

PRIKLJUČENJE MALE ELEKTRANE – ISKUSTVA I PREDLOZI

R. MILANKOV¹, Elektrovojvodina, Srbija

APSTRAKT

Početkom oktobra 2013.godine priključena je mala elektrana (ME) NIS SOS KG u Kikindi. ME je napravljena u jednom od objekata NIS Naftagas, sabirno-otpremnoj stanici, gde se zemni gas koristio kao energent u kotlarnici za grejanje prostorija i tehnološke potrebe dogrevanja fluida radi transporta. Investicijom u kogenerativno postrojenje obezbeđena je proizvodnja električne energije i prateća toplotna energija, kao nusprodukt, iskorišćena je za dogrevanje.

ME je priključena na 0.4 kV naponskoj strani TS 20/0.4 kV na jednom 20 kV izvodu iz TS 110/20 kV. Mesto priključenja ME: PCC je 20 kV trofazna preklopka u RP 20 kV, kojom upravlja elektrodistribucija. Vlasnik ME upravlja trafostanicom 20/0.4 kV, gde je priključen generator. U toj TS nalazi se i zaštita na 20 kV strani.

Da bi se ovakva ME stavila pod napon morali su biti izdati svi potrebni uslovi i zadovoljeni kriterijumi priključenja ME na distributivni sistem. Za vreme probnog rada obavljao se permanentan monitoring mrežnim analizatorom A klase i na osnovu dobijenih rezultata merenja formirani su zaključci o načinu merenja i dati su predlozi kako da se uvedu možda neke dopune u procedurama za priključenje ME.

Deo koji se odnosi na merenje viših harmonika i flikera posebno je obrađen, naročito je akcent stavljen na način merenja pokazatelja flikera, Pst i izračunavanje parametra dugotrajnih flikera - Plt i dominantnih formula za flikere:

$$A_{lt} = \left(c_{f_{mel}} \cdot \frac{S_{mel}}{S_{ks}} \right)^3 = \left(\frac{c_{f1}}{\sqrt{n}} \cdot \frac{S_{mel}}{S_{ks}} \right)^3 \leq 0,1$$

$$P_{lt} = c_{f_{mel}} \cdot \frac{S_{mel}}{S_{ks}} \leq 0,46$$

U radu su prikazani i komentarisani rezultati merenja i dati su predlozi za buduće aktivnosti u ovoj oblasti.

Ključne reči: mala elektrana, flikeri, kvalitet

UVOD

Po usvajanju zahteva stranke „NIS“ a.d. izdato je rešenje u kome je dato odobrenje za priključenje objekta za proizvodnju električne energije – gasne elektrane. Uz odobrenje dostavljeni su tehnički uslovi priključenja elektrane na distributivni sistem električne energije (DSEE). U tehničkim uslovima pobrojani su:

¹ Radislav Milankov, dipl.el.inž. PD Elektrovojvodina Ogranak "Zrenjanin" Pogon „Kikinda“ radislav.milankov@zr.ev.rs

1. Osnovni uslovi priključenja elektrane na DSEE;
2. Preduslovi za izvođenje priključka elektrane koji su obaveze stranke;
3. Uslovi koje treba da zadovolje zaštitni i ostali uređaji namenjeni kontroli uključenja i isključenja sa DSEE;
4. Opšti uslovi priključenja elektrane i način funkcionisanja DSEE;

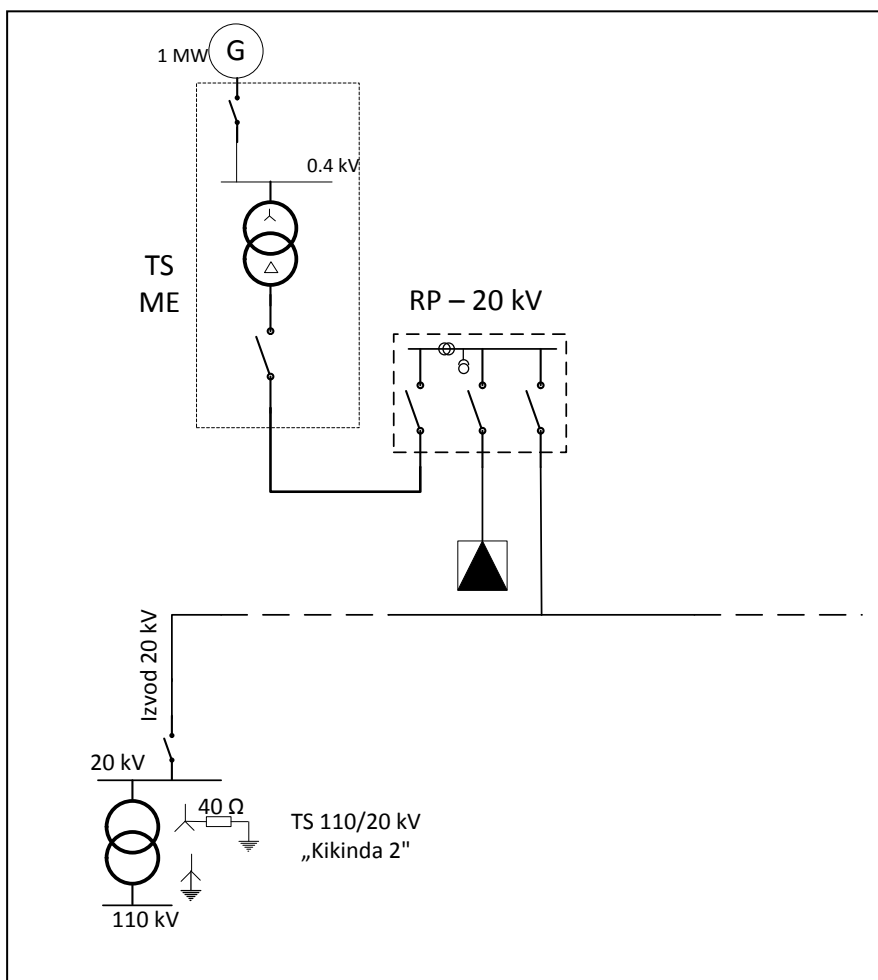
U Osnovnim uslovima određeno je da maksimalno dozvoljena komponenta struje kratkog spoja od strane elektrane na mestu priključenja na DSEE (početna simetrična struja kratkog spoja, efektivna vrednost) ne sme biti veća od 0,16459 kA. U delu Odobrenja: Način priključenja i tehnički opis priključka, definisano je mesto priključenja elektrane na DSEE (PCC – point of common coupling) – dovodno-odvodna ćelija 20 kV sa ugrađenom tropoložajnom sklopkom na motorni pogon, gde se uvezuje priključni vod elektrane. Za priključenje i bezbedan paralelan rad elektrane sa DSEE, elektrana mora da zadovolji 4 osnovna kriterijuma:

1. Kriterijum dozvoljene snage elektrane
2. Kriterijum flikera
3. Kriterijum dozvoljenih struja viših harmonika
4. Kriterijum snage kratkog spoja

Provera prva tri kriterijuma vrši se prema odredbama Pravila o radu distributivnog sistema, uzimajući u obzir da je stvarna struja trofaznog kratkog spoja sa strane DSEE, na mestu priključenja elektrane na DSEE u subtranzijentnom periodu $I_{ks}=4,16$ kA, odnosno $R/X=0,301$.

RAD KOGENERATIVNOG POSTROJENJA

Razvodno postrojenje 20 kV, gasni motor i kogenerativno postrojenje je pušteno u pogon 04. oktobra 2013 i za prvih 5 meseci rada proizvelo je više od 4 GWh električne energije. Jednopolna šema postojenja i dela DSEE data je na Slici 1. Maksimalna instalisana prividna snaga elektrane iznosi 1870 MVA. Odobreno je korišćenje maksimalne snage u iznosu od 995 kW prilikom predaje električne energije u DSEE.

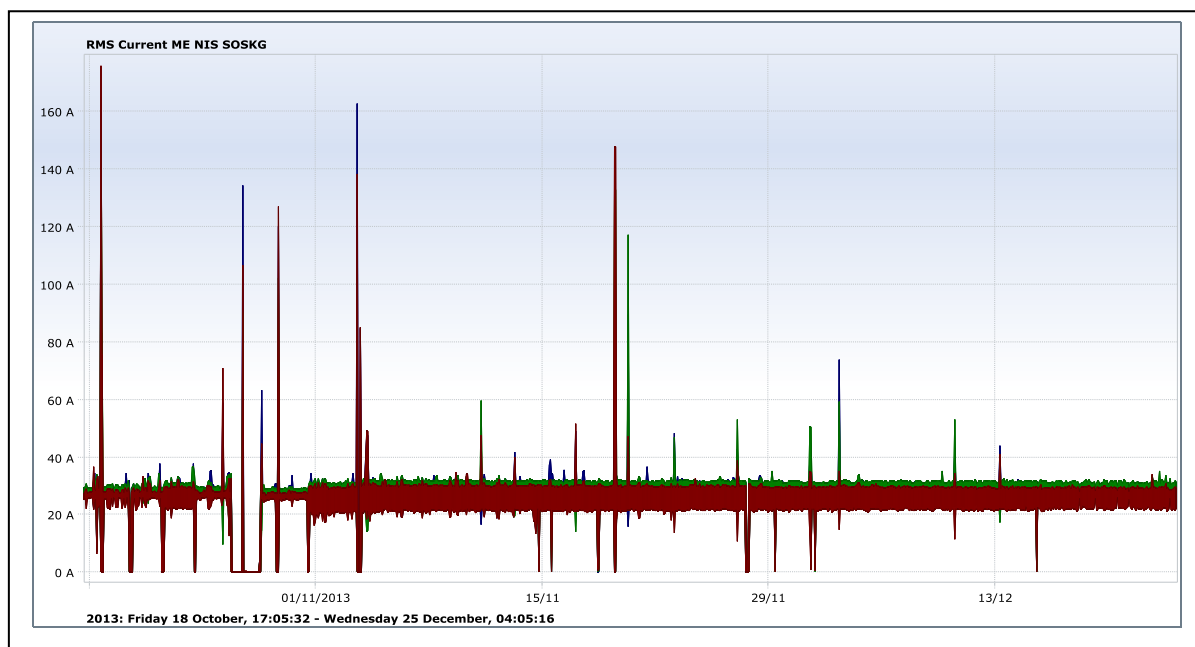


Slika 1: Jednopolna šema priključenja ME na DSEE

U RP 20 kV postoje pored dovodne ćelija 20 kV, odvodna ćelija 20 kV za TS u vlasništvu NIS, merna ćelija i odvodna ćelija prema TS 20/0.4 kV gde je na 0.4 kV priključen generator. Merna ćelija je opremljena mernim transformatorima i mernim uređajem za četvorokvadrantno merenje sa mogućnošću daljinskog očitavanja (GSM). Svi rasklopni aparati su daljinski upravljivi i zajedno sa signalizacijom – indikacijom rasklopnih aparata i signalizacija rada zaštitnih uređaja, naročito iz releja integrisane zaštite koji se nalazi u vodnom polju 20 kV u TS gde je priključen generator, čine sistem daljinskog upravljanja. Daljinska stanica obezbeđuje podatke za SCADA sisteme koji se nalaze u Dispečerskom centru Eelektrovojvodine i u centru upravljanja NIS. Telekomunikacioni prenosni putevi su realizovani digitalnim radio-linkom. Dispečer ima mogućnost upravljanja prekidačem u PCC.

KONTROLA RADA

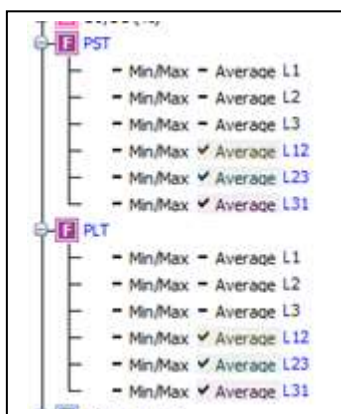
Kontrola pogona obavljena je u dužem periodu rada i merenje je obavljeno da bi se kontrolisala ispunjenost kriterijuma flikera i kriterijum pristnosti harmonika. Za proveru kriterijuma poslužile su tehničke preporuke, smernice i razni domaći i strani standardi [1], [2], [3], [4]. Referentni period rada ME razmatran je period od 18.10. do 25.12.2013.godine. Na Slici 2. dat je dijagram efektivne vrednosti struje za navedeni interval.



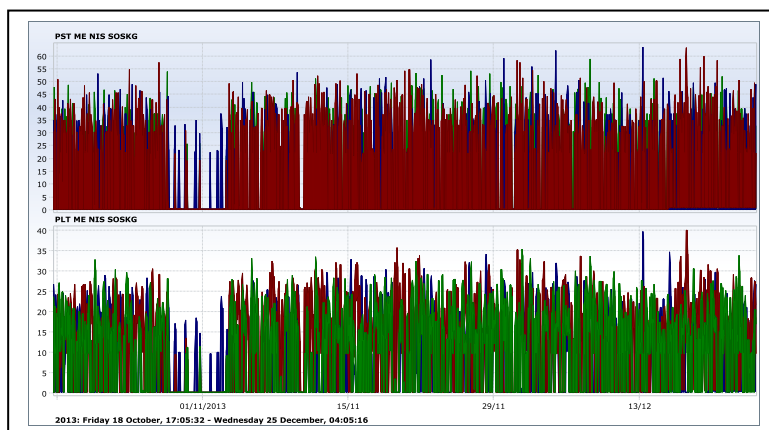
Slika 2: Efektivna vrednost struje ME – I(A) u periodu od 18.10. do 25.12.2013.godine

Kriterijum flikera

Kada se govori o merenju flikera mora se napomenuti da savremeni uređaji klase A raspolažu mogućnostima merenja flikera kao što je dato na slici 3.



Slika 3: Odabir načina prikaza



Slika 4: Merenje flikera - Pst i Plt

U zavisnosti od odabranih parametara (Slika 3.) dobiće se i različiti rezultati za pokazatelje kratkotrajnog, Pst (vreme opažanja 10 min) i dugotrajnog, Plt faktora flikera (usrednjena dvosatna vrednost). Merene vrednosti na Slici 4. dobijene su za Min/Max odabrane parametre. Tabelarni prikaz na Slici 5.:

Name	Min	Max	Average
L1 PLT, ME NIS SOSKG...	0.173763	40.1376	13.2632
L2 PLT, ME NIS SOSKG...	0.168843	35.3393	11.3131
L3 PLT, ME NIS SOSKG...	0.178888	39.7956	7.85016
L1 PST, ME NIS SOSKG...	0.136225	63.1296	5.39480
L2 PST, ME NIS SOSKG...	0.132412	58.7388	4.50932
L3 PST, ME NIS SOSKG...	0.141533	63.5229	3.03416

ME sa n generatora ukupne instalisane snage: $S_{mel} = \sum S_{ng}$ može da se priključi na DSEE ako je ispunjen uslov:

$$A_{lt} = \left(c_{f_{mel}} \cdot \frac{S_{mel}}{S_{ks}} \right)^3 = \left(\frac{c_{f1}}{\sqrt{n}} \cdot \frac{S_{mel}}{S_{ks}} \right)^3 \leq 0,1 \quad (1)$$

i ako važi:

$$P_{lt} = c_{f_{mel}} \cdot \frac{S_{mel}}{S_{ks}} \leq 0,46 \quad (2)$$

Slika 5: Tabelarni pregled

U ovim formulama su:

- A_{lt} – dugotrajni faktor smetnji prouzrokovanih flikerima;
- P_{lt} – dugotrajni faktor brojnosti (emisije) flikera;
- S_{mel} – ukupna instalisana snaga ME (MVA);
- S_{ng} – snaga jednog generatora (MVA);
- S_{ks} – snaga trofaznog kratkog spoja (stvarna vrednost) na mestu priklj. – PCC (MVA)
- n – broj generatora u ME;
- $c_{f_{mel}}$ – koeficijent flikera ME sa “n” generatora;

Za ovaj slučaj odnos instalisane snage i snage trofaznog kratkog spoja iznosi:

$$\frac{S_{mel}}{S_{ks}} = \frac{1,860}{144,106} = 0,0129 \quad (3)$$

Kada se ova vrednost zameni u (1) i (2), uzimajući u obzir izmerene vrednosti za P_{lt} , ne dobijaju se zadovoljavajuće vrednosti za pokazatelje flikera. Sada se postavlja pitanje kako obaviti proveru rada ME po kriterijumu flikera merenjem? Merni uređaji generišu podatke za P_{st} i P_{lt} , dok se u izrazima nalaze označene veličine koje nisu iste. Treba uskladiti terminologiju, shodno nastojanjim u Annex D [3].

Kriterijum harmonika

Harmonici struja

U Tabeli 1. date su vrednosti dozvoljenih struja harmonika svedenih na snagu kratkog spoja u PCC. Vrednosti su date u A/MVA i imajući u vidu da je snaga kratkog spoja $S_{ks} = 144,106$ MVA možemo uporediti merene vrednosti sa dozvoljenim vrednostima.

TABELA 1: VREDNOSTI DOZVOLJENIH STRUJA HARMONIKA SVEDENIH NA SNAGU KRATKOG SPOJA

Redni broj harmonika	I_v [A / MVA]			
	Niski napon	10 kV	20 kV	35 kV
[v]				
2	1,5	0,058	0,029	0,0163
3	4	/	/	/
4	0,47	0,019	0,009	0,005
5	1,5	0,058	0,029	0,0163
6	0,58	0,023	0,012	0,007
7	2	0,082	0,041	0,0231

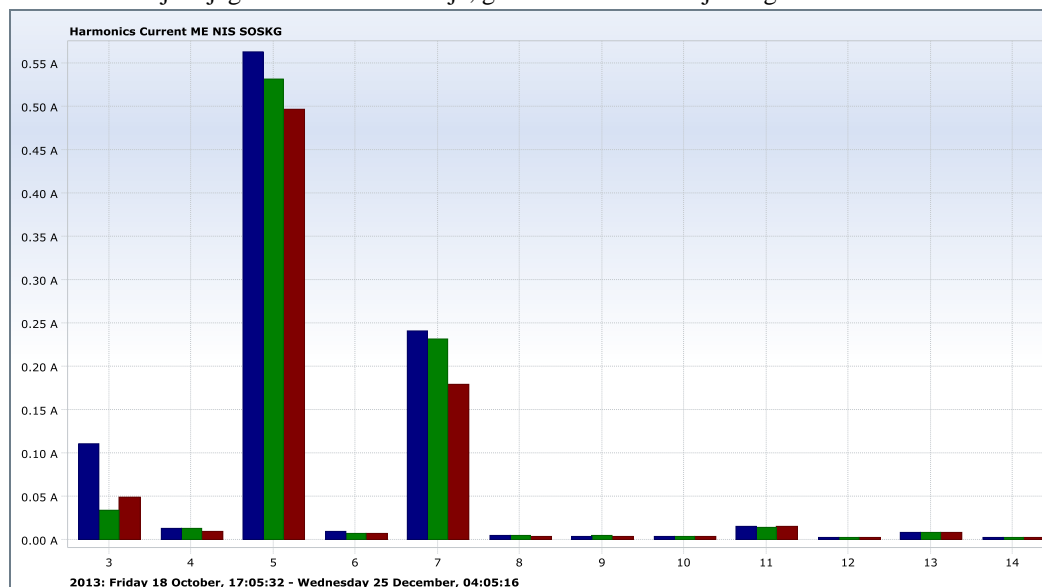
8	0,2	0,008	0,004	0,002
9	0,7	/	/	/
10	0,36	0,014	0,007	0,004
11	1,3	0,052	0,026	0,0146
12	0,27	0,011	0,005	0,002
13	1	0,038	0,019	0,0111
14	0,17	0,007	0,003	0,002
16	0,15	0,006	0,003	0,002
17	0,55	0,022	0,011	0,0600
18	0,12	0,005	0,002	0,001
19	0,45	0,018	0,009	0,0051
23	0,3		0,006	0,0034
25	0,25	0,010	0,005	0,0026
$25 < v < 40^*$	$0,25 \cdot 25/v$	$0,01 \cdot 25/v$	$0,005 \cdot 25/v$	$0,0026 \cdot 25/v$
$v = \text{paran}$ $18 < v$	$1,5/v$	$0,06/v$	$0,03/v$	$0,0171/v$
$\mu < 40$	$1,5/v$	$0,06/\mu$	$0,03/\mu$	$0,0171/\mu$
$\mu > 40^{**}$	$4,5/v$	$0,18/\mu$	$0,09/\mu$	$0,0514/\mu$

U Tabeli 2. date su merene vrednosti:

TABELA 2. MERENE VREDNOSTI STRUJA

Harmonik	Min	Max	Average	Dozvoljeno (A/MVA)	Dozvoljeno (A)
H3,L1	0,0000000	25,1525993	0,0495683		
H5,L1	0,0000000	11,3523798	0,4966804	0,0290000	4,179074
H7,L1	0,0000000	7,1931138	0,1796578	0,0410000	5,908346
H9,L1	0,0000000	4,9988751	0,0042265		0
H11,L1	0,0000000	4,3799810	0,0156295	0,0260000	3,746756
H13,L1	0,0000000	3,6025031	0,0081274	0,0190000	2,738014

Na Slici 6 dat je dijagram harmonika struja, gde se vidi dominacija 5tog harmonika.

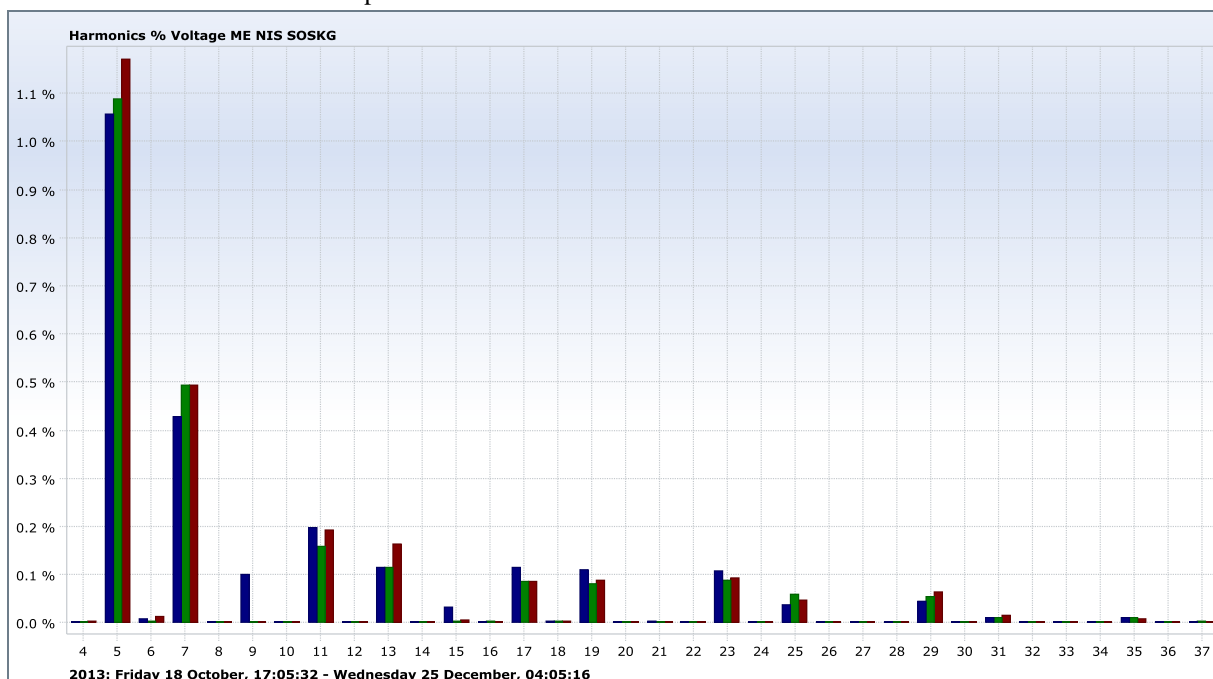


Slika 6. Dijagram harmonika struja (A)

Prilikom ovih izračunavanja uzete su srednje vrednosti u obzir i harmonici viših frekvencija nisu razmatrani jer su zanemarljivih vrednosti.

Harmonici napona

Izmerene vrednosti harmonika napona date su na Slici 7:



Slika 7. Izmerene vrednosti harmonika napona

Dok su u Tabeli 3 date dozvoljene vrednosti za harmonike napona:

TABELA 3. DOZVOLJENE VREDNOSTI HARMONIKA NAPONA

Redni broj harmonika [v]	Dozvoljene vrednosti harmonika napona za 10,20 i 35 kV mrežu (% U _n)
5	0,5
7	1
11	1
13	0,85
17	0,65
19	0,6
23	0,5
25	0,4
25 < v < 40*	0,4
v = паран	0,1
μ < 40	0,1
v, μ > 40**	0,3

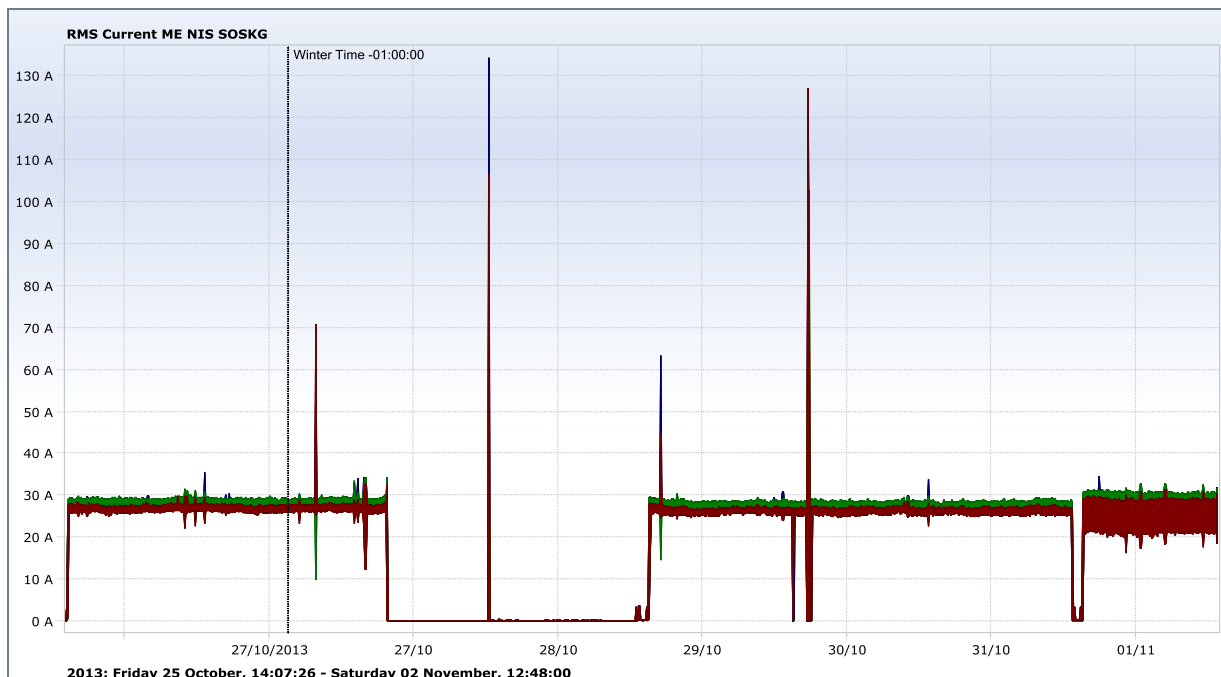
U Tabelama 4. i 5. date su izmerene vrednosti harmonika napona i to u Tabeli 4 podaci o harmonicima napona dok je ME bila u pogonu i u Tabeli 5. podaci o harmonicima napona kada ME nije bila u pogonu. Deo vremenskog intervala (Slika 2.) u prvoj trećini dijagrama – detalj prikazan na Slici 8, predstavlja dijagram efektivne vrednosti struje – gde se uočava vremenski interval od 27.10. u 19:15 do 29.10.2013. u 13:30. Za vreme ovog intervala izmerena je vrednost harmonika napona kako bi se video uticaj naponskih prilika koje nisu u korelaciji sa radom ME.

TABELA 4: HARMONICI NAPONA SA ME (% U_n)

Name	Max	Average
H3,L1	84,0660782	0,0935984
H5,L1	78,7838593	1,1715150
H7,L1	100,0000000	0,4931136
H9,L1	23,0125599	0,0010084
H11,L1	44,7213593	0,1917316
H13,L1	44,7213593	0,1634296
H15,L1	13,1285295	0,0064742
H17,L1	28,2842693	0,0867481

TABELA 5: HARMONICI NAPONA BEZ ME (% U_n)

Name	Max	Average
H3,	3,4727261	0,1345933
H5,	2,5695119	0,9458772
H7,	1,4111921	0,4702302
H9,L1	0,2447032	0,0001293
H11,L1	0,5787646	0,2819928
H13,L1	0,6810312	0,2876503
H15,L1	0,3390931	0,0054605
H17,L1	0,5702057	0,1297969



Slika 8. Deo intervala bez rada ME

Za najuticajniji harmonik napona (H5) može se izračunati vrednost ovog harmonika napona prilikom rada ME, umanjen za vrednost kada ME nije radila $(1,171 - 0,945) = 0,226 < 0,5$. Pošto je ova vrednost manja od dozvoljene može se zaključiti da je vrednost harmonika napona ispod dozvoljenih granica i da ME ne generiše harmonike napona van dozvoljenih granica.

ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetih rezultata merenja i postavljenih pitanja može se konstatovati da postoje određene dileme oko merenja pokazatelja flikeri i harmonika napona i struja, naročito kada su flikeri u pitanju gde se treba osvrnuti na nastojanja u svetu da se postojeći pokazatelji Pst i Plt, koji su prisutni u standardima, zamene pokazateljima Ast i Alt (IEC 61000-3-7, Annex D). Merenje ovog parametra kvaliteta električne energije nije često zastupljeno u redovnim procedurama kontrole kvaliteta iporučene električne energije, ali nije dovoljno detaljno objašnjeno u [1] i usklađeno sa [4].

Prilikom priključenja ME i praćenja i kontrole rada, potrebno je apostrofirati šta meriti i kako, u kom vremenskom intervalu i pri kojim uslovima i kako klasifikovati dobijene rezultate.

LITERATURA

1. Tehnička preporuka broj 16. Osnovni tehnički zahtevi za priključenje malih elektrana na distributivni sistem JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije Srbije, Beograd, maj 2003;
2. Smernice za priključenje objekata za proizvodnju električne energije – malih elektrana na DSEE, Elektrovojvodina, d.o.o. Novi Sad, 2011;
3. Standard: IEC 61000-3-7, Electromagnetic compatibility (EMC) – Limits, ISBN 2-8318-9606-1, 2008;
4. Standard: SRPS EN 50160:2012, Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža, drugo izdanje, ISS, juni 2012;