

Povratno djelovanje fotonaponske elektrane na distributivnu elektroenergetsku mrežu

Ivan Ramljak
 Poslovnica "Elektro Široki Brijeg"
 Distribucija električne energije
 J.P "Elektroprivreda HZ HB" d.d Mostar
 ivanramljak1985@gmail.com

Sadržaj—U radu će biti prikazani i analizirani parametri kvalitete električne energije koju fotonaponska elektrana (FNE) snage 150 kWp predaje u srednjenaponske 10 kV distributivnu mrežu (DM). Cilj je odrediti kakvo je povratno djelovanje FNE na DM koju napaja po pitanju kvalitete električne energije. Metoda kojom će se dobiti rezultati utjecaja FNE na kvalitetu električne energije DM je metoda mjerenja. Mjerenje je rađeno na sučelju FNE-DM. Dobiveni rezultati će se analizirati i iskomentirati.

Ključne riječi—fotonaponska elektrana; kvaliteta električne energije; distributivna mreža;

I. UVOD

Obnovljive izvore energije čine izvori energije koji ne mogu vremenom nestati i koji ne zagađuju okoliš. To im je prednost pred konvencionalnim izvorima energije. Danas je to jako bitno jer je zaštita okoliša postala bitan faktor opstojnosti čovjeka na Zemlji. Najeksplozivniji obnovljivi izvori energije su iz vjetra (vjetroelektrane), sunca (FNE) i biomase (elektrane na biomasu). Naravno, na neki način se i sve hidroelektrane mogu svrstati u obnovljive izvore energije. Stanje u BiH po pitanju implementacije obnovljivih izvora je dosta loše. Malo je izgrađenih proizvodnih kapaciteta obnovljivih izvora energije koji su u eksploataciji, osim velikih hidroelektrana. Ciljevi Europske Unije su da se konstantno povećava udio dobijene energije iz obnovljivih izvora. Prema tome, pred nama u BiH je jako velik izazov. Valja napomenuti da obnovljivi izvori ipak donose promjene u cjelokupni režim rada elektroenergetskog sustava (zaštita, tokovi snaga, kvalitet električne energije...). U ovom radu će biti analizirani rezultati mjerenja parametara kvalitete električne energije na mjestu predaje energije od strane FNE u DM da se odredi povratno djelovanje FNE na DM.

II. PRIKLJUČAK FNE NA DM

U ovom slučaju, FNE je snage 150 kWp i priključena je na niski napon (0,4 kV) transformatorske stanice (TS) montažno betonskog tipa (MBTS) 10(20)/0,4 kV. U MBTS se energija iz FNE transformira preko energetskeg transformatora 10(20)/0,4 na 10 kV napon i dalje se plasira u 10 kV kabelsku DM koja prelazi potom u nadzemnu Al/Če DM te napaja više seoskih TS 10/0,4 kV. Udaljenost između FNE i MBTS je oko 300 m. Pored promatrane FNE se nalazi još jedna FNE sličnih karakteristika i snage. Obje FNE su priključene na niskonaponsku stranu MBTS te nema nikakvih drugih niskonaponskih izvoda iz MBTS.

III. MJERENJE PARAMETARA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Granica između FNE i DM je energetski gledano na niskonaponskim sabirnicama MBTS gdje završava energetski kabel koji povezuje FNE i MBTS. Tu se vrši mjerenje povratnog djelovanja FNE na DM (slika 1). Memobox 300 smart je uređaj kojim je vršeno mjerenje, a sami rezultati mjerenja su analizirani u programskom paketu CODAM PLUS koji je kompatibilan sa uređajem ovog tipa. Memobox 300 smart je sofisticirani uređaj poduzeća LEM (FLUKE) koji služi za analizu kvalitete električne energije, otkrivanje smetnji na uređajima i strojevima i optimizaciju mreže na niskom i srednjem naponu. Postoji više verzija i tipova Memoboxa 300 smart, a korišteni uređaj je "advanced" tipa i kao takav je analizator kompletne kvalitete električne energije. Prema normi [7] ovaj uređaj spada u uređaje klase točnosti B, gdje su dopuštene veće pogreške mjerenja, nego kod uređaja klase A. Međutim, prema [8] mjerna nesigurnost (pogreška mjerenja) koja se javlja kod uređaja Memobox 300 smart u industrijskoj praksi je zanemariva u odnosu na rezultate uređaja klase A. Kod ovog uređaja proizvođač je dao dopuštenu mjernu nesigurnost za napon 0,1%; za struju 2%; za flikere 5%; za snagu 2%; za propade napona i prenapone 2% i za THDU(I) od 0,15% (2%) do 5% kod iznosa THDU(I)>3%.



Slika 1. Izgled mjernog mjesta u MBTS sa mjernim uređajem

Proučavanje kvalitete električne energije je postalo “zasebno” područje proučavanja u elektroenergetici. Teško je nabrojati sve razloge zbog čega je kvaliteta električne energije važna. Može se samo ukratko reći da je električna energija u današnje moderno doba postala roba, kao i svaka druga, te ima svoju cijenu, pa onda se očekuje i određeni kvalitet za tu cijenu. U BiH, gdje je monopolistički model elektroprivredne djelatnosti nije razvijeno u potpunosti područje ispitivanja kvalitete električne energije, ali će s vremenom pitanje kvalitete električne energije biti sigurno bitnije i potrebnije za razmatrati. Važno je reći da svaka deregularizacija tržišta (mogućnost izbora dobavljača električne energije) električne energije povlači sa sobom pitanje kvalitete električne energije mnogo više nego kod monopolističkih sustava. To je trend koji je prisutan u Europi. Mjerenje parametara kvalitete električne energije se vrši na mjestu gdje sustav (mreža) predaje električne energije potrošaču ili na mjestu gdje proizvođač predaje električnu energiju sustavu (mreži). Ovo posljednje važi za obnovljive izvore energije integrirane u energetska mrežu. Ovisi o pojedinom slučaju koja je točka predajna točka energije između mreže i proizvođača/potrošača. U ovom slučaju FNE, ta je točka niskonaponska sabirnica u MBTS gdje završava energetska kabel koji povezuje FNE i MBTS. Mjerenje parametara kvalitete električne energije je provedeno za FNE da se ustanovi stupanj povratnog djelovanja FNE na 10 kV DM na koju je spojena. Postoji više parametara kvalitete električne energije koji bi se morali uzeti u obzir pri zaključku kakvo je povratno djelovanje potrošača ili proizvođača na mrežu na koju je spojen. Sami smisao provođenja ispitivanja povratnog djelovanja je činjenica da je mreža galvanski vezan sustav koji čini mnoštvo sudionika koji “djele” istu mrežu i preko nje su praktično povezani. Cilj je da niti jedan sudionik u mreži, bio to potrošač ili proizvođač, ni na koji način ne naštetiti kvalitetu energije koju dobija neki drugi sudionik u istoj mreži. Tijekom vremena kako se razvijala potreba za standardizacijom električne energije kao robe određene kvalitete, razvijale su se i norme i pravilnici za električnu energiju kao standardiziranu robu strogo određene kvalitete. Postoje mnoge norme koje opisuju kvalitet električne energije, a u Europi je najeksplicitnija EN 50160 (izdana od strane CENLEC-a). Ta norma daje propise za sve parametre kvalitete električne energije. Ovdje se neće opisivati posebno svi parametri iz norme i njihovo značenje, samo će se napomenuti da je ona referentna za područje kvalitete električne energije. U BiH ta norma nije “zakon”, ali se po uzoru na nju, donose pravilnici u kojima se daju upute za tretiranje parametara kvalitete električne energije. Te pravilnike, kao podzakonske akte donose regulatorna tijela, a što se tiče Elektroprivrede HZHB, Mostar, dva su pravilnika u kojima su navedeni parametri kvalitete električne energije koji se moraju analizirati i regulirati. To su: “Mrežna pravila J.P Elektroprivreda HZHB” i “Opći uvjeti za isporuku električne energije J.P Elektroprivreda HZHB”. Oba ova pravilnika su proizašla iz zakona o električnoj energiji Federacije BiH. Teško bi bilo analizirati i opisivati što sve donose EN 50160 i

navedeni pravilnici, te zatim uspoređivati ograničenja te parametre kvalitete električne energije. Također, neće se posebno opisivati načini mjerenja parametara kvalitete električne energije (to je preopširno za ovaj rad), ali se naglašava se da su sva mjerenja analizirana po normi EN 50160. Međutim, za svaki analizirani parametar kvalitete električne energije pri komentiranju dobivenih rezultata mjerenja opisati će se ograničenja za taj parametar i dati usporedni rezultati iz EN 50160 i navedenih pravilnika Elektroprivrede.

IV. REZULTATI MJERENJA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE KAO OCJENA POVATNOG DJELOVANJA FNE NA DM

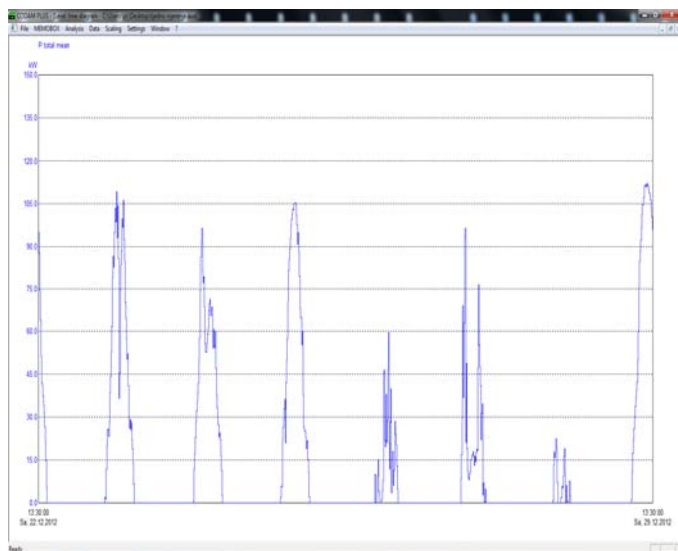
Mnogo je parametara kvalitete električne energije, a MEMOBOX kojim je rađeno ovo ispitivanje mjeri “sve” parametre kvalitete električne energije. Najvažniji parametri kvalitete električne energije na mjestu priključka potrošača/proizvođača su:

- promjene napona ovisno o promjeni opterećenja,
- faktor kratkotrajnog i dugotrajnog flikera,
- frekvencija,
- nesimetrija napona,
- viši harmonijski članovi struje i napona,
- faktor ukupnog harmonijskog izobličenja struje i napona,
- faktor snage

Na osnovu dobijenih rezultata mjerenjem parametara kvalitete električne energije mora se jednoznačno iskazati spremnost FNE za trajni pogon ili ograničenja iste. Ovdje se ima relativno specifičan slučaj, dvije FNE relativno sličnih karakteristika i snage koje su fizički jedna do druge a daju energiju na 0,4 kV naponu u jednu MBTS, koja služi samo za priključak FNE. Ta se energija transformira na 10 kV u MBTS i kabelom se transferira na zračnu Al/Če mrežu te napaja potrošače sa više TS 10/0,4 kV. Znači, praktično, obje FNE zbog svog položaja rade gotovo ujednačeno, tj. kada ima insolacije obje daju energiju, a kada nema dovoljno insolacije obje FNE su pod naponom ali ne daju energiju u sustav (prazni hod). Zbog ovakve situacije, jednim sedmodnevnim (tjednim) mjerenjem se može analizirati povratno djelovanje FNE na DM kada FNE radi ali i kada je FNE pod naponom a ne proizvodi energiju. Time se može analizirati egzaktno povratno djelovanje FNE na DM kada je ista u pogonu, ali i promatrati FNE kada je praktično u praznom hodu spojena na DM. Dobivenim rezultatima tjednog mjerenja po EN 50160 može se dakle u potpunosti analizirati povratno djelovanje FNE na DM. Pretvarači koji se nalaze u ovoj FNE se sastoje od DC/DC (istosmjerno/istosmjerno) pretvarača sa MPPT (maximum power point tracking) regulatorom napona koji osigurava maksimalnu proizvodnju energije iz panela u bilo kojim uvjetima i DC/AC (istosmjerno/izmjenično) pretvarača. Regulatori napona MPPT rade na način da na svom ulazu uvijek održavaju napon solarnih panela na iznosu za koji je snaga panela najveća.

Za početak, treba reći da je elektrana u radu tijekom mjerenja bila tjedan dana, od 22. do 29.12.2012. god. Tijekom tog perioda mjerenja elektrana je dosegla vršnu snagu od 112,28

kW što je oko 75% maksimalne snage koju može dati. Taj postotak je dosta velik i može se zaključiti da su dobijeni mjerodavni rezultati za ispitivanje rada FNE. Naime, ne bi imalo smisla ispitivati rad FNE i utjecaj iste na mrežu bez 25-50% opterećenja [2]. Na slici ispod je prikazan dijagram rada FNE, gdje se vidi kada je FNE radila (dan), kada FNE nije radila (noć), te kada je radila varijabilno (oblačan dan). Vidi se da iako je u pitanju mjesec prosinac, FNE doseže čak 75% nazivne snage, što je dosta dobro za to doba godine i što znači da je stupanj insloacije lokacije FNE dosta visok. Na sljedećoj slici (slika 2) je prikazan dnevni dijagram rada FNE.

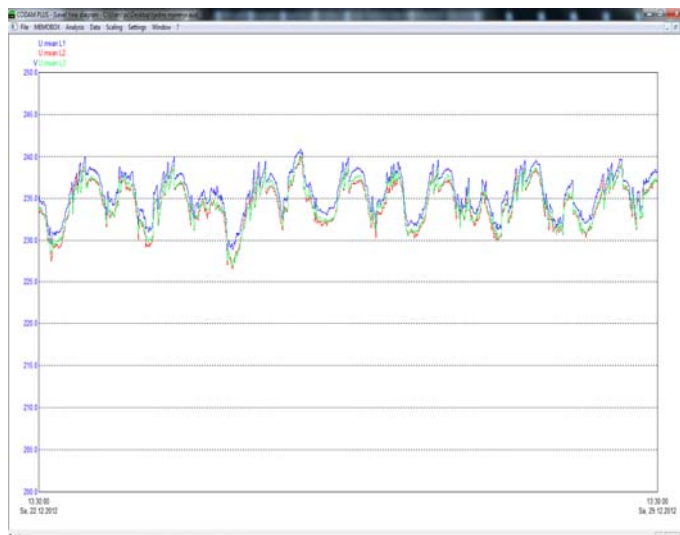


Slika 2. Graf radne snage FNE u vremenu

Parametri kvalitete električne energije:

A. Promjene napona ovisno o promjeni opterećenja

Napon na mjestu isporuke električne energije korisnicima distribucijske mreže u normalnom pogonu održaje se za niskonaponsku mrežu u vrijednosti od +5% do -10% nazivne vrijednosti prema mrežnim pravilima. EN 50160 je mnogo blaža u ovom slučaju i ona dopušta odstupanje napona od +/-10% tijekom 95% tjedna, a otalih 5% tjedna su dopuštena odstupanja još veća, +10/-15%. Odstupanja u ovom slučaju su bila od +4,73% do -1,48%, znači u propisanim granicama. Na slici ispod (slika 3) je dana vremenska promjena napona u ovisnosti o opterećenju. U pitanju je efektivna vrijednost napona (U_{ef}) mjerena u 10 min. periodama.



Slika 3. Promjena napona po fazama ovisno o opterećenju

B. Faktor kratkotrajnog i dugotrajnog flikera (treperanja)

Vrijednost flikera se utvrđuje pomoću sljedećih veličina:

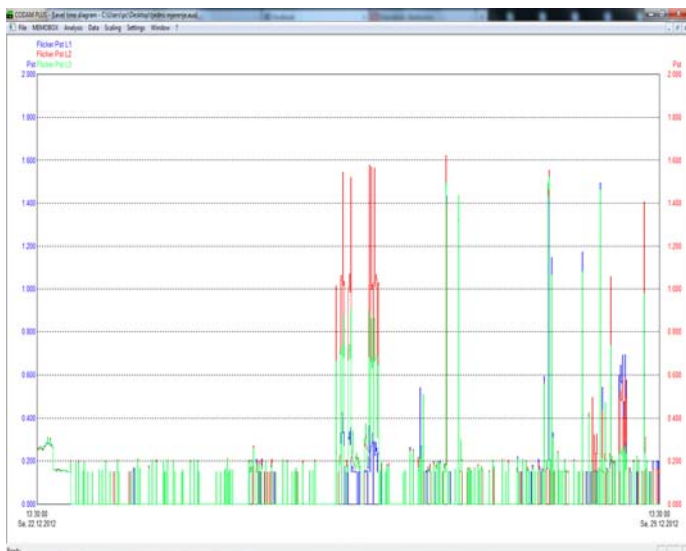
- kratkotrajna jakost flikera (P_{st}) tijekom vremenskog perioda od 10 minuta.
- dugotrajna jakost flikera (P_{lt}) koja se računa na temelju niza od 12 vrijednosti P_{st} .

Uzrok flikera su promjene napona (prenaponi i propadi napona) koje su nastale ili zbog brzih promjena opterećenja potrošača/proizvođača relativno velike snage u odnosu na snagu kratkog spoja u datoj točki mreže ili zbog kvarova u mreži. Ako su flikeri nastali zbog brzih promjena opterećenja potrošača, uzrok flikera je potrošač. Ako su flikeri nastali zbog kvarova u mreži, mreža je uzrok flikera. Prema mrežnim pravilima, vrijednosti flikera prouzročenih priključenjem proizvođača i/ili kupca na mjestu preuzimanja ili predaje električne energije mogu iznositi najviše:

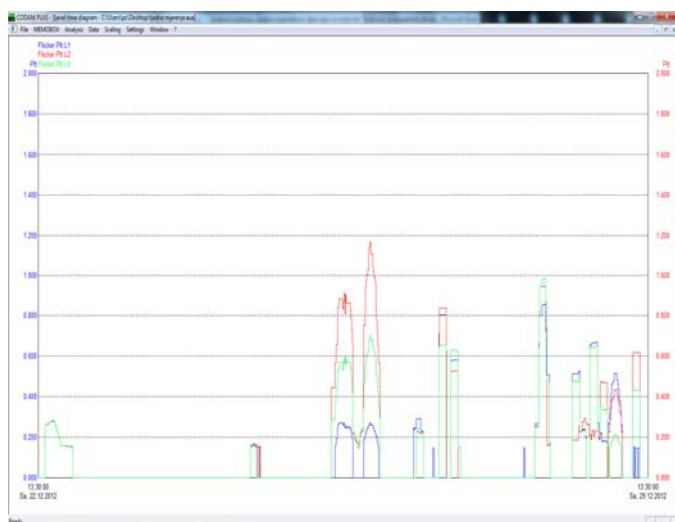
- za kratkotrajne flikere (P_{st}): 0,7,
- za dugotrajne flikere (P_{lt}): 0,5

Prema EN 50160 dopuštene vrijednosti flikera su definirane sa $P_{lt} < 1$ tijekom 95% vremena tjednog mjerenja.

Na slikama ispod (slika 4 i 5) su prikazane promjene flikera P_{st} i P_{lt} .



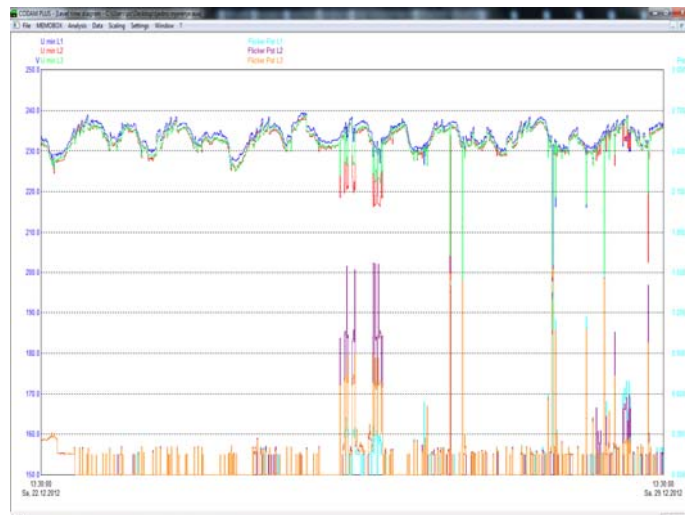
Slika 4. Promjena kratkotrajnog flikera P_{st} po fazama



Slika 5. Promjena dugotrajnog flikera P_{ti} po fazama

Iz priloženih slika se vidi da novopriključena FNE ne utječe na razinu flikera (ni kratkotrajnih ni dugotrajnih) u mreži. Utjecaj je toliki da pri proizvodnji iz FNE kratkotrajni flikeri se povećavaju za procjenjenu vrijednost manju od 0,1 što je dosta manje od dopuštenih 0,7. Dugotrajni flikeri se povećavaju pri normalnom pogonu procjenjeno manje od 0,1 što je također manje od dopuštenih 0,5. Znači, FNE zadovoljava u ovom pogledu. Međutim, vidljivo je sa slika da postoje povećane vrijednosti flikera u određenim trenucima. Te povećane vrijednosti su se javljale dok FNE nije proizvodila, pa ista nije mogla biti uzrok flikera. Flikeri se javljaju zbog propada u distributivnoj mreži koju napaja FNE. Ti propadi (brza promjena napona koju u ovom slučaju čini pad napona veći od 10%) su prolazni mrežni kvarovi ili uključenje velikih potrošača negdje u mreži što je i zabilježeno mjerenjem. Na sljedećoj slici (slika 6) je prikazan odnos promjena minimuma napona jednog 10 min. perioda (zabilježena vrijednost napona od 10 ms u 10 min), flikera i proizvodnje FNE za fazu L1, gdje se vidi da se flikeri javljaju kada FNE ne radi, a praćeni su sa naponskim propadom, koji je najvjerojatnije rezultat prolaznog kvara u DM. Pri radu FNE promjene flikera su zanemarive. Slično je i za druge dvije faze.

kratkotrajnih vrijednosti flikera. Vidi se izraženost flikera pri propadima napona.



Slika 6. Promjena flikera P_{st} ovisno o propadima napona po fazama

Potencijalno, FNE može biti uzrok povećanih flikera kada ima promjene opterećenja pri proizvodnji (odnos minimalne i maksimalne snage u periodu mjerenja). Na sljedećoj slici je prikazan odnos promjene minimuma napona jednog 10 min. perioda (zabilježena vrijednost napona od 10 ms u 10 min), flikera i proizvodnje FNE za fazu L1, gdje se vidi da se flikeri javljaju kada FNE ne radi, a praćeni su sa naponskim propadom, koji je najvjerojatnije rezultat prolaznog kvara u DM. Pri radu FNE promjene flikera su zanemarive. Slično je i za druge dvije faze.

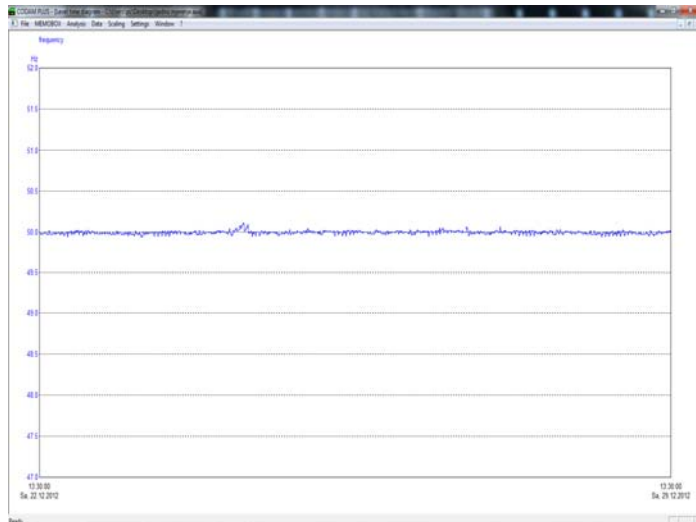


Slika 7. Odnos proizvodnje FNE, minimalnog periodnog napona i flikera P_{st} (za fazu L1)

C. Frekvencija

Nazivna frekvencija (f) iznosi 50 Hz. U normalnim pogonskim uvjetima frekvencija se održava u granicama prema mrežnim

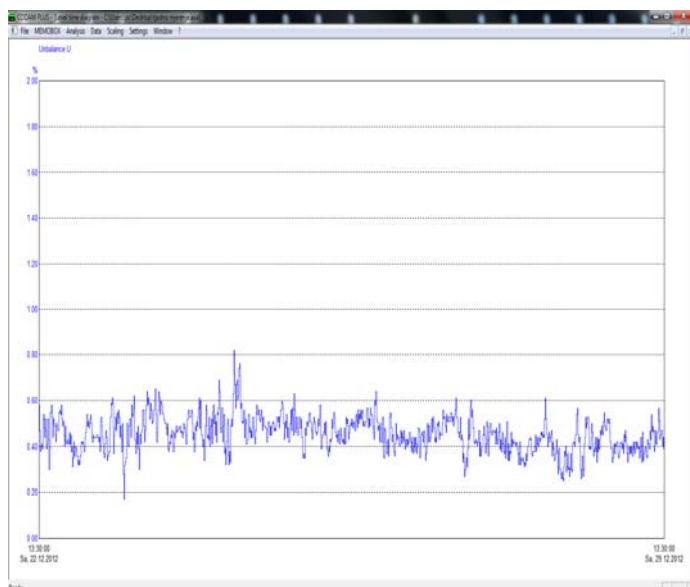
pravilima od 49,90 do 50,10 Hz, ako se frekvencija regulira automatski (ovaj slučaj). Prema EN 50160, granice održavanja frekvencije su "blaže" nego kod mrežnih pravila. Prema EN 50160 dopuštena odstupanja frekvencije su tijekom 99,5% vremena mjerenja, +/- 1% (10 sekundno usrednjavanje tijekom jedne godine), a tijekom 100% vremena u dopuštena odstupanja +4/-6%. Na slici 8 je dana frekvencija pri mjerenju, koja je u dopuštenim granicama.



Slika 8. Promjena frekvencije u vremenu

D. Nesimetrija napona

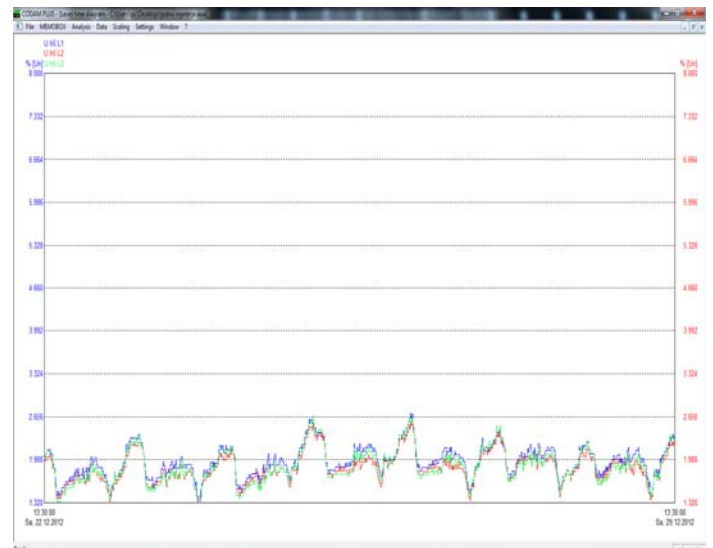
Nesimetrija napona prema Mrežnim pravilima na mjestu preuzimanja i/ili predaje prouzročena priključenjem proizvođača i/ili kupca ne smije prelaziti 1,3% U_n (nazivnog napona). Prema EN 50160, dopuštena nesimetrija napona u nekom čvoru je 2% U_n . Priključenjem FNE nesimetrija napona se povećala za 0,44%, što je manje od dopuštenih 1,3%.



Slika 9. Nesimetrija napona

E. Viši harmonijski članovi struje i napona

Viši harmonici se javljaju kod FNE zbog rada pretvarača. Napon višeg harmonika je sinusni napon, čija je frekvencija cjelobrojni višekratnik frekvencije osnovnog harmonika. Vrijednosti viših harmonika napona se mogu odrediti pojedinačno, amplitudom svakog višeg harmonika svedenom na amplitudu osnovnog harmonika. Uvidom u rezultate, najizraženiji je neparni peti harmonik napona koji iznosi 2,77% U_n . To je manje od dopuštenih 6% U_n (prema EN 50160). Na slici 10 je prikazan 5. harmonik napona. Ustanovljeno je da su ostali viši harmonijski članovi struje i napona postotno potpuno zanemarivi.



Slika 10. Peti harmonik napona po fazama

F. Faktor ukupnog harmonijskog izobličenja struje i napon

Vrijednosti viših harmonika napona se mogu odrediti i zajednički za sve više harmonike pomoću ukupnog sadržaja viših harmonika (THDU). Vrijednost faktora ukupnoga harmonijskog izobličenja napona (THDU) prouzročenog priključenjem proizvođača i/ili kupca na mjestu preuzimanja i/ili predaje može iznositi najviše na razini napona 0,4 kV 2,5%. Navedene vrijednosti odnose se na 95% 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona za razdoblje od tjedan dana. Gore navedeno vrijedi za mrežna pravila. Prema EN 50160 propisani dopušteni harmonici napona (THDU) su do 8% U_n i to tijekom 95% vremena. Više je uzroka za nastanak THD-a. U ovom slučaju FNE, pretvarači (kao uređaji energetske elektronike) stvaraju više harmonike. To se može zaključiti sa slike 11 gdje je THD postojan neovisno o proizvodnji FNE. THDU se mijenja od 1,66% do 3,21% U_n . FNE dakle u radu povećava THDU za oko 1,6%, što je manje od dopuštenih 2,5%, što znači da FNE zadovoljava. Vrijednosti THDI su zanemarive. Na slici 11 je prikazana promjena THDU. Ukupni faktor strujnog harmonijskog izobličenja stvara ukupni faktor naponskog harmonijskog izobličenja.

V. ZAKLJUČAK

Kao prvo, tijekom probnog rada elektrana je dosegla vršnu snagu od 112,28 kW što je oko 75% maksimalne snage koju može dati. Taj postotak je dosta velik i može se zaključiti da su dobijeni mjerodavni rezultati za ispitivanje povratnog djelovanja FNE na DM.

Negativno povratno djelovanje FNE na DM nije ni u kojem segmentu po pitanju parametara kvalitete električne energije uočeno. Dakle, svi parametri kvalitete električne energije su ispitani i u zadanim su granicama kvalitete. Zaključno, priključenjem FNE na DM nije prouzrokovano smanjenje kvalitete električne energije u DM.

Konačno, FNE je spremna za trajni pogon i nema nikakvih ograničenja za rad iste.

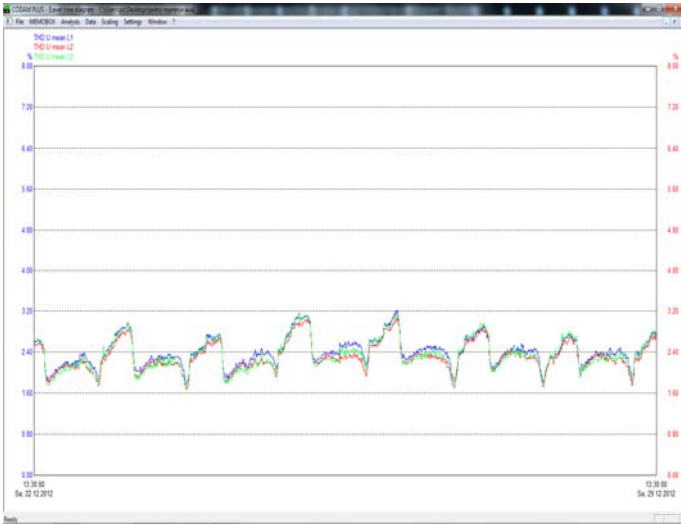
LITERATURA

- [1] D. Barukčić, A. Pavić, I. Periša, M. Lasić "Osvrt na novo izdanje EN 50160 iz 2010. godine," CIRED Hrvatska, Sveti Martin na Muri, 2012. god.
- [2] V. Tomašek, I. Periša, M. Lasić, I. Čačić "Pristup mjerenju kvalitete napona na mjestu predaje energije iz distribuiranog izvora u distribucijsku mrežu," CIRED Hrvatska, Sveti Martin na Muri, 2012. god.
- [3] Z. Klaić, S. Nikolovski, "Kvaliteta električne energije-mjerenje prema normi EN 50160," CIGRE Hrvatska, Cavtat, 2003. god.
- [4] Ž. Novinc, "Kakvoća električne energije," Graphis Zagreb, 2006.god.
- [5] Opći uvjeti za isporuku električne energije J.P EP HZ-HB d.d Mostar
- [6] Mrežna pravila distribucije javnog poduzeća "Elektroprivreda Hrvatske Zajednice Herceg Bosne" d.d Mostar
- [7] Norma IEC 61000-4-30, 2008. god.
- [8] Donsion M.P, Santiago A.L: "Power quality measurement. Comparation among three instruments of measure of different class" <http://www.icrepq.com>

ABSTRACT

In this work will be described and analysed power quality parameters for energy that photovoltaic system 150 kWp delivers to distribution 10 kV network (grid). The goal is to define photovoltaic system impact on distribution electrical network power quality. Method used to get results for photovoltaic system impact on distribution network power quality is measurement method. Measurement is done at the point of delivery of the energy from photovoltaic system to distribution system. Results will be analysed and commented.

PHOTOVOLTAIC SYSTEM IMPACT ON DISTRIBUTION ELECTRICAL NETWORK POWER QUALITY Ivan Ramljak



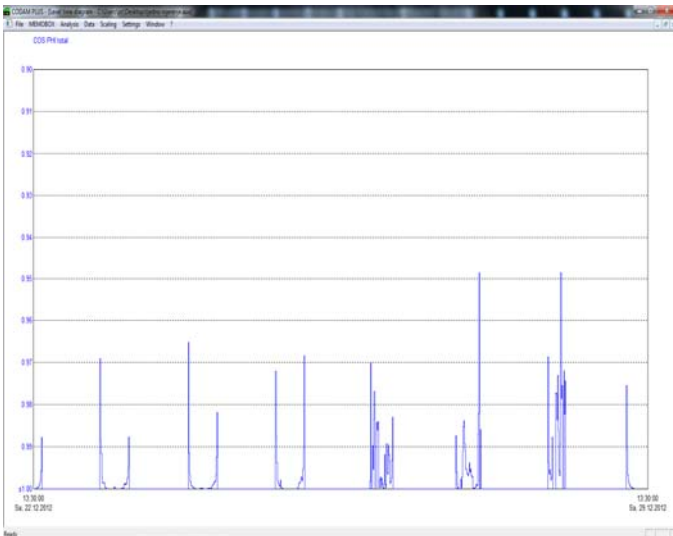
Slika 11. THDU po fazama

G. Faktor snage

Proizvodnja i isporuka radne energije treba biti s faktorom snage ($\cos \phi$) u granicama $\cos \phi$ od 0,95 do 1 induktivno ili u granicama $\cos \phi$ od 0,85 do 1 kapacitivno.

Faktor snage ($\cos \phi$) je dan kao omjer radne (P) i prividne snage (S).

Na sljedećoj slici je prikazana promjena $\cos \phi$. Faktor snage je pozitivan, tj. kapacitivnog je karaktera što znači da FNE proizvodi jalovu energiju. Faktor snage je bio od +/- 1 do 0,948 kapacitivno, što znači da je faktor snage u zadanim granicama.



Slika 12. Faktor snage ($\cos \phi$) FNE