

# INTEGRACIJA MALIH ELEKTRANA U ELEKTROENERGETSKI SISTEM

*Željko Đurišić<sup>1</sup>, Dušan Mikičić, Momčilo Bubnjević*

## SAŽETAK:

Male elektrane (male hidroelektrane, vetroelektrane, solarne elektrane...) imaju sve veći trend razvoja i sve veće procentualno učešće u proizvodnji električne energije na globalnom nivou. U radu su ukratko analizirani osnovni ekonomski i ekološki motivi ovakvog trenda razvoja. Akcenat rada je na analizi tehničkih uslova priključenja malih elektrana na elektroenergetski sistem (EES). Male elektrana su uglavnom raštrkane u sistemu prema resursima primarnog energenta i priključuju se, u zavisnosti od snage, na srednjenaponsku ili niskonaponsku distributivnu mrežu. S obzirom da je distributivna mreža projektovana da bude radijalna, priključenje malih elektrana unosi poteškoće u obezbeđenju zahtevanih tehničkih performansi EES-a. U radu je analiziran uticaj malih elektrana na relejnu zaštitu, struje kratkih spojeva i kvalitet električne energije u distributivnom sistemu.

**Ključne reči:** *obnovljivi izvori energije, elektroenergetski sistem, relejna zaštita, struja kratkog spoja, kvalitet električne energije*

## 1. UVOD

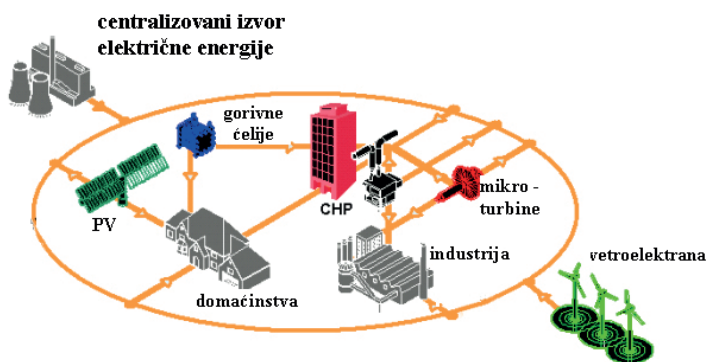
Eksplוזija populacije na zemlji uzrokuje permanentno povećanje potreba za energijom. Povećanja potrebe za energijom je naročito izraženo u elektroenergetici, i ono na globalnom nivou iznosi oko 2,8 % godišnje. Sa druge strane, trenutna struktura primarnih izvora električne energije ne može na globalnom nivou obezbediti takav trend povećanja proizvodnje električne energije. Razlog za to su aktuelni lokalni i globalni ekološki problemi, koji su direktno uzrokovani sagorevanjem fosilnih i nuklearnih goriva na kojima se bazira sadašnja proizvodnja elek-

---

<sup>1</sup> Željko Đurišić, dipl. inž. el., Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd

trične energije u svetu. Osim toga, postojeća dinamika kojom se eksploatišu fosilna goriva će u bliskoj budućnosti dovesti i do iscrpljenosti rezervi ovih goriva.

U ovakvim oprečnim uslovima proizvodnje i potrošnje permanentan je porast cene električne energije, čime se, već na sadašnjem nivou, stvara ekološki i ekonomski opravdana potreba uključivanja alternativnih izvora u globalnu strategiju razvoja energetike. Proizvodne jedinice koje koriste obnovljive izvore su relativno malih snaga (nekoliko kW do nekoliko desetina MW), pa se obično vezuju na niskonaponsku i srednjenaponsku distributivnu mrežu. Ovakvi izvori su raštrkani u distributivnom sistemu prema pogodnim lokacijama njihove izgradnje i nazivaju se distribuirani ili disperzovani obnovljivi izvori električne energije [1]. Postojeći trend razvoja distribuiranih obnovljivih izvora u sve većoj meri povećava procentualno učešće malih elektrana u globalnom EES-u. Ovakav trend i perspektive daljeg razvoja distribuiranih izvora u sve većoj meri dovode do decentralizacije EES-a. Iz ovih razloga je međunarodna komisija za prenosne mreže (CIGRE) predložila mešoviti koncept (slika 1) kao verovatan scenario razvoja EES-a do 2020.



Slika 1. Koncept budućeg elektroenergetskog sistema

Priključivanje malih elektrana na distributivnu mrežu je praćeno nizom tehničkih problema jer je distributivna mreža projektovana da bude radijalna. Neki od najčešćih tehničkih problema koji se javljaju pri priključenju vetroelektrana, malih hidroelektrana i solarnih (fotonaponskih) elektrana na distributivnu mrežu su analizirani u ovom radu.

## 2. EKOLOŠKI I EKONOMSKI MOTIVI PRIKLJUČENJA MALIH ELEKTRANA NA ELEKTROENERGETSKI SISTEM

Distribuirana proizvodnja ima niz pozitivnih efekata na EES i potrošače. Distribuirani izvori omogućavaju izvesnu autonomnost distributivnog sistema i veći

komfor u lokalnom upravljanju naponskim prilikama u distributivnoj mreži. Osim toga, distribuirana proizvodnja obezbeđuje veću sigurnost u napajanju potrošača, smanjuje gubitke aktivne snage i rasterećuje prenosnu mrežu.

Akumulacione male hidroelektrane omogućavaju pokrivanje vršnih opterećenja u distributivnom sistemu i plasman električne energije na tržište električne energije pod najpovoljnijim uslovima (najvećoj ceni). Fotonaponski sistemi integrisani u fasade zgrada su tipični distribuirani izvori koji mogu pokrivati pikove potrošnje pri korišćenju sistema za klimatizaciju, koji su inače vrlo neugodni potrošači za EES [2,3]. Ovakvom lokalnom (distribuiranom) proizvodnjom se vrši rasterećenje distributivnih i prenosnih transformatora i ostalih elemenata EES-a u uslovima kada oni imaju vrlo nepovoljne uslove rada (preopterećenje uz loše uslove hlađenja). Vetroelektrane često imaju karakter vršnih elektrana jer vetra, i na godišnjem i na dnevnom nivou, u proseku najviše ima kada je potrošnja električne energije najveća.

Međunarodni protokoli i obaveze o smanjenju emisije CO<sub>2</sub> (Kyoto protokol) i lokalni ekološki problemi primorali su vlade mnogih zemalja da različitim subvencijama podstiču izgradnju ekološki čistih elektrana koje koriste obnovljive izvore. Projekti obnovljivih ekološki čistih izvora imaju karakter CDM (*Clean Development Mechanism*) projekata, koji se kreditiraju pod posebno povoljnim uslovima. Zapravo, danas se ekološki i energetski problem posmatraju kao jedinstven problem obezbeđenja "zelene" energije. Uključivanjem ekologije u proizvodne troškove električne energije [4] daje šansu obnovljivim izvorima da na tržištu električne energije budu konkurentniji od komercijalnih elektrana na fosilna goriva. Na ovaj način se, ekonomskim mehanizmima, postiže izgradnja izvora električne energije za održivi razvoj čovečanstva. Ovi podsticajni mehanizmi za gradnju obnovljivih malih elektrana naročito dolaze do izražaja u deregulisanoj okruženju. To je jedan od razloga što procesi deregulacije, odnosno liberalizacije tržišta električne energije i razvoja distribuirane proizvodnje teku uporedo [5,6].

Sa druge strane, razvoj distribuirane proizvodnje nameće nove tehničke zahteve u pogledu projektovanja i zaštite elemenata u distributivnom sistemu, jer distributivna mreža, sa priključivanjem malih elektrana postaje aktivna. Osim toga, u EES-u sa značajnim udelom distribuirane proizvodnje nameće se potreba uključivanja ovih izvora u jedinstveni sistem upravljanja (SCADA sistem). Stohastičnost proizvodnje pojedinih obnovljivih distribuiranih izvora (npr. vetroelektrana), u EES-u u kojima takvi izvori imaju veliki stepen penetracije, nameće potrebu posebne organizacije regulacione rezerve, kako bi se očuvala stabilnost rada celokupnog sistema. Ispunjenje ovih tehničkih zahteva iziskuje dodatne troškove proizvodnje električne energije u malim elektranama.

### 3. UTICAJ MALIH ELEKTRANA NA ELEKTROENERGETSKI SISTEM

Da bi se neki distribuirani izvor priključio na distributivnu mrežu treba da zadovolji propisane tehničke uslove za priključenje (svaka elektroprivreda propisuje tehničke uslove o priključenju malih elektrana na distributivnu mrežu). Elektroprivreda Srbije je u maju 2003. godine, u vidu preporuke, donela "Osnovne tehničke zahteve za priključenje malih elektrana na mrežu Elektrodistribucije Srbije" [7]. Preporuke se odnose na sve male elektrane (hidroelektrane, vetroelektrane, solarne elektrane, termoelektrane na biomasu, ...) snage do 16 MVA koje se priključuju na distributivnu mrežu napona 0,4 kV, 10 kV, 20 kV ili 35 kV. Osnovni uslovi priključenja su u navedenoj preporuci definisani kroz četiri kriterijuma:

- kriterijum dozvoljene snage male elektrane;
- kriterijum flikera;
- kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika;
- kriterijum snage kratkog spoja.

Zadovoljenjem tehničkih propisa, odnosno pobrojanih kriterijuma, ne rešavaju se svi problemi rada malih elektrana u distributivnoj mreži. Sa priključenjem male elektrane na distributivnu mrežu ona gubi radikalnost, odnosno postaje aktivna. U uslovima jakog prisustva distribuirane proizvodnje u potpunosti se menjaju tokovi aktivnih i reaktivnih snaga, a time i gubici i naponske prilike u distributivnoj mreži. U potpunosti se menja i koncept relejne zaštite elemenata u distributivnom sistemu. Nivo struja kratkih spojeva u distributivnom sistemu može se znatno povećati zbog uticaja distribuiranih izvora. Iz tog razloga može se desiti da je potrebno menjati rasklopnu i drugu opremu u sistemu koja nije dimenzionisana za "nove" struje kratkog spoja. Distribuirani izvori utiču na kvalitet električne energije. Osim pozitivnog uticaja u smislu rezerviranja napajanja i poboljšanja naponskih prilika, distribuirani izvori mogu imati negativan uticaj na ostale pokazatelje kvaliteta električne energije (harmonijska izobličenja i flikeri napona).

Kod različitih tipova i tehnologija distribuirane proizvodnje pobrojani problemi su u različitoj meri izraženi. Prema dosadašnjem iskustvu zemalja u kojima je distribuirana proizvodnja znatno razvijena najveći problem pri integraciji distribuiranih izvora u EES predstavlja obezbeđenje pouzdane i selektivne relejne zaštite. Na slici 2 grafički su prikazani osnovni tehnički problemi integracije distribuiranih izvora u EES. Podaci su rezultat iskustva Finske u kojoj je distribuirana proizvodnja raznovrsna (dominiraju male hidroelektrane - oko 400 MW i vetroelektrane - oko 50 MW ukupne instalisane snage) [8].



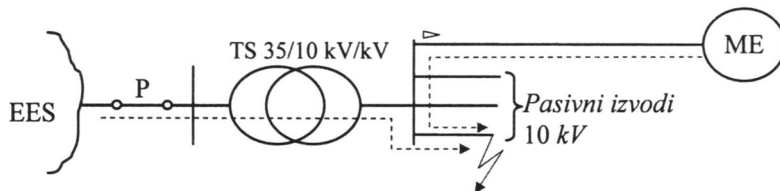
Slika 2. Tehnički problemi integracije distribuiranih izvora u EES

Na osnovu slike 2 može se zaključiti da u preko 90% slučajeva priključenja malih elektrana na distributivnu mrežu se javljaju problemi vezani za relejnu zaštitu. Takođe su izraženi problemi: neizvesnosti proizvodnje, naponske nestabilnosti, zadovoljavanja parametara kvaliteta električne energije i povećanja nivoa struje kvara u distributivnoj mreži.

### 3. 1. Uticaj malih elektrana na relejnu zaštitu u distributivnom sistemu

Obezbežbeđivanje pouzdanosti i selektivnosti zaštite u distributivnom sistemu sa integrisanom proizvodnjom predstavlja jedan od najvećih tehničkih problema integracije malih elektrana u EES [9 - 12]. S obzirom na različite tehnologije distribuirane proizvodnje, različite koncepte distributivnih mreža, različite sisteme postojeće zaštite distributivnih izvoda u distributivnim trafostanicama (TS) javljaju se različiti problemi pri priključenju distribuiranih izvora na EES.

Obično se distribuirani izvori priključuju na jedan ili više izvoda u TS VN/SN (srednji i veliki izvori) ili TS SN/SN i TS SN/NN (mali i mikro izvori). Tipična jednopolna šema priključenja male elektrane (ME – vetroelektrana ili mala hidroelektrana) na 10 kV mrežu prikazan je na slici 3. Na slici je naznačeno napajanje mesta kvara u slučaju kratkog spoja na jednom od pasivnih 10 kV izvoda.

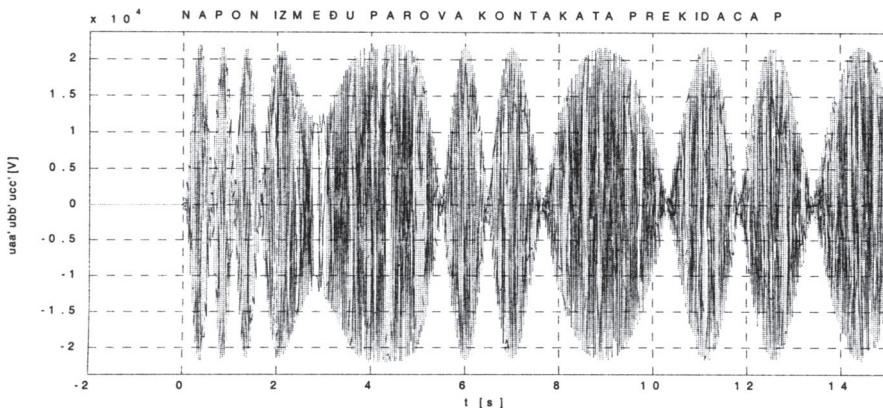


Slika 3. Ilustracija napajanja mesta kvara na pasivnom 10 kV distributivnom izvodu

Mesto kvara napajaju i EES i ME. Ukoliko bi se svi distributivni izvodi u TS štitili neusmerenom kratkospojnom zaštitom (što je uobičajeno u radijalnoj mreži), onda bi, u slučaju kvara na nekom od pasivnih distributivnih izvoda, mogao ne-selektivno odreagovati relej koji štiti izvod na kome je priključena mala elektrana. Iz tog razloga je potrebno da se izvod na kome je priključena ME štiti usmerenom zaštitom. Srednjenaponske mreže su po pravilu izolovane, pa je i za zemljospojnu zaštitu potrebno ugrađivati usmereni relej na izvodu na kojem je priključena ME.

Priključenje ME u opštem slučaju otežava efikasnu primenu sistema za automatsko ponovno uključanje (APU) u srednjenaponskim distributivnim mrežama. U slučaju radijalne distributivne mreže efikasnost sistema APU se postiže pravilnim podešenjem beznaponske pauze u radnom ciklusu APU-a. Kada postoje distribuirani izvori, napajanje mesta kvara je dvostrano, i sa strane prenosne mreže i sa strane distributivne mreže, pa se jednostranim isključenjem ne obezbeđuje beznaponsko stanje na mestu kvara. U ovakvim uslovima, moraju se obezbediti na oba kraja štićenog voda sinhronizovani sistemi za APU.

Poseban problem primene APU predstavlja obezbeđenje sinhronizma napona sa strane EES-a i distributivne mreže pri ponovnom uključanju. Problem obezbeđivanja sinhronizma se javlja i pri svakoj drugoj rekonekciji (koja ne mora biti posledica rada APU) distributivne mreže sa distribuiranim izvorima na EES. Na slici 4 prikazan je rezultat simulacije napona na prekidaču P (slika 3) kojim je izvršena diskonekcija distributivnog sistema sa prenosne mreže (prekidač P na slici 3). Simulacije su sprovedene korišćenjem opšteg matematičkog model indukcione mašine u prostoru stanja [13]. U simulaciji je pretpostavljeno da je distributivna mreža u potpunosti kompenzovana a da je opterećenje u konstantno i blisko ukupnoj instalisanoj snazi ME.



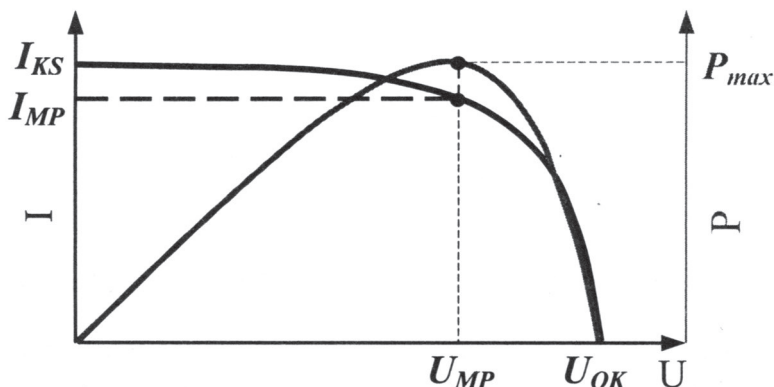
Slika 4. Naponi između parova kontakata na 35 kV prekidaču (svedeni na naponski nivo 10 kV) neposredno nakon njegovog isključenja

Nesinhrono ponovno uključenje prekidača P u trenucima kada su fazori napona sa strane EES-a i distributivnog sistema u protivfazi bi dovelo do strujnog udara, koji bi mogao izazvati reagovanje brze prekostrujne zaštite ME i njen ispad iz pogona. Nesinhrono uključenje bi moglo oštetiti obrtne mašine i energetske elektrone u ME, zbog udarnih struja koje bi se javile pri nesinhronom ponovnom priključenju distributivnog sistema na EES. Dakle, potrebno je da postoji sinhronizator koji će kontrolisano uključivati prekidač u trenucima kada se fazori napona sa strane EES-a i distributivne mreže poklapaju.

### 3.2. Uticaj malih elektrana na struje kratkih spojeva u distributivnoj mreži

Distribuirani izvori povećavaju nivo struje kratkog spoja u distributivnoj mreži. Prema propisima [7] pri priključenju distribuiranih izvora snage veće od 1MW potrebno je proveriti nivo struje kratkog spoja i utvrditi da li postojeća rasklopna oprema zadovoljava u pogledu termičkih i mehaničkih naprezanja. Ovakva preporuka je dosta gruba jer nivo struje kratkog spoja pored instalisane snage zavisi i od tipa distribuiranog izvora.

Kod fotonaponskih ćelija koje nemaju akumulacione baterije karakteristično je da je struja kratkog spoja neznatno veća od radne struje. Na slici 5 prikazana je tipična izlazna ( $I$ - $P$ ) karakteristika fotonaponske ćelije [3]. Solarni fotonaponski moduli i paneli su na distributivnu mrežu povezani preko energetskog pretvarača koji omogućava optimalno upravljanje, tako da fotonaponska ćelija radi u tački maksimalne snage.



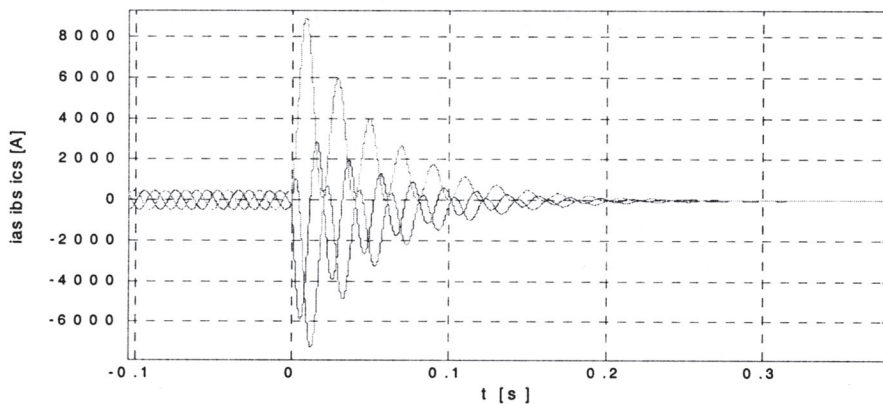
Slika 5:  $I$  -  $U$  karakteristika solarne ćelije sa tačkom maksimalne snage

U slučaju kratkog spoja u distributivnoj mreži (slika 3), struja kvara u priključnom vodu kojim je solarna elektrana (ME na slici 3) vezana na mrežu će se samo neznatno povećati u odnosu na radnu struju koja je prethodila kvaru. Ovo je

dobra karakteristika fotonaponskih ćelija jer sam izvor, energetski pretvarač i rasklopna oprema mogu bez posledica da trpe i dugotrajne kratke spojeve u mreži. Sa druge strane, kod ovakvih distribuiranih izvora, u koje pored fotonaponskih ćelija spadaju i gorivne ćelije, postoji problem da relejna zaštita razlikuje radne struje od struja kvara. Kratkospojna zaštita se u ovakvim slučajevima može izvesti sa podnaponskim relejem, koji će reagovati u slučaju kratkih spojeva na distributivnom izvodu na kojem je priključen fotonaponski sistem.

Kod distribuiranih izvora koji koriste obrtne mašine (indukcioni i sinhroni generator) struje kratkog spoja mogu biti višestruko veće od nominalnih struja sa izraženim jednosmernim komponentama. Najveći broj distribuiranih izvora kod kojih se vrši elektromehanička konverzija energije (male hidroelektrane, vetroelektrane) koriste indukcijske generatore. Iz tog razloga u ovom radu biće sprovedena kvalitativna analiza uticaja indukcijskih generatora na struju trolejnog kratkog spoja.

Na slici 6 prikazana je simulacija vremenskog toka struja kratkog spoja na priključcima jednog realnog vetroagregata sa indukcionim kaveznim vetrogeneratorom snage 500 kW i nominalnog napona  $U=690$  V, kakav je izgrađen na lokaciji Vilusi [14].



Slika 6. Uticaj vetrogeneratora na struje trolejnog kratkog spoja u distributivnoj mreži

Kratkom spoju koji je simuliran na slici 6 prethodio je nominalni režim rada a trenutak kvara je proizvoljan. Na osnovu analize slike 6 može se zaključiti da se, pri kratkom spoju, javljaju udarne struje i izražene jednosmerne komponente struje kvara. Distribuirani izvori generalno povećavaju vremensku konstantu jednosmerne struje kvara, dok su prekidači u distributivnoj mreži uglavnom projektovani za standardnu vremensku konstantu od 45 ms, tako da i u ovom pogledu može biti ugrožen rad prekidača [15].



Jednosmerne komponente struje kvara mogu izazvati zasićenje zaštitnih strujnih transformatora u TS SN/NN, što može izazvati nepravilno funkcionisanje kratkospojne zaštite, pa je potrebno proveriti da li postojeći strujni transformatori zadovoljavaju u novim uslovima struje kvara.

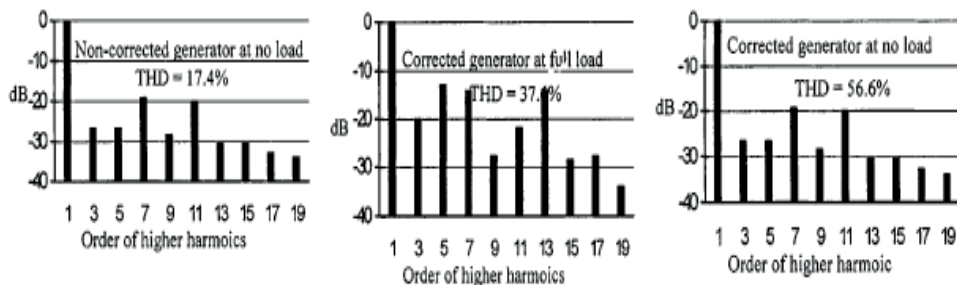
Kratki spojevi u blizini indukcionih generatora su opasni i za pogonski motor (turbinu), jer udarni momenti mogu uzrokovati havariju prenosnog mehanizma (reduktora i vratila) koji povezuje turbinu i rotor generatora.

Kratak spoj u distributivnoj mreži predstavlja u električnom smislu rasterećenje generatora, pa pri trajanju kratkog spoja dolazi do naglog ubrzanja turbine i rotora generatora. Nakon isključenja kvara, odnosno pasivnog izvoda koji je pogodan kvarom, sa aspekta mreže stvaraju se uslovi za povratak generatora u radni režim, ali se postavlja pitanje njegove tranzijentne stabilnosti.

### 3. 3. Uticaj malih elektrana na kvalitet električne energije

Distribuirani izvori mogu bitno uticati na kvalitet električne energije ukoliko je njihova snaga značajna i ako su priključeni na slabu mrežu. Osim pozitivnog uticaja u smislu povećanja pouzdanosti napajanja i poboljšanja naponskih prilika, distribuirani izvori mogu imati negativan uticaj na ostale pokazatelje kvaliteta električne energije. Distribuirani izvori injektiraju više harmonike struje u distributivnu mrežu. Nivo viših harmonika je izražen kod distribuiranih izvora koji su priključeni na mrežu preko energetske pretvarača [16, 17], a to su najčešće fotonaopnski sistemi, gorivne ćelije i vetroelektrane. Kod ovakvih izvora, zbog rada energetske pretvarača, značajan je nivo harmonika visoke učestanosti i interharmonika (red harmonika zavisi od prekidačke učestalosti energetske pretvarača koja je obično nekoliko kHz) koji se manifestuju kao strujni ripl. Visoke učestalosti struje slabo propagiraju u sistem ali mogu izazvati probleme elektromagnetske kompatibilnosti i radio smetnje, takođe mogu uzrokovati nepravilnosti u radu uređaja za relejnu zaštitu i sistema za merenje električne energije. Ostali izvori koji su direktno priključeni na mrežu i koji koriste indukcionu mašinu kao generator, zbog nelinearnost magnetskog kola mašine, nesavršenosti namotaja, i brzih varijacija pogonskog momenta mogu generisati značajan nivo viših harmonika struje, pri čemu dominiraju harmonici nižeg reda.

U literaturi [18] analiziran je nivo harmonika koje injektiraju male hidroelektrane sa indukcionim mašinama kao generatorima. Pokazalo se da nivo viših harmonika struje kod indukcionih mašina male snage zavisi od opterećenja i da dominiraju neparni harmonici nižeg reda. Interesantno je da se nivo harmonika višestruko povećava ako se izvrši direktna kompenzacija reaktivne snage (popravlak faktora snage) indukcionih mašina. Na slici 7 prikazani su rezultati harmonijske analize koji su preuzeti iz literature [18].



Slika 7. Nivo harmonika struje šestopolnog indukcionog generatora u mikro hidroelektrani u režimima paznog hoda i punog opterećenja bez i sa izvršenom kompenzacijom

Viši harmonici povećavaju gubitke električne energije u svim elementima distributivnog sistema a takođe se mogu javiti i rezonantni i ferorezonantni efekti. Iz pomenutih razloga u nekim uslovima nivo viših harmonika struje može biti ograničavajući faktor za snagu male elektrane koja se priključuje na mrežu [19].

U slaboj distributivnoj mreži, na koju su priključeni distribuirani izvori, mogu se javiti izobličenja talasnih oblika napona koji su posledica propagacije viših harmonika struje u distributivnu mrežu. Kod stohastičkih izvora, kao što su vetroelektrane, zbog varijacije snage proizvodnje mogu se javiti flikeri i propadi napona [20, 21], oni su naročito izraženi kod slabe distributivne mreže. Osim stohastičnosti vetra, flikere mogu uzrokovati i periodične oscilacije lopatica vetroturbinne koje se javljaju zbog visinskog profila brzine vetra i vetrogeneratorskog stuba koji slabi pritisak vetra na lopaticu koja prolazi ispred njega [22].

Da bi se negativni uticaji distribuiranih izvora na kvalitet električne energije smanjili neophodno je da oni imaju mogućnost upravljanja reaktivnom snagom i da u distributivnom sistemu postoje instalirani filtri viših harmonika kao i dinamički sisteme (bazirane na energetskej elektronici) za smanjenje propada i kolebanja napona.

Upravljanje reaktivnom snagom radi održavanja naponskih prilika u distributivnom sistemu je delikatan tehnološki optimizacioni problem u kojem se analizira optimalno generisanje reaktivne snage iz distribuiranih izvora, kompenzacionih sistema priključenih u čvorišta distributivne mreže i generisanje reaktivne snage iz prenosne mreže [23].

#### 4. ZAKLJUČAK

U razvoju globalnog EES-a jasno je uočljiv trend porasta decentralizovane proizvodnje električne energije. Ovakav trend je posledica globalnih ekoloških i energetskih problema, ali i velikih tehnoloških i tehničkih napredaka u gradnji sistema

za efikasno dobijanje električne energije iz nekih nekonvencionalnih izvora. Povećanje decentralizovane proizvodnje pozitivno utiče na EES jer se rasterećuje prenosni sistem, smanjuju gubici električne energije i obezbeđuje izvesna autonomnost distributivnih sistema. Međutim, sa tehničkog aspekta integracija malih elektrana u EES je praćena problemima vezanim za relejnu zaštitu, kvalitet električne energije i upravljanje. Rešavanje ovih problema predstavljaće jedan od najvećih izazova stručnoj i istraživačkoj javnosti. Odgovor na pitanje kako uključiti značajan broj obnovljivih izvora u postojeći EES imaće jedno od centralnih mesta.

„*Molim Vas, budite spremni za promene, jer budućnost nije više ono što je nekada bila.*” (M.Chamia - završnu poruka na 39. savetovanju CIGRE, 2002. godine u Parizu)

## 5. LITERATURA

- [1] N. Rajaković, Ž. Đurišić, *Distribuirana proizvodnja električne energije – definicije i podele*, Energetika, br. 2, jun 2005. pp. 140 – 143.
- [2] Allied Business Intelligence, Distributed generation, *Photovoltaics Bulletin*, July 2002.
- [3] M. Đurić, A. Čukarić, Ž. Đurišić, *Elektrane*, Elektrotehnički fakultet Beograd – Elektrotehnički fakultet Priština 2004.
- [4] D. Mikičić, Ž. Đurišić, B. Radičević: *Vetrogeneratori – perspektivni izvori električne energije*, Elektroprivreda, br. 4, 2002. pp. 5 – 14.
- [5] Ž. Đurišić, N. Rajaković, *Perspektivne tehnologije distribuirane proizvodnje električne energije*, Energetika, br. 2, jun 2005. pp. 151 – 158.
- [6] International Energy Association (IEA), *Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets*, Paris, 2002, p. 128.
- [7] *Osnovni tehnički zahtevi za priključenje malih elektrana na mrežu Elektrodistribucije Srbije – Tehnička preporuka br. 16*, JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije Srbije, maj 2003.
- [8] R. Komulainen, *Distributed Generation Integration*, VTT Technical Research Center of Finland, 2003.
- [9] S. M. Brahma, A. A. Girgis, *Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems With High Penetration of Distributed Generation*, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 19, No. 1, January 2004. pp. 56 – 63
- [10] J.C. Gómez, M.M. Morcos, *Coordinating Overcurrent Protection and Voltage Sag in Distributed Generation Systems*, *IEEE Power Engineering Review*, February 2002. 16 – 19
- [11] T. Short, *Surge Protection Issues with Distributed Generation*, *Surge Protective Devices Committee Meeting*, Cincinnati, USA, 2000.
- [12] A. S. K. Salman, I. M. Rida, *Investigating the Impact of Embedded Generation on Relay Settings of Utilities' Electrical Feeders*, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 16, No. 2, April 2001, pp. 246 – 251.

- [13] Ž. Đurišić, M. Đurić, *Opšti model indukcione mašine* (I i II deo), Informacione tehnologije, Žabljak, 2005.
- [14] V. Vučić, Ž. Đurišić, *Tehnički i energetske uslovi priključenja vjetroagregata snage 500 kW na lokaciji Vilusi*, Zbornik radova 27. savetovanja CIGRE, Zlatibor 2005.
- [15] D. Bekut, S. Mandić, *Utjecaj generatora na prekidače i zaštitu u distributivnoj mreži*, Elektrodistribucija br.1, 2005. pp. 66 – 75.
- [16] A. R. Oliva, J. C. Balda, A PV Dispersed Generator: A Power Quality Analysis Within the IEEE 519, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 18, No. 2, April 2003. pp. 525 – 530.
- [17] Z. Chen, E. Spooner, Grid Power Quality with Variable Speed Wind Turbines, *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 16, N° 2, June 2001.
- [18] J. Voršič, A. Orgulan, M. Horvat, D. Koritnik, Very Small Hydroelectric Plants— Their Influence on the Supply Network, *IEEE Tran. on Energy Conversion*, Vol. 15, N° 3, September 2000. pp. 323 – 327.
- [19] A. Bhowmik, A. Maitra, S. M. Halpin, J. E. Schatz, “Determination of Allowable Penetration Levels of Distributed Generation Resources Based on Harmonic Limit Considerations”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 18, No. 2, April 2003. pp. 618 – 624.
- [20] T. Thiringer, T. Petru, S. Lundberg, “Flicker Contribution From Wind Turbine Installations”, *IEEE Tran. on Energy Conversion*, Vol. 16, N° 2, 2001.
- [21] N.G. Boulaxis, S.A. Papathanassiou, M.P. Papadopoulos, Wind turbine effect on the voltage profile of distribution networks, *Renewable Energy* N° 25, 2002, pp. 401–415.
- [22] T. Thiringer, J. Dahlberg, Periodic Pulsations from a Three-Bladed Wind Turbine, *IEEE Tran. on Energy Conversion*, Vol. 16, N° 2, 2001.
- [23] R. Caldon, F. Rossetto, A. Scala, Reactive power control in distribution networks with dispersed generators: a cost based method, *Electric Power Systems Research*, N° 64, 2003. pp. 209- 217.

## 6. ACKNOWLEDGEMENTS

**This work was supported by European Commission, Directorate General on Research and Technology Development and International Co-operation Activities (INCO) under contract no FP6-509161 (RISE Project – [www.rise05.net](http://www.rise05.net)).**