



**STUDIJSKI ODBOR B4 – SUSTAVI ISTOSMJERNE STRUJE I ENERGETSKA
ELEKTRONIKA**

Predsjednik: mr.sc. Vlatko Ećimović
Tajnik: prof.dr.sc. Denis Pelin

Stručni izvjestitelji: prof.dr.sc. Denis Pelin,
prof.dr.sc. Zvonko Benčić,
prof.dr.sc. Viktor Šunde,
mr.sc. Vlatko Ećimović.

IZVJEŠĆE STRUČNIH IZVJESTITELJA

UVOD

U grupi B4 – Sustavi istosmjerne struje i energetska elektronika, za 15. savjetovanje HRO CIGRÉ, autori su u zadanom roku od 6 prijavljenih referata dostavili 5 izrađenih referata.

Za 15. savjetovanje HRO CIGRÉ u grupi B4 definirane su četiri preferencijalne teme, kako slijedi:

Tema 1: Visokonaponski istosmjerni sustavi i primjena

Tema 2: FACTs uređaji i kvaliteta električne energije

Tema 3: Uređaji učinkovite elektronike i primjena

Tema 4: Pohrana električne energije

Svih pet pristiglih referata je recenzirano i prihvaćeno, te su razvrstani prema preferencijalnim temama, kako slijedi:

Preferencijalna tema 1: B4-01,
Preferencijalna tema 2: B4-02,
Preferencijalna tema 3: B4-03, B4-04;
Preferencijalna tema 4: B4-05.

Tematika sustava istosmjerne struje i energetske elektronike općenito je vrlo aktualna i dinamična na ukupnoj razini CIGRE u svijetu. Međutim, na području elektroprijenosnog sustava Hrvatske i susjednih zemalja nema istosmjernog prijenosa (osim novoizgrađene podmorske veze Crna Gora-Italija), te nema značajnijeg interesa za objavljivanjem referata navedene tematike na savjetovanjima HRO CIGRE, u najvećoj mjeri zbog nedostatka praktičnih iskustava o kojima bi se raspravljalo. Iz tog razloga, prijavljeni referati većinom se odnose na problematiku učinkovite elektronike.

Ove godine predano je i prihvaćeno pet zanimljivih referata. U nastavku slijedi pregled sažetaka referata po preferencijalnim temama.

PREFERENCIJALNA TEMA 1: Visokonaponski istosmjerni sustavi i primjena

B4-01: Davorin Burgund, E-project Service d.o.o., Srete Nikolovski, FERIT-Osijek

Trendovi izgradnje HVDC postrojenja s primjerom utjecaja LCC tiristorskog pretvarača na 220 kV AC mrežu i parametre kvalitete izmjeničnog napona u smjeru DC>AC pretvorbe

U članku se razmatra svrha izgradnje visokonaponskog istosmjernog (HVDC) postrojenja te njegova ekonomska isplativost. Također su prikazani trendovi prema tipovima i proizvođačima u svijetu te posebno u Europi. Uspoređuju se dva prevladavajuća tipa IGBT i tiristorski model sa prednostima i nedostacima jednih i drugih.

Daje se primjer iz prakse električnih zaštita tiristorskog HVDC postrojenja na shemi postrojenja. Analiziraju se zone šticećenja AC i DC zaštita u HVDC postrojenju te se daje osvrt na kompenzaciju jalove snage u tiristorskom postrojenju sa priloženim jednopolnim shemama.

Nadalje, prilaže se primjer iz prakse problema šticećenja pomoćnog pogona tiristorskog postrojenja tj. utjecaj konverzije napona na pogon transformatora opće potrošnje 220/6,6 kV, 5MVA, u ispravilačkoj stanici. Isto tako se analizira utjecaj viših harmonika na energetski transformator i ostalo postrojenje spojenog na glavne AC sabirnice.

PREFERENCIJALNA TEMA 2: FACTs uređaji i kvaliteta električne energije

Referat B4-02: Ivan Duilo, Goran Grdenić, Marko Delimar, FER-Zagreb

Modeliranje upravljačkih krugova dvorazinskog pretvarača s naponskim ulazom u Matlab/Simulink-u

Pretvarači s naponskim ulazom, također znani kao autonomni pretvarači, su energetski pretvarači koji se temelje na punoupravljivim poluvodičkim ventilima (tranzistorima). Svoju glavnu svrhu nalaze u visokonaponskom istosmjernom prijenosu (HVDC), FACTS uređajima (kompenzacija jalove snage, upravljanje tokovima snaga, regulacija napona, poboljšanje stabilnosti itd.), vjetroturbinama i fotonaponskim sustavima, te pohrani električne energije (baterije).

Ovaj rad predstavlja pregled vremenski usrednjenog matematičkog modela dvorazinskog pretvarača s naponskim ulazom s četiri vanjska upravljačka kruga: upravljački krug jalove snage, upravljački krug izmjeničnog napona, upravljački krug djelatne snage i upravljački krug istosmjernog napona. Model je implementiran u programskom alatu Matlab/Simulink. Njegova funkcionalnost je prikazana kroz nekoliko simulacija. Nadalje, detaljno je opisano podešenje regulatora i prikazan njihov utjecaj na vremenske odzive. Rezultati nekoliko slučajeva prikazani su na dijagramima.

PREFERENCIJALNA TEMA 3: Uređaji učinske elektronike i primjena

B4-03: Igor Čolović, Končar Elektronika i informatika d.d., Zagreb; Damir Sumina, FER-Zagreb

Prilagodba digitalnog regulatora napona KONreg EX1000 „Končar“ za realizaciju LCI-statičkog frekvencijskog pretvarača za zalet plinske turbine

Digitalni regulator napona tip KONreg EX1000 "Končar" razvijen je primarno za statičke uzbudne sustave. U radu je opisana prilagodba sustava KONreg EX1000 za realizaciju LCI pretvarača (eng. "Load Commutated Inverter") u svrhu pokretanja sinkronog stroja pogonjenog plinskom turbinom. Sustav upravljanja LCI-a eksperimentalno je realiziran pomoću dva Konreg EX1000 regulatora. Energetski dio pretvarača napravljen je u 6/6 konfiguraciji nazivnog napona 400 V. Algoritmi upravljanja LCI-a u sklopu razvojnog projekta eksperimentalno su verificirani na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu u laboratoriju električnih strojeva na sinkronom stroju nazivne snage 54 kVA.

B4-04: Ante Perić, Karla Draženović, Željko Ban, Viktor Šunde, FER-Zagreb

Aktivni filtri realizirani pomoću sustava neprekinutog napajanja

Porastom broja nelinearnih trošila u industriji i kućanstvima, pridaje se sve veći značaj kvaliteti električne energije. Neprekinutost napajanja i jedinični faktor snage predstavljaju zahtjeve na mrežu i trošilo. Oba ova zahtjeva ispunjavaju se primjenom hibridnog UPS/APF sustava koji može raditi kao sustav neprekinutog napajanja (UPS) i kao aktivni filter (APF). Kada radi kao APF u točku zajedničkog spoja (PCC) utiskuje zahtijevanu struju uz koju je struja iz mreže sinusnog valnog oblika i u fazi s naponom, tj. postiže se jedinični faktor snage. Kada radi kao UPS, nelinearna trošila napaja kao da su spojena na napojnu mrežu sinusnog valnog oblika.

U ovom radu analizirana su neka od postojećih rješenja ovakvog hibridnog sustava uz preporuke mogućih modifikacija u vidu superkondenzatorskog spremnika energije, smanjenja broja sklopki te prilagodljivog izlaznog pasivnog filtra. Predloženi sustav smješten je unutar izmjenične mikromreže koja se sastoji od različitih obnovljivih izvora, sustava za pohranu energije, te linearnih i nelinearnih trošila. Upotrebom simulacijskog modela i simulacijskog eksperimenta ispitana je funkcionalnost metoda upravljanja hibridnim UPS/APF sustavom kada radi u oba navedena načina rada.

PREFERENCIJALNA TEMA 4: Pohrana električne energije

B4-05: Josip Bilandžić, Denis Pelin, Andrej Brandis, Danijel Topić, Goran Knežević, Zvonimir Šimić, Dragan Vulin, FERIT-Osijek

Pregled elektroničkih energetskih pretvarača za stacionarne baterijske spremnike energije

Spremnici električne energije koriste se pri pohrani električne energije, odnosno postupcima pretvorbe električne energije (EE) u oblik pogodan za skladištenje, te prema potrebi ponovnu pretvorbu u EE kad se za to stvore uvjeti. Time je omogućeno da EE proizvedena u uvjetima slabije potražnje, s nižim troškovima proizvodnje ili proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije (OIE) koji su ovisni o vanjskim utjecajima, bude iskorištena pri suprotnim uvjetima, odnosno za vrijeme veće potražnje za EE, pri višim proizvodnim troškovima te kada nedostaju dodatni izvori energije.

U radu je dan pregled topologija elektroničkih energetskih pretvarača (EEP) za spajanje baterijskih spremnika energije (BSE) i izmjenične niskonaponske distribucijske mreže. Pri tome su u obzir uzete one topologije EEP koje mogu osigurati dvosmjernost toka snage/energije, tj. osigurati ne samo punjenje BSE nego i pražnjenje BSE ili predaju električne energije u izmjeničnu mrežu.

Prema kriteriju broja procesa pretvorbe, kao i razina izlaznog napona na izmjeničnoj strani odabrane su i opisane najčešće istraživane topologije EEP, te su navedene prednosti i nedostaci odabranih topologija. Istaknuta je podjela unutar jednostupanjskih i višestupanjskih pretvarača s obzirom na pregled područja topologija EEP. Napravljena je usporedbena analiza za tri odabrane topologije EEP za BSE, pri čemu je iz svake karakteristične skupine EEP prema izrađenoj karti topologija izabran po jedan karakteristični predstavnik. Pri tome su odabrani pretvarači izlazne snage od 10 kW te sklopne frekvencije rada od 20 kHz. Usporedbena analiza napravljena je na osnovu simulacijskih modela preuzetih iz radova i za cilj ima procjenu djelotvornosti odabranih topologija te na taj način identifikaciju gubitaka pri pretvorbi snage na frekvenciji. Dodatno je kao kriterij usporedbe uveden broj pretvaračkih komponenata što definira složenost upravljačkih krugova EEP, a samim time i primjenu istraživanih topologija EEP

IZVJEŠĆE O REFERATIMA

PREFERENCIJALNA TEMA 1: Visokonaponski istosmjerni sustavi i primjena

B4-01 **Davorin Burgund, Srete Nikolovski**

Trendovi izgradnje HVDC postrojenja s primjerom utjecaja LCC tiristorskog pretvarača na 220 kV AC mrežu i parametre kvalitete izmjeničnog napona u smjeru DC>AC pretvorbe

Rad je preglednog karaktera. Pisan je sa stanovišta prodavatelja HVDC postrojenja. Uspoređena su dva osnovna tipa pretvarača: s tiristorima i s IGBT tranzistorima. Istaknuto je da danas prevladava IGBT pretvarač. Opisane su i ilustrirane primjerom iz prakse zaštite tiristorskih HVDC postrojenja.

Pitanja za diskusiju:

1. Objasniti „back to back“ rad pretvaračke stanice?

PREFERENCIJALNA TEMA 2: FACTs uređaji i kvaliteta električne energije

B4-02 **Ivan Duilo, Goran Grdenić, Marko Delimar**

Modeliranje upravljačkih krugova dvorazinskog pretvarača s naponskim ulazom u Matlab/Simulink-u

Autori u radu modeliraju upravljačke krugove pretvaračke komponente (IGBT) izmjenjivača s naponskim ulazom. Tako su u radu prikazani i objašnjeni: vanjski i unutrašnji upravljački krug te fazno spregnuta petlja. Modeli su implementirani u programskom alatu MATLAB/Simulink.

Napravljena je parametarska analiza i pokazani su odzivi pri podešavanju PI regulatora jalove i djelatne snage te regulatora napona istosmjerne međuveze kao i izmjeničnog napona.

Iz odziva se može procijeniti brzina promjene karakterističnih veličina te tako parametrirati upravljačke krugove što je glavni doprinos ovog rada.

Pitanja za diskusiju:

1. Pri podešavanju regulatora unutrašnjeg upravljačkog kruga odabrali ste vremensku konstantu od 1-15ms! Koje ste sklopne frekvencije pretvarača (vektorsko upravljanje) pri tom pretpostavili?
2. Pojasnite napisanu rečenicu u radu: "Za upravljanje istosmjernim naponom koristi se kvadrat istosmjernog napona..."

PREFERENCIJALNA TEMA 3: Uređaji učinske elektronike i primjena

B4-03 Igor Čolović, Damir Sumina

Prilagodba digitalnog regulatora napona KONreg EX1000 „Končar“ za realizaciju LCI-statičkog frekvencijskog pretvarača za zalet plinske turbine

U članku je opisana struktura trošilima komutiranih pretvarača (LCI pretvarača) koji se koriste između mreže i sinkronog stroja. Naglasak u prvom dijelu članka je na različitim topologijama ovih pretvarača koji omogućavaju dvokvadrantni ili četverokvadrantni način rada sinkronog stroja. Pretvarači su izvedeni tiristorskim sklopka koje omogućavaju daleko veće zaporne i blokirne napone u odnosu na IGBT sklopke. Moguća su i veća naponska naprezanja tiristora njihovim serijskim spajanjem.

U drugom dijelu članka opisuje se eksperimentalni postav kojim su ispitani upravljački algoritmi primjenom postojećeg Končar DSP upravljačkog sustava za mrežni dio pretvarača kao i za dio pretvarača prema sinkronom stroju. Zbog jednostavnosti ispitivanja koristio se 6/6-pulsni model LCI pretvarača nazivnog napona 400 V. Prikazani su rezultati mjerenja, tj. naponi i struje statora i uzbuđe stroja u pokretanju i u ustaljenom stanju.

Na osnovu razvijenih i ispitanih algoritama upravljanja, te izradom novoga Končar digitalnog sustava upravljanja prema zahtjevima LCI pretvarača srednjeg napona, otvara se mogućnost upravljanja tiristorskim usmjerivačima u 6 ili 12-pulsnoj konfiguraciji na srednjem naponu.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li su u fazi projektiranja LCI pretvarača korišteni simulacijski programi? Ako jesu, kako su modelirani tiristori?
2. Da li je moguće povećanje strujnog naprežanja tiristora u grani pretvarača njihovim paralelnim spajanjem?
3. Na koji način mrežni usmjerivač forsira struju istosmjernog međukruga na nulu, kako bi se, za vrijeme zaleta sinkronog stroja, omogućile prisilne komutacije u izmjenjivaču?

B4-04 Ante Perić, Karla Draženović, Željko Ban, Viktor Šunde

Aktivni filtri realizirani pomoću sustava neprekinutog napajanja

Autori su kroz simulacijski model predložili uređaj koji može raditi kao neprekinuti izvor napajanja te kao aktivni filter. Pokazali su kako će, izuzetno važno područje naprednih mreža, u budućnosti morati koristiti rješenja s elektroničkim energetskim pretvaračima.

Jasan i razumljiv stil pisanja (djelomično u djelu upravljanja kliznim režimima) omogućava čitatelju praćenje i razumijevanje područja aktivnih filtara.

Nakon pregleda dvostupanjskih rješenja aktivnih filtara, autori predlažu svoje hibridno rješenje za koje kroz simulacijski eksperiment pokazuju kako uređaj reagira na različite scenarije izmjene energije i različite tipove trošila.

Pitanja za diskusiju:

1. Planirate li na osnovu simulacijskog modela izraditi prototip? Koje rizike u slučaju izrade prototipa očekujete u odnosu na provedenu simulaciju?
2. Mrežaši još uvijek robusne sustave smatraju pouzdanijim pri ugrađivanju, pa čak i ako su manje energetske učinkovitosti, u odnosu na aktivne filtere realizirane s pomoću elektroničkih energetskih pretvarača. Pariraju li elektronička rješenja, sa svojom cijenom, tipičnim pasivnim rješenjima? Kakvi su trendovi promjena cijena elektroničkih komponenti, pa samim time i uređaja?

PREFERENCIJALNA TEMA 4: Pohrana električne energije

B4-05 Josip Bilandžić, Denis Pelin, Andrej Brandis, Danijel Topić, Goran Knežević, Zvonimir Šimić, Dragan Vulin

Pregled elektroničkih energetskih pretvarača za stacionarne baterijske spremnike energije

U radu je dan pregled topologija elektroničkih učinkovitih pretvarača za spajanje baterijskih spremnika energije i izmjenične niskonaponske distribucijske mreže. Pri tome su uzete u obzir one topologije koje mogu osigurati dvosmjernost toka energije, tj. osigurati punjenje i pražnjenje baterije ili predaju i prihvatanje energije izmjenične mreže.

Izvorni doprinos rada je usporedna analiza odabranih topologija. Zaključeno je da najveću djelotvornost od razmatranih pretvarača ima višerazinski pretvarač s povratnim diodama i to 98,75 %.

Pitanja za diskusiju:

1. Objasniti dualni istosmjerni pretvarač.

ZAKLJUČAK

Referati prihvaćeni za 15. Savjetovanje grupe B4 – Sustavi istosmjerne struje i energetska elektronika, obuhvatili su svojom tematikom sve četiri preferencijalne teme.

Svih pet prihvaćenih referata pripremili su domaći autori. Radovi su većinom teorijske prirode, orijentirani na specifične stručne problematike.

Studijski odbor B4 veseli činjenica da se na tri uzastopna Savjetovanja HRO CIGRE pojavljuju redovni referati (na prethodnim Savjetovanjima redom po osam, zatim pet, te ove godine ponovno pet referata), nakon višegodišnje stanke bez referata.

Osim redovnih referata, ove godine u grupi B4 namjera je organizirati i pozvana predavanja uvažениh profesora s fakulteta i stručnjaka iz gospodarstva, koja će zasigurno privući pažnju publike na ovogodišnjem Savjetovanju HRO CIGRE.

U dogovoru s glavnim tajnikom HRO CIGRE, poslani su pozivi na slijedeće e-mail adrese:

- FER, Zagreb, (prof.dr.sc. Hrvoje Pandžić sa suradnicima),
- Predstavništvo ABB, Zagreb,
- Predstavništvo Siemens Energy, Zagreb,
- Predstavništvo Končar-KET, Zagreb,

Na poziv se odazvao jedino prof.dr.sc. Hrvoje Pandžić, namjerava održati predavanje teme „Laboratorijsko testiranje litij-ionskih baterijskih članaka i modula“. Prijedlog Powerpoint prezentacije dostaviti će najkasnije do 30.9.2021., a konačnu prezentaciju zaključno do 18.10.2021.

Sažetak predavanja: Baterijski sustavi sve se više koriste u elektroenergetskom sustavu u svrhu pružanja fleksibilnosti uslijed vrlo visoke integracije neupravljivih obnovljivih izvora energije. Kao nova tehnologija, koja je i dalje u razvoju, potrebno je istražiti njene značajke i interakciju s elektroenergetskim sustavom. U predavanju će se opisati značajke litij-ionskih baterija za stacionarnu primjenu (procesi punjenja i pražnjenja, učinkovitost ciklusa punjenja i pražnjenja, strujno-naponske karakteristike). Također će biti predstavljeni rezultati mjerenja i testiranja raznih litij-ionskih članaka u Smart Grid laboratoriju na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu.

U grupi B2 - Nadzemni vodovi, autori Domagoj Hart, Alain Xemard, Ivo Uglešić, Tibor Dolenc, Goran Levačić, Serge Poullain, Zoran Rubinić, Viktor Milardić i Miroslav Mesić, prijavili su referat teme „Konverzija AC nadzemnih vodova u DC“, tematike koja se praktično križa s tematikom preferencijalne teme 1 u grupi B4.

Navedeno stanje pokazuje da u Hrvatskoj imamo stručne kadrove koji prate svjetske trendove, te postoji i mogućnost realizacije praktičnih i komercijalnih projekata na području „Sustava istosmjerne struje i energetske elektronike“.

SO B4 dostavio je Izvršnom odboru HRO CIGRE prijedlog za dodjelu Nagrade za životno djelo redovitom članu SO B4, prof.dr.sc. Zvonku Benčiću, uz obrazloženje i životopis kandidata. Očekuje se dodjela „Nagrade za životno djelo u HRO CIGRE“ uvaženom kolegi Zvonku Benčiću na 15. Savjetovanju HRO CIGRE u Šibeniku.

Nadamo se da će i na budućim savjetovanjima HRO CIGRE u grupi B4 biti redovnih referata, te će zadržati određeni interes autora, broj prijavljenih referata, kao i zanimanje publike i sudionika Savjetovanja.