

ANALIZA UTICAJA SOLARNE ELEKTRANE NA KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE DISTRIBUTIVNE MREŽE

H. SALKIĆ, JP EP BiH Elektrodistribucija Tuzla, Bosna i Hercegovina
A. BIJEDIĆ, JP EP BiH Elektrodistribucija Tuzla, Bosna i Hercegovina
A. SOFTIĆ, JP EP BiH Elektrodistribucija Tuzla, Bosna i Hercegovina

1. UVOD

Iscrpljivost rezervi fosilnih goriva, kao i zagađenje okoline te, posledično, klimatske promene koje njihova upotreba uzrokuje dovela je do potpisivanja Kyoto protokola sa ciljem ohrabriranja zemalja potpisnica na proaktivno delovanje po ovim pitanjima, Freris i Infield (1). Jedna od ključnih akcija delovanja je upotreba obnovljivih izvora (voda, vetar, sunce i sl.) što podržava i direktiva 2009/28/EC Evropskog parlamenta (2). Proizvodnja na bazi obnovljivih izvora se naziva distribuirana proizvodnja energije jer se priključenje ovih izvora na elektroenergetski sistem vrši direktno u distributivnu mrežu i kao takvi imaju niz prednosti, US Department of Energy (3):

Pouzdanost i sigurnost	Ekonomija	Emisija	Kvalitet energije
<ul style="list-style-type: none">• Povećana sigurnost za kritične potrošače• Smanjenje zagađenja u prenosu i distribuciji• Smanjen uticaj fizičkog ili cyber napada• Povećana diversifikacija u proizvodnji	<ul style="list-style-type: none">• Smanjeni troškovi u vezi sa gubicima energije• Odgođene investicije za poboljšanje proizvodnje, prenosa i distribucije• Manji operativni troškovi• Smanjeni troškovi goriva zbog opšte povećane efikasnosti• Smanjena upotreba zemlje za proizvodnju	<ul style="list-style-type: none">• Smanjeni gubici u prenosu• Smanjeno zagađenje	<ul style="list-style-type: none">• Poboljšanje naponskih prilika• Smanjena distorzija harmonika

U zadnje vreme, od svih raspoloživih obnovljivih izvora, najveću pažnju industrije privlači upotreba energije sunca (4) i u tu svrhu se grade solarne elektrane kojima se vrši pretvaranje sunčeve energije u električnu. Međutim, prije priključenja na distributivnu mrežu potrebno je istražiti uticaj solarne elektrane na kvalitet električne energije koja se isporučuje krajnjim kupcima. U novim, tržišnim uslovima poslovanja elektrodistributivnih kompanija ovaj uslov postaje prioritet jer je obaveza kompanije isporuka kvalitetne električne energije. Takođe, sa aspekta takmičenja sa ostalim učesnicima na tržištu, to je glavni preduslov zadržavanja postojećih i pridobijanja novih kupaca. Dakle, usaglašavanje prednosti primene distribuirane proizvodnje sa mogućim negativnim aspektima te primene, posebno uticaja na kvalitet električne energije, predstavlja osnov budućeg delovanja distributivnih kompanija. Samim time i istraživanja koja se bave tim pitanjem postaju značajna. U ovom radu su predstavljena merenja i analiza svih relevantnih parametara kvaliteta električne energije u tački primopredaje energije iz solarne elektrane u elektrodistributivnu mrežu. Kao kriterij za ocenu kvaliteta električne energije u tački primopredaje korišćeni su kriteriji po standardu BAS EN 50160 (5).

Hidajet Salkić- JP EP BiH Elektrodistribucija Tuzla, Rudarska 38, BiH, tel. +387 35 304 363, e-mail: h.salkic@elektroprivreda.ba

Kriteriji ovog standarda tretiraju parametre kvaliteta električne energije u stacionarnom načinu rada, a ne uzimaju u obzir tranzijentna (prelazna) dinamička stanja sistema. Pokazatelji kvaliteta isporuke električne energije, koji su predmet standardizacije, obično su vezani za frekvenciju i napon. Osnovni pokazatelj kvaliteta održavanja frekvencije u jednom elektroenergetskom sistemu je odstupanje frekvencije u odnosu na svoju nominalnu vrednost. To je globalni pokazatelj i isti je za sve delove elektroenergetskog sistema. Najznačajniji problemi kvaliteta električne energije vezani za napon su prekidi napajanja i pojave odstupanja napona izvan granica tolerancije. Osnovni pokazatelji vezani za napon odnose se na razne forme definisanog pojma odstupanja napona na mestu priključenja distribuiranog generatora, jer je napon, za razliku od frekvencije, lokalni pokazatelj, čija je vrednost različita u raznim delovima elektroenergetskog sistema. Razmatrana solarna elektrana je instalisane snage 21,5 kWp, sa dva generatora i planiranom godišnjom proizvodnjom za isporuku u distributivnu mrežu od 23.865 MWh. Solarna elektrana je na distributivnu mrežu priključena preko transformatorske stanice 10/0,4 kV, snage 100 kVA, napojnim kablom X00–A 4x70mm².

2. MERENJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Tehničkom preporukom TP-17 JP Elektroprivreda BiH (6) definisani su uslovi za priključenje i pogon distribuiranih generatora na elektrodistributivnu mrežu. prema ovoj preporuci osnovni tehnički kriteriji za priključenje solarne elektrane na distributivnu mrežu i bezbedan paralelan rad takvog proizvodnog objekta sa elektroenergetskim sistemom su sledeći:

- kriterij dozvoljene snage,
- kriterij kratkog spoja,
- kriterij flikera,
- kriterij dozvoljenih struja viših harmonika.

Osim toga, ova TP predviđa da se kontrola kvaliteta vrši u skladu sa standardom BAS EN 50160, kao redovna i/ili vanredna. Pregled osnovnih preporučene vrednosti parametara prema ovom Standardu su date u tabeli 1.

TABELA 1 – GRANIČNE VREDNOSTI PARAMETARA NAPONA PO STANDARDU BAS EN 50160

Parametri	Vreme usrednjavanja	Granične vrednosti tokom 95% sedmice (160 sati)	Granične vrednosti tokom čitave sedmice (100% = 168 sati)
Varijacije napona	10 min	±10%	+10% / -15%
Treperenje (eng. flicker)	Pst – 10 min Plt – 120 min	Plt < 1	
Harmonici	10 min	tabela do 25. harmonika	
THD (do 40-tog harmonika)	10 min	< 8%	
Signalni napon (eng. ripple control)	3 s	<5% od Un (1 ... 10 kHz) u 99% od 24 sata (1 dan)	
Frekvencija	10 s	±1% (tokom 99,5% u trajanju od jedne godine)	+4% / -6%
Nesimetričnost	10 min	< 2%	
Naponski propad (eng. dips)	10 ms	Nije egzaktno definisano već opisno	
Prekidi	10 ms	Nije egzaktno definisano već opisno	

U skladu sa navedenom preporukom i standardom BAS EN 50160 izvršeno je merenje kvaliteta električne energije u tački primopredaje sa solarne elektrane na elektrodistributivnu mrežu. Merenja su obavljena u periodu probnog rada solarne elektrane. Merni period je obuhvatio sedam dana neprekidnog merenja (168 sati). Tokom mernog perioda vršeno je stalno uzorkovanje i merenje mernih veličina, a zatim usrednjavanje na 10-sekundni ili 10-minutni vremenski period, zavisno od merene veličine. Standardom BAS EN 50160 su definisane vrednosti glavnih karakteristika mrežnog napona.

Za merenje u solarnoj elektrani je korišćen mrežni analizator MAVOWATT 70, koji vrši merenja u skladu sa EN50160/IEC 61000-4-30 Class A/IEEE 1159, a za obradu podataka korišćen je licencirani softver DRAN-VIEW.

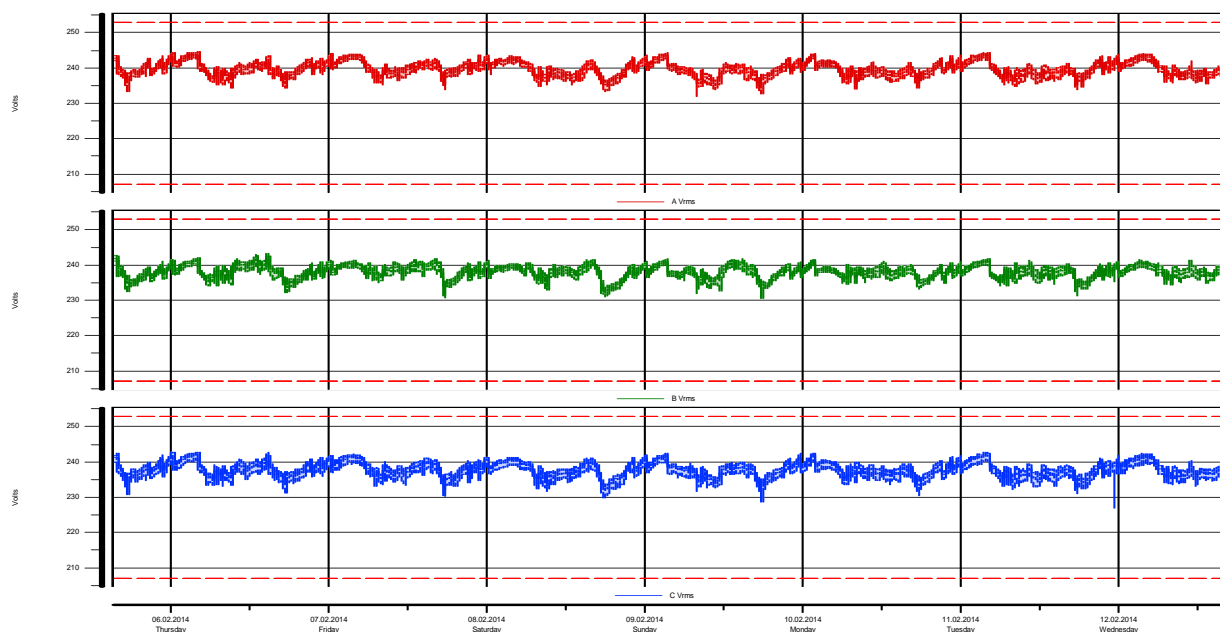
3. ANALIZA IZMERENIH VREDNOSTI PARAMETARA KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE

3.1. Veličina napona napajanja

Prema BAS EN 50160 (5), vrednost napona napajanja je 230 V. Standard propisuje da pod normalnim uslovima rada:

- tokom svakog 7-dnevnog perioda 95% 10-to minutnih srednjih efektivnih vrednosti napona napajanja mora biti u opsegu $U_n \pm 10\%$ ($207 \div 253$ V),
- sve 10-to minutne srednje efektivne vrednosti napona napajanja moraju biti u opsegu $U_n +10\%/-15\%$.

Sa slike 1 se vidi da 10-minutne usrednjene efektivne vrednosti napona u sve tri faze ostaju unutar graničnih vrednosti propisanih standardom BAS EN 50160. Isprekidane linije pokazuju granične vrednosti.



Slika 1. Efektivne vrednosti napona po fazama tokom mernog perioda

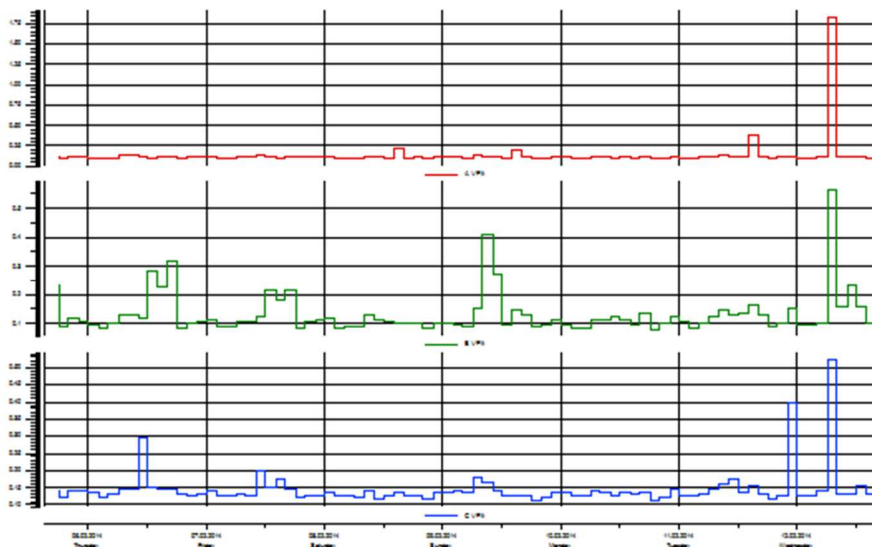
3.2. Treperenje napona (eng. flicker)

Flikeri se definišu kao vidom primetno prekidanje tj. treperenje, izazvano svetlosnim podražajem s vremenskim kolebanjem svetlosne gustine ili spektralne razdiobe. To je titranje npr. svetla sijalice ili zaslona kompjutera, čiji su uzroci nagle i učestale promene opterećenja uzrokovane radom npr. elektrolučnih peći, fotokopirnih uređaja, aparata za zavarivanje i sl. Intenzitet smetnji se ocenjuje pomoću sledećih veličina:

- kratkotrajna jakost treperenja P_{st} (eng. short time) merena u 10-minutnim odsečcima,
- dugotrajna jakost treperenja (eng. long time) koja se na osnovu niza od 12 vrijednosti P_{st} , tokom vremenskog odsečka od 2 sata računa prema jednačini:

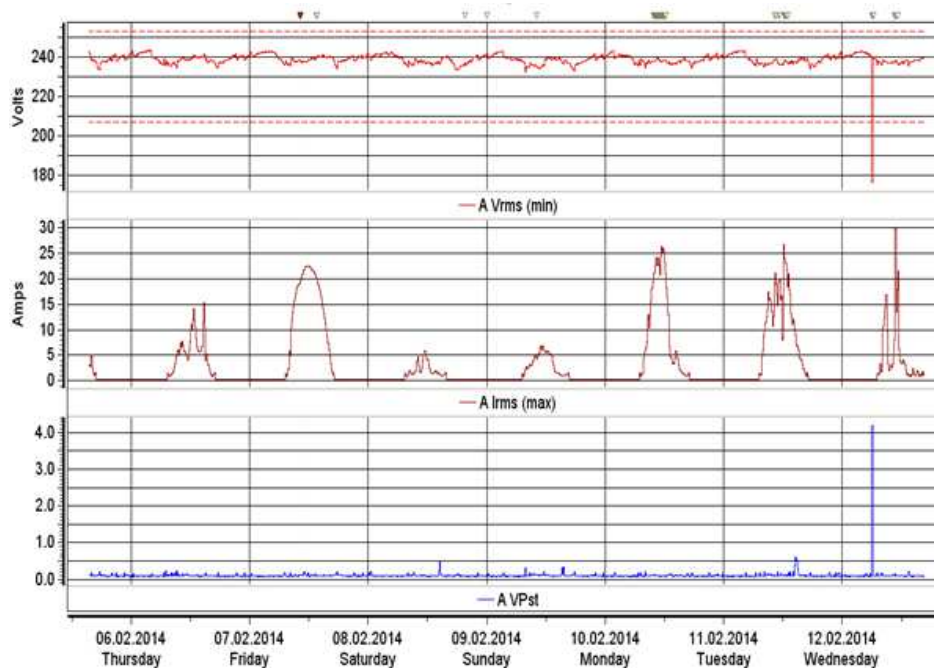
$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st_i}^3}{12}} \quad (1)$$

Sa slike 2 se vidi da P_{lt} u fazama B i C tokom čitavog mernog perioda ima vrednost manju od 1, dok u fazi A, tokom 7-dnevnog merenja, u jednom trenutku dolazi do prekoračenja granične vrednosti, odnosno P_{lt} poprima vrednost 1,8284.



Slika 2. Prikaz vrednosti dugotrajnog flikera Plt po fazama tokom mernog perioda

Osnovno pitanje je šta je uzročnik, da li solarna elektrana ili je fliker nastao iz mreže pod uticajem nečeg drugog. U tu svrhu je potrebno na istoj vremenskoj osi pratiti i analizirati minimalne vrednosti napona, maksimalne vrednosti struje i vrednosti kratkotrajnog flikera Pst i to samo u fazi u kojoj se pojavljuje veća vrednost flikera, u ovom slučaju faza A. Dobile vrednosti su prikazane dijagramima datim na slici 3.



Slika 3. Minimalne vrednosti napona, maksimalne vrednosti struje i vrednosti kratkotrajnog flikera Pst

Iz baze podataka se mogu očitati merene numeričke vrednosti u trenutku naponskog propada:

Vreme: 12.02.2014 06:10:00,0000
 A Vrms (min) = 176,58 V
 A Irms (max) = 0,21824 A
 A VPst = 4,186

U trenutku naponskog propada maksimalna vrednost struje elektrane bila je uobičajeno niska za taj dio dana. Nema indikacija da je elektrana nekim svojim dinamičkim procesom mogla izazvati naponski propad. Stoga se može zaključiti da je ovaj naponski propad došao iz mreže. Sada se postavlja sledeće pitanje: Ako je već zabeležen naponski propad zašto on nije zabeležen kao prekoračenje donje granice ($U_n -10\%$) efektivne vrednosti napona ?

Iz baze mernih podataka numeričke vrednosti za događaje u trenutku naponskog propada su:

Vreme događaja: 12.02.2014 06:09:20,059,
 Tip događaja: A Vrms Instantaneous sag 176,6 V,
 Trajanje događaja: 5 ms

Vidi se da se događaj zaista desio u navedeno vreme, instrument ga je zabeležio, s obzirom da je korišćen instrument klase A sa vrlo brzim uzorkovanjem, ali trajanje tog događaja je bilo veoma kratko, svega 5 ms. Događaj tako malog trajanja ne ulazi u statističku obradu rezultata po standardu BAS EN 50160 i pa je to i odgovor na postavljeno pitanje.

3.3. Harmonici i međuharmonici

Prema BAS EN 50160, pri normalnim pogonskim uslovima, u periodu jedne sedmice, 95% 10-minutnih srednjih vrednosti efektivnih vrednosti svakog pojedinačnog harmonika treba biti manja ili jednaka od vrednosti datih u tabeli 2 (5), (7).

TABELA 2 – PROPISANE VREDNOSTI VIŠIH HARMONIKA NAPONA NA MESTU PREDAJE

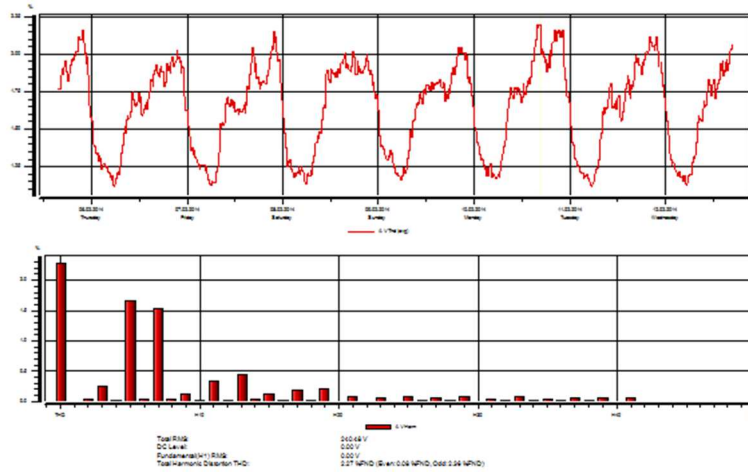
Neparni harmonici				Parni harmonici	
Nedeljivi sa 3		Deljivi sa 3			
R/br harmonika	%Un	R/br harmonika	%Un	R/br harmonika	%Un
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 ... 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Napon viših harmonika je sinusni napon, čija je frekvencija celobrojni višekratnik (redni broj) frekvencije osnovnog harmonika. Vrednost viših harmonika napona može se odrediti:

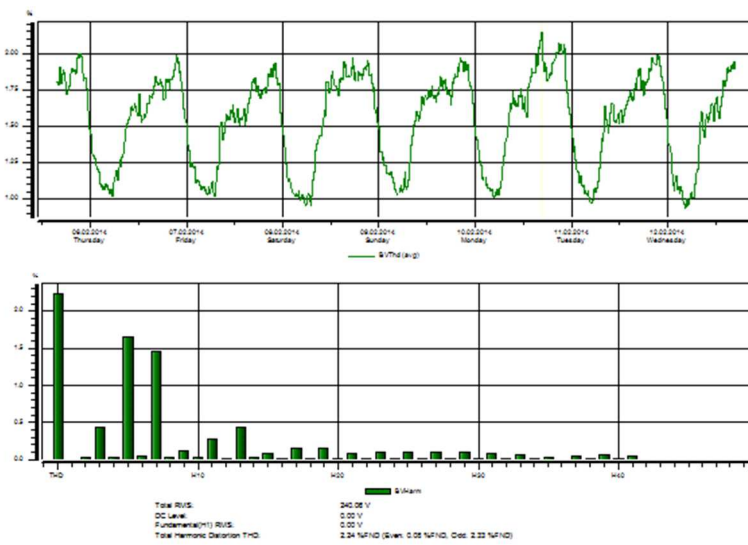
- pojedinačno, njihovim amplitudama (U_h) svedenim na amplitudu osnovnog harmonika U_1 , gdje je h - redni broj višeg harmonika napona,
- zajednički, npr. pomoću faktora ukupnog harmonijskog izobličenja (THD), a koji se računa jednačinom:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2} \quad (2)$$

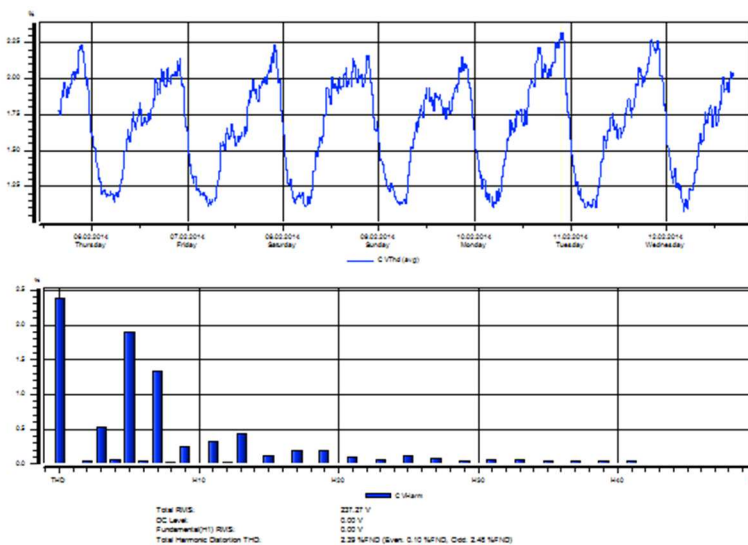
Ukupni sadržaj harmonika (THD) napona napajanja (uključujući sve harmonike do 40-tog) ne smije prelaziti vrednost od 8%. Sa slike 4 se vidi izraženo prisustvo neparnih harmonika u fazi A, koji su zastupljeni sa 2,26% u odnosu na osnovni harmonik, dok je ukupan zbir svih parnih harmonika 0,08% od osnovnog, te je ukupan THD 2,27% osnovnog harmonika. Rezultati za fazu B su prikazani na slici 5 sa ukupnim THD 2,24 % osnovnog harmonika. Na slici 6 su rezultati za fazu C sa ukupnim THD 2,39% osnovnog harmonika.



Slika 4. THD napona u fazi i učešće viših harmonika u talasnom obliku napona



Slika 5. THD napona u fazi B i učešće viših harmonika u talasnom obliku napona



Slika 6. THD napona u fazi C i učešće viših harmonika u talasnom obliku napona

3.4. Signalni naponi superponirani sa naponom napajanja

Signalni naponi služe za prenos informacija u javnoj distributivnoj mreži. Razlikuju se sledeći signalni naponi (7):

- signali mrežnog tonfrekventnog upravljanja, napojnom naponu superponirani sinusni signalni napon u frekventnom opsegu 110 – 3000 Hz,
- signali nosive frekvencije, napojnom naponu superponirani sinusni signalni naponi u frekventnom opsegu 34 – 148,5 kHz,

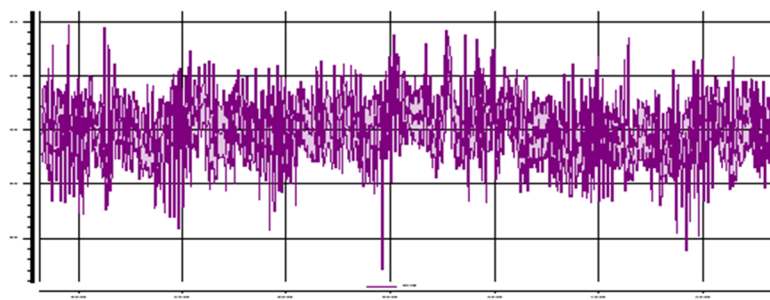
Definisano je da unutar frekventnog pojasa od 1 do 10 kHz, 99% svih 3-sekundnih srednjih vrednosti efektivnih vrednosti signalnog napona tokom jednog dana, ne smiju prelaziti vrednost od 5% nazivnog napona napajanja.

3.5. Mrežna frekvencija

Prema BAS EN 50160 (5), nazivna frekvencija napona napajanja je 50 Hz. Pri normalnim pogonskim uslovima 10-sekundna srednja vrednost osnovne frekvencije u nekoj mreži povezanoj sa elektroenergetskim sistemom mora biti u sledećim opsezima:

- 50 Hz +/- 1% (49,5÷50,5 Hz) tokom 95% sedmice,
- 50 Hz +4%/-6% (47÷52 Hz) tokom 100% sedmice.

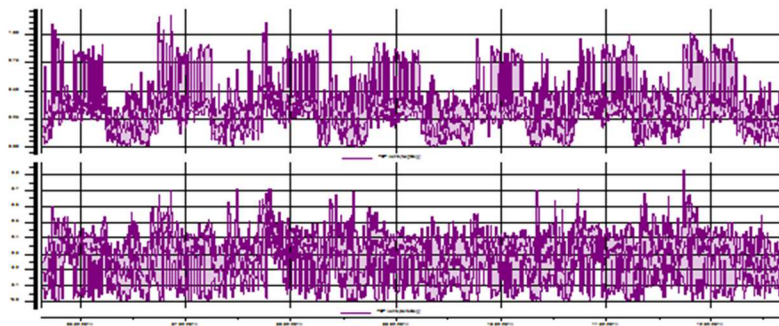
Sa slike 7 se vidi da sve 10-sekundne usrednjene vrednosti ostaju unutar granica 50 Hz +/- 1%.



Slika 7. Izmerene vrednosti mrežne frekvencije tokom mernog perioda

3.6. Nesimetričnost napona napajanja

Prema BAS EN 50160 (5), pri normalnim pogonskim uslovima, u periodu jedne sedmice, 10-minutna srednja vrednost efektivne vrednosti inverzne komponente napona kod 95% izmerenih srednjih vrednosti mora biti u opsegu 0% do 2% odgovarajuće direktne komponente. Na slici 8 su prikazani odnosi inverzne, odnosno nulte komponente napona prema efektivnoj vrednosti direktne komponente napona, usrednjeni na 10-minutnim intervalima. Može se videti da nigde ne dolazi do prekoračenja granične vrednosti od 2%.



Slika 8. Prikaz nesimetričnosti napona napajanja tokom mernog perioda

3.7. Naponski propadi

Prema BAS EN 50160 (5), propadi napona nastaju pretežno usled kvarova u postrojenjima potrošača ili javnoj mreži i praktično su nepredvidivi, izrazito slučajni događaji. Većina propada napona je kraća od 1 sekunde i dubine propada manja je od 60%Un. Tokom mernog perioda nisu zabeleženi događaji koji se po standardu definišu kao naponski propadi i prenaponi.

3.8. Prekid napajanja

Prema BAS EN50160 (5), trajanje oko 70% kratkih prekida (do 3 minute) u napajanju mora biti kraće od 1 sekunde. Ovisno o mestu, može se, pri normalnim pogonskim uslovima, pojaviti između 10-tak i 50 dugih prekida napajanja (trajanje preko 3 minute) tokom godine. Tokom mernog perioda nisu zabeleženi događaji koji se po standardu definišu kao prekidi napajanja.

4. ZAKLJUČAK

Svi parametri kvaliteta električne energije definisani prema BAS EN 50160 mogu se klasifikovati u tri grupe. U prvoj grupi su parametri kvaliteta električne energije sa definisanim graničnim vrednostima (frekvencija, varijacije napona, nesimetrija, viši harmonici, signalni napon, flikeri). U drugoj grupi se nalaze parametri sa indikativnim vrednostima (brze promene napona, propadi napona, kratki i dugi prekidi napajanja), a u trećoj grupi se nalaze parametri bez definisanih vrednosti (privremeni i prelazni prenaponi, međuharmonici). Najzanimljiviji za analizu su parametri prve grupe jer se lako mogu uporediti izmerene vrednosti sa onim koje su određene normama. Na osnovu merenja na licu mesta i obrade mernih podataka može se zaključiti da je samo jedanput došlo do narušavanja granične vrednosti standarda. To se desilo sa flikerom dugog trajanja, koji je samo u jednom obračunskom periodu prekoračio graničnu vrednost 1, te je iznosio 1,8284. Svi ostali parametri su unutar granica koje određuje standard i to uglavnom daleko od graničnih vrednosti. Prekoračenje granične vrednosti po bilo kojem parametru ne znači automatski da nivo kvaliteta po ovom standardu nije zadovoljavajući. Naprotiv, sam standard dozvoljava određena odstupanja. Svako prekoračenje granične vrednosti bilo kojeg parametra označava se kao događaj. Ukupan broj događaja po svim parametrima u toku mernog perioda nije striktno određen standardom već je predmet dogovora ili ugovora između ugovornih strana. U zapadnim zemljama, koje imaju razvijene elektrodistributivne mreže, kvalitet električne energije se u praksi ocenjuje kao zadovoljavajući po EN 50160 sve dok broj događaja po osnovu prekida raznih vrsta ne prelazi broj 100 i broj događaja po ostalim parametrima ne prelazi broj 100 u periodu od sedam dana. kada je u pitanju kvalitet električne energije ova elektrana ima pozitivan doprinos jer poboljšava lokalne naponske prilike. S obzirom da u slučaju ove solarne elektrane nema transformacije na viši naponski nivo, dolazi do smanjenja distributivnih gubitaka pošto se energija troši direktno na mestu proizvodnje. Dakle, može se konstatovati da na osnovu prikazanih rezultata elektrana ima pozitivan uticaj na prilike u mreži na koju je priključena.

LITERATURA

1. Freris L. and Infield D., 2008, Renewable Energy in Power Systems, John Wiley&Sons Ltd., strane 6 i 8
2. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>
3. US Department of Energy, 2007, The Potential Benefits of Distributed Generation and Rate-Related Issues that May Impede Their Expansion: A Study Pursuant to Section 1817 of the Energy Policy Act of 2005
4. Frankfurt School, 2015, Global Trends in Renewable Energy Investment 2015, strana 11
5. Institut za standardizaciju BiH, 2011, BAS EN 50160-Karakteristike napona u javnim elektrodistributivnim mrežama
6. JP Elektroprivreda BiH, 2013, Tehnička preporuka za priključenje i pogon distribuiranih generatora
7. CENELEC, European Committee for Electrotechnical Standardization, European Standard EN 50160, July 2010