

STUDIJSKI ODBOR B4 – SUSTAVI ISTOSMJERNE STRUJE I ENERGETSKA ELEKTRONIKA

Predsjednik: prof.dr.sc. DENIS PELIN
Tajnik: FILIP RELIĆ, mag. ing. el.

Stručni izvjestitelj: prof.dr.sc. DENIS PELIN

IZVJEŠĆE STRUČNOG IZVJESTITELJA

1. UVOD

Na studijski odbor B4 – Sustavi istosmjerne struje i energetska elektronika, za 17. savjetovanje HRO CIGRÉ, u zadanom roku prispjelo je ukupno 7 referata. Teme referata odražavaju aktualne izazove i smjerove razvoja u području primjene elektroničkih energetskih pretvarača u elektroenergetskom sustavu, visokonaponskog istosmjernog prijenosa i primjene istosmjernih sustava u energetske tranziciji.

Preferencijalne teme za 17. savjetovanje HRO CIGRÉ za studijski odbor B4 su:

1. FACTs uređaji i elektronički energetski pretvarači u integraciji obnovljivih izvora energije
2. Visokonaponski istosmjerni prijenos
3. Primjena istosmjernih sustava u energetske tranziciji

Za 17. savjetovanje HRO CIGRE za studijski odbor B4 dogovoreno je jedno pozvano predavanje i to rad B4-01, ostali referati su raspoređeni po preferencijalnim temama:

Preferencijalna tema 1: B4-02; B4-03; ukupno 2 referata

Preferencijalna tema 2: B4-04; B5-05; ukupno 2 referata

Preferencijalna tema 3: B4-06; B4-07; ukupno 2 referata

Preferencijalna tema 1 bavi se izazovima koji proizlaze iz rastuće primjene elektroničkih energetskih pretvarača u elektroenergetskom sustavu, od proizvodnje električne energije, ponajviše iz obnovljivih izvora energije, pa do prijenosa i distribucije električne energije. Primjena elektroničkih energetskih pretvarača za posljedicu ima utjecaj na kvalitetu energije, pa se u tu svrhu koriste FACTs uređaji i aktivni filtri.

Preferencijalna tema 2 se fokusira na istosmjerni prijenos i izgradnju međuspojeva, kako bi se parkovi obnovljivih izvora povezali između različitih država i osigurao prijenos el.energije na veće udaljenosti u svrhu ostvarivanja boljih ekonomskih pokazatelja na tržištu energije.

U središtu **Preferencijalne teme 3** su primjeri istosmjernih sustava koji se koriste na svim razinama energetskih prijenosnih mreža, od distribucijske do prijenosne, uključujući i rasklopna postrojenja, a kako bi se poboljšala energetska učinkovitost sustava.

IZVJEŠĆE O REFERATIMA

POZVANO PREDAVANJE:

B4-01 Luka Pravica i Martina Kutija:

UTJECAJ KVALITETE NAPONA NA RAZINE EMISIJA DIODNIH ISPRAVLJAČA S FILTARSKIM ELEMENTIMA

Pozvano predavanje se bavi primjenom diodnih ispravljači s filtarskim elementima, koji se koriste kao ulazni stupanj sve češće prisutnih nelinearnih trošila u elektroenergetskim postrojenjima. Takvi uređaji, kao nelinearni potrošači, predstavljaju izvore viših harmonika koji uzrokuju izobličenje valnog oblika napona, smanjujući kvalitetu napona i, posljedično, kvalitetu električne energije koju mreža isporučuje korisnicima.

Prikazano je kako razina emisije viših strujnih harmonika ovisi o kvaliteti napona, na koji ona izravno utječe. Razvijen je simulacijski model za jednostavan priključak postrojenja na elektroenergetsku mrežu, pri čemu su simulirane različite razine kvalitete napona na mjestu priključka. Prikazani su rezultati dobiveni simulacijskim modelom te mjerenjima na dovodu velikog nelinearnog trošila u postrojenju s ugrađenim kompenzatorom strujnih harmonika kako bi se demonstrirao utjecaj na kvalitetu napona i harmonijsko izobličenje.

PREFERENCIJALNA TEMA 1: FACTs UREĐAJI I ELEKTRONIČKI ENERGETSKI PRETVARAČI U INTEGRACIJI OBNOVLJIVIH IZVORA

B4-02 Ante Perić, Viktor Šunde, Željko Ban i Željko Jakopović:

HIL SIMULACIJSKI MODEL DC/AC PRETVARAČA ZA POBOLJŠANJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE U AC MIKROMREŽI

U referatu je predstavljen HIL (engl. Hardver In the Loop) simulacijski model hibridnog APF/UPS (engl. Active Power Filter/Uninterruptable Power Supply) uređaja koji se unutar AC mikromreže koristi u dvostrukoj ulozi. Kada je AC mikromreža spojena na glavnu mrežu, ovaj hibridni uređaj se ponaša kao aktivni filter. U ovoj ulozi uređaj u točki zajedničkog spoja utiskuje takvu struju da struja glavne mreže bude sinusnog oblika i u fazi s naponom. To omogućava upravljanje faktorom snage i kompenzaciju jalove snage. Kada je AC mikromreža u otočnom načinu rada, hibridni uređaj djeluje kao stabilizator napona i frekvencije na AC sabirnici te, ako je potrebno, kao izvor neprekinutog napajanja (UPS) za kritična trošila.

Metoda koja je odabrana za upravljanje kada uređaj radi u UPS načinu rada je upravljanje kliznim režimima uz fiksnu frekvenciju sklopki. Korištenjem HIL simulacijskog modela ovog uređaja i simulacijskog eksperimenta ispitana je mogućnost implementacije metoda upravljanja na DSP, te je potvrđen koncept uređaja i odabir izlaznog filtra za oba navedena načina rada.

Pitanja za diskusiju:

1. S obzirom na prijelaz iz APF u UPS način rada i na izraziti naponski propad, da li bi to moglo predstavljati problem ili je zbog kratkoće prijelazne pojave to prihvatljivo sa stajališta kvalitete napona?
2. Kako objašnjavate različita vremena prijelaznog stanja pri prijelazu iz APF u UPS način rada u odnosu na prijelaz iz UPS u APF način rada?
3. Koliko je opravdano korištenje superkondenzatora za potrebe UPS-a s obzirom na gustoću energije?
4. Diodni most napaja RL trošilo iako je danas uobičajeno koristiti C filter. Koliko bi se razlikovali rezultati ako bi se koristio C filter?

B4-03 Denis Pelin, Mile Međugorac, Karlo Pervan i Andrej Brandis:

POVRATNA DJELOVANJA ISPRAVLJAČA NA IZMJENIČNU MREŽU IDENTIFICIRANA POMOĆU LUCAS-NUELLE DIDAKTIČKE OPREME

Za eksperimentalnu karticu: LNSO4204-7N, mrežom komutiranog ispravljača i didaktičko-multimedijalnu opremu Lucas-Nuelle provedena je komparativna analiza s obzirom na kriterij upravljivosti induktivno opterećenih ispravljača. Analiza je provedena vrednovanjem valnih oblika na izmjeničnoj strani ispravljača, na osnovu izmjerenog valnog oblika, harmonijskog sadržaja fazne struje i 3D prikaza komponenata prividne snage za trofazni: neupravljivi, punoupravljivi i poluupravljivi ispravljač.

Za kvalitativno vrednovanje povratnih djelovanja predloženi su prikazi rezultata mjerenja s pomoću u-i karakteristika faznih struja i napona, čime se može identificirati pojava jalove snage i predvidjeti red harmonika fazne struje samo korištenjem osciloskopa, bez dodatno instaliranih paketa za harmonijsku analizu ili specijalističkih, u pravilu, skupih spektralnih/valnih analizatora.

Pitanja za diskusiju:

1. U radu se koriste snimljene u-i karakteristike pretvarača, tj. njihov oblik, kako bi se izveo kvalitativni zaključak na neparnost/parnost reda harmonika u faznoj struji. Da li bi se ovi dijagrami uz neke dodatne korake (baždarenje) mogli iskoristiti i za kvantitativnu ocjenu harmonijskog sastava u faznoj struji?
2. Da li možete približno izraziti odnos cijene standardne mjerne laboratorijske opreme koja je potrebna za mjerenja koja ste obavili u radu i cijene stvarno korištene Lucas Nuelle didaktičke opreme?
3. Možete li opisati još neke primjere vježbi u kojima se koristi Lucas-Nuelle didaktička oprema?

PREFERENCIJALNA TEMA 2: VISOKONAPONSKI ISTOSMJERNI PRIJENOS

B4-04 Goran Grdenić i Tomislav Rupić:

TRENDOVI PLANIRANJA I IZGRADNJE HVDC VODOVA U EUROPI

Glavni pokretač sve veće primjene istosmjernih vodova pri visokom naponu je integracija velikih količina obnovljive energije u elektroenergetske sustave, što zahtijeva povećanje prijenosne moći u mreži. Osim za povezivanje asinkronih sustava, također su nezaobilazni u povezivanju vjetroelektrana na moru koje su udaljene od obale.

U radu preglednog karaktera ukratko su predstavljene tehnologije istosmjernog prijenosa, njihove prednosti, ali i nedostaci, a naglasak je na trenutnim trendovima planiranja i izgradnje novih istosmjernih vodova i mreža u Europi. Napravljen je osvrt na perspektivu izgradnje HVDC voda u hrvatskom elektroenergetskom sustavu.

Pitanja za diskusiju:

1. Znaju li autori referata tko je investitor u referatu opisanih projekata HVDC vodova? Jesu li to operatori prijenosnih sustava, trgovci električnom energijom, investitori u obnovljive izvore energije, ...?
2. Imaju li autori saznanja radi li netko na obnovi ideje o povezivanja Hrvatske i Italije HVDC podmorskim kabelom?
3. Koji je po autorima ipak najveći nedostatak HVDC linkova danas (osim velike početne cijene)?
4. S obzirom da se u radu spominje ideja podmorske HVDC veze s Italijom koja je bila predmet analiza i istraživanja prije 20ak godina (studija predizvodljivosti), kada bi se danas RH odlučila na izgradnju predmetnog HVDC linka (često se tema opet aktualizira u medijima), uzimajući u obzir OIE ciljeve iz ažuriranog NECP-a, smatraju li autori da bi i dalje postojala potreba za izgradnjom najavljenih internih AC 400 kV koridora u RH, ili bi HVDC link mogao biti dovoljan?

B4-05 Miro Cengic, Denis Pelin, Conor Mulholland, Ben Croke i Daniele Giustini:

ENERGETSKA TRANZICIJA POTAKNUTA PRIMJENOM ISTOSMJERNIH SUSTAVA U IRSKOJ I SMJERNICE ZA MOGUĆU IZGRADNJU SUSTAVA U HRVATSKOJ

Analizirano je kako istosmjerni prijenosni sustavi poput Celtic Interconnectora podupiru energetska tranziciju Irske te kako bi Hrvatska mogla učiti iz Irskog iskustva u smislu povećanja proizvodnje i izvoza energije proizvedene iz obnovljivih izvora putem mogućeg hrvatsko-talijanskog interkonektora koristeći istosmjerni prijenos.

Iskustvo Irske može pomoći Hrvatskoj, koja ima značajan potencijal obnovljivih izvora u energetska nedovoljno razvijenim regijama poput Dalmatinske zagore. Uvođenjem istosmjernih sustava prijenosa i razvojem HVDC međuspoja s Italijom, Hrvatska bi mogla izvoziti višak energije, ojačati stabilnost svoje mreže i povećati svoju ulogu na europskom energetsom tržištu. Takav projekt mogao bi biti podržan mehanizmima EU-a poput Instrumenta za povezivanje Europe (Connecting Europe Facility - CEF) i Projekata od zajedničkog interesa (Project of Common Interest - PCI), kao što je bio slučaj s Celtic Interconnectorom.

Pitanja za diskusiju:

1. Na temelju irskog iskustva, koje biste konkretne političke instrumente, regulatorne okvire ili tržišne mehanizme preporučili Hrvatskoj za ubrzanje integracije obnovljivih izvora energije i podršku razvoju prekograničnih HVDC/AC veza — osobito ako želi postati neto izvoznik zelene električne energije na tržište Europske unije?
2. S obzirom na, u posljednjim godinama, ubranu energetska tranziciju u Europi jesu li pokrenute ili razmatrane novije tehničke, ekonomske ili regulatorne studije za predloženo povezivanje između Hrvatske i Italije, te koji su glavni izazovi ili pretpostavke koje proizlaze iz ovih brzo mijenjajućih okolnosti?
3. Kakva su iskustva irskog operatora prijenosnog sustava u vođenju postojećih HVDC vodova?

4. Osim predloženog HVDC voda između Hrvatske i Italije, postoje li potencijalno i druge opcije za trasu HVDC voda?

PREFERENCIJALNA TEMA 3: PRIMJENA ISTOSMJERNIH SUSTAVA U ENERGETSKOJ TRANZICIJI

B4-06 Matko Žaja:

PRORAČUN POMOĆNOG DC SUSTAVA TRAFOSTANICE KORIŠTENJEM ETAP ALATA

U referatu je dat cjeloviti pristup pri projektiranju pomoćnog istosmjernog sustava trafostanice korištenjem programskog paketa ETAP. Opisan je proces modeliranja sustava kroz izradu jednopolne sheme, analizu protoka istosmjerne struje, proračun struje kratkog spoja, dimenzioniranje baterijskog sustava i ispravljača, kao i izbor zaštitnih uređaja i kabela.

Korištenjem više ETAP modula omogućena je detaljna analiza svih ključnih aspekata rada sustava, uključujući pražnjenje baterije i analizu selektivnosti zaštite. Prikazana studija slučaja potvrđuje važnost ovakvog integriranog pristupa za pouzdano napajanje upravljačkih i zaštitnih sustava u elektroenergetskim objektima. Rad ističe značaj pravilnog dimenzioniranja DC sustava u kontekstu energetske tranzicije i povećanja operativne sigurnosti.

Pitanja za diskusiju:

1. Ima li autor referata saznanja postoji li na tržištu dostupan sličan ali kvalitetniji softverski paket, ili smatra da je ETAP softverki paket koji je za svaku preporuku projektantima?
2. Postoji li open source program slične namjene?

B4-07 Miroslav Křepela:

POLUVODIČKI FREKVENTNI PRETVARAČ U FUNKCIJI NAPAJANJA BRODSKOG ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Napajanje brodskih elektroenergetskih sustava iz kopnene distributivne električne mreže značajno doprinosi smanjenju štetnih emisija uslijed izgaranja goriva i lebdećih čestica iz brodskih elektrana tijekom boravka na vezu u lukama, koji imaju negativan utjecaj na okoliš i zdravlje okolnog stanovništva. Ovakva rješenja sve više se koriste, osobito u lukama s velikim prometom svih vrsta brodova, pri čemu najveći i najskuplji zadatak predstavlja napajanje brodova čiji elektroenergetski sustav koristi frekvenciju različitu od frekvencije kopnene mreže.

U radu je prikazana primjena trofaznog poluvodičkog frekventnog pretvarača srednjeg napona u funkciji napajanja brodskog elektroenergetskog sustava. Opisan je frekventni pretvarač i njegovi zahtjevi za izvedbu sredjenaponskog postrojenja, uzemljenja, izjednačenja potencijala i elektromagnetsku kompatibilnost.

Pitanja za diskusiju:

1. Koliko je isplativo izvoditi priključak broda s obzirom na traženi zahvat i snagu u odnosu na trajanje stajanja broda u luci?
2. Postoji li slična direktiva ili preporuka kojom se prilagodba 50/60 Hz specificira za ugradnju na brod?
3. Koliko je održiv model lokalne proizvodnje električne energije (npr. fotonaponske elektrane + baterije) za napajanje brodova umjesto oslanjanja na širu distribucijsku mrežu?
4. Postoji li opravdanost integracije baterijskih spremnika energije uz frekventne pretvarače kako bi se smanjila potrebna priključna snaga luke, smanjujući opterećenje na kopnenu distribucijsku mrežu i kapitalne investicije za izgradnju priključka?

ZAKLJUČAK

Ovogodišnji referati ravnomjerno su raspoređeni po zadanim preferencijalnim temama, što zasigurno opravdava izbor preferencijalnih tema. Autori su se u referatima bavili temama vezanim za primjene elektroničkih energetske pretvarača, kako u istosmjernom prijenosu, tako u istosmjernim sustavima koji se koriste u rasklopnim postrojenjima ali i specifičnim primjenama, kao što je brodska energetska elektronika. Valja istaći i teme vezane uz kvalitetu energije izmjenične mreže koja je posljedično vezana uz korištenje elektroničkih energetske pretvarača u elektroenergetskom sustavu.

Za istaći je snažan doprinos autora u preferencijalnoj temi „Visokonaponski istosmjerni prijenos“ koja je s obzirom na nedostatak primjene u Hrvatskoj godinama bila zapostavljena na savjetovanjima. Sve veća integracija obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav potiče primjenu visokonaponskog istosmjernog prijenosa. Iskustva iz Irske opisana u jednom referatu dobra su smjernica za izgradnju prvog istosmjernog veleprijenosa u Hrvatskoj.

Većini autora je zajedničko nastojanje da se istakne važnost primjene elektroničkih energetske pretvarača u elektroenergetskom sustavu. Važnost energetske elektronike u elektroenergetici potaknuta se sve većom penetracijom obnovljivih izvora energije u sustav, kao i preporukama i smjernicama vezanim za zelenu energetske tranziciju.