONOFAZNOG INVERTORA SA PODRŠKOM KRATKOG SPOJA U POTROŠAČU

Autori: P. Ninković, B. Jovanović

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

Pitanja za diskusiju:

1. Kako je rešena regulacija, odnosno potiskivanje jednosmerne komponente napona na primaru izolacionog transformatora?
2. Koliki je postignuti stepen iskorišćenja?
3. Kakva su iskustva iz eksploatacije?
4. Koliko je dobro rešenje da u slučaju kratkog spoja statička preklopka prebaci napajanje potrošača u kratkom spoju na mrežni napon?

Referat B4-08

REALIZACIJA UREĐAJA ZA AUTOMATSKO PREBACIVANJE NAPAJANJA MOTORNIM SABIRNICAMA 6 kV NA REZERVNO NAPAJANJE

Autori: T.Gajić, Ž. Janda, G. Rajković, LJ. Mihailović

Kratak sadržaj- U radu je prikazana realizacija, osnovna namena i režimi rada uređaja za automatsko sinhrono prebacivanje napajanja motornih 6 kV sabirnica na rezervno napajanje (AUR-a). Izveden je model motornih sabirnica u režimu gašenja polja na osnovu modela potrošača (grupe asinhronih motora). Zbog postojanja zaostalog magnetnog polja u samom asinhronom motoru, prilikom isključenja napajanja na statoru asinhronog motora i dalje postoji naizmenični napon. Kružna učestanost napona na statoru asinhronog motora jednaka je mehaničkoj kružnoj učestanosti vratila motora a amplituda napona opada približno po

eksponencijalnom zakonu. Da bi se obezbedilo korektno priključenje rezervnog napajanja, naponi na sabirnicama motora i mrežni napon moraju biti sinhronizovani, odnosno fazna razlika mora biti dovoljno mala. Prikazana su četiri osnovna moda rada uređaja (brzo prebacivanje, prebacivanje pri prvoj faznoj koincidenciji, po rezidualnom naponu i po isteku zadatog vremena) i redukovani model motornih sabirnica prvog reda. Eksperimentalni rezultati snimljeni na realnim motornim sabirnicama 6 kV u termoelektranama su potvrdili uprošćene teorijske analize i opravdali konstruktivno projektantski pristup ovakvom uređaju.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko je tačan upotrebljeni model za gašenje polja motora (implementirani algoritam u uređaju) i koja su mu ograničenja?
2. Kakva su eksploataciona iskustva (uočene pojave pri radu, kako utiče izbor komandnog napona prekidača na pouzdanost rada, itd ...)?
3. Kakvo je predviđeno periodično održavanje ovakvih uređaja?

Referat B4-09

ESTIMACIJA PARAMETARA UPROŠĆENOG MODELA SPREGNUTOG SISTEMA SINHRONI GENERATOR – REGULATOR NAPONA

Autori: J. Dragosavac, Ž. Janda, I. Stevanović, J. Pejović

U radu je prikazan postupak eksperimentalne estimacije parametara uprošćenog modela spregnutog sistema sinhroni generator – regulator napona. Zbog uvođenja grupne regulacije sinhronih generatora u jednoj elektrani, potrebno je raspolagati sa dovoljno tačnim a ipak jednostavnim modelom odziva reaktivne snage sinhronog generatora na zadatu promenu reference pobude. Klasični, dobro poznati modeli su složeni za implementaciju u sistemu regulacije reaktivne snage. Takođe, senzore napona i reaktivne snage (negde se koristi poseban ulaz za reaktivnu snagu a negde se u samom sistemu regulacije pobude određuje reaktivna komponenta struje) sinhronog generatora karakteriše određeno kašnjenje, što utiče na odziv spregnutog sistema. Ovaj rad se bazira na eksperimentalnim rezultatima dobijenim prilikom testiranja regulatora napona mašine bloka A6 u TE „Nikola Tesla – A“. Estimacijom dobijeni rezultati su detaljno prikazani i upoređeni sa eksperimentalnim rezultatima na stvarnim sinhronim generatorima. Analizirana je mogućnost upotrebe dobijenih rezultata za realizaciju grupne regulacije pobude u TE “Nikola Tesla – A”.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko se menjaju estimirani parametri u zavisnosti od radnog stanja bloka (P , Q , U)?
2. Za koju namenu se može iskoristiti ovako uprošćen model?
3. Koliko na kvalitet estimacije parametara utiče način merenja reaktivne snage (tačnost mernog pretvarača, vremenska konstanta kašnjenja mernog pretvarača, ...)?

Referat B4-10

NEKE TEHNIKE KOJE SE DANAS KORISTE KOD PRETVARAČA ENERGETSKE ELEKTRONIKE

Autor: R. Radetić

U radu su prikazane neke od tehnika koje se danas primenjuju kod pretvarača energetske elektronike različitih vrsta. Ovde se prvenstveno radi o poboljšanjima u već postojećim topologijama pretvarača ali i sasvim novim pristupima. Radi postizanja određenih ciljeva u pojedinim slučajevima se radi i o dopunskim pretvaračima, koji unose dodatne gubitke, usložnjavaju sistem ali celom pretvaraču daju neki novi kvalitet. U radu je prikazano 5 takvih tehnika i to su: tehnika sinhronog ispravljanja, rezonantni rad pretvarača, PFC, IMC i ACR tehnika.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Koliko su navedene tehnike upotrebljive kod pretvarača većih snaga?*
- 2. Da li se tehnika sinhronog ispravljanja može upotrebiti za izradu ispravjača/punjača baterija u elektroprivrednim objektima i kako?*
- 3. Koliki se stepen iskorišćenja postiže uz upotrebu aktivnog visokofrekventnog PFC ulaznog stepena, recimo kod AC/DC pretvarača koji se koriste za DC napajanja u telekomunikacijama? Da li je taj stepen iskorišćenja veći ili manji kada se uporedi sa klasičnim tiristorskim ispravljačima ?*