

**PROPAGACIJA NAPONSKOG FLIKERA KROZ PRENOSNU I DISTRIBUTIVNU MREŽU****VOLTAGE FLICKER PROPAGATION THROUGH TRANSMISSION AND DISTRIBUTION GRID**

Nikola LAKETIĆ, Avalon Partners d.o.o., Srbija
Vladimir ĐIKIĆ, EMS A.D., Srbija
Vladimir KRNAJSKI, EMS A.D., Srbija
Aleksandar TATALOVIĆ, Avalon Partners d.o.o., Srbija

KRATAK SADRŽAJ

U radu su prikazani rezultati praćenja propagacije flikera po dubini prenosne i distributivne mreže. Realni industrijski potrošač velike snage (elektrolučna peć), povezan na mrežu 110 kV, odabran je kao izvor flikera. Prostiranje flikera je prvo istovremeno mereno u većem broju čvorova prenosne i distributivne mreže uz pomoć vremenski sinhronizovanih analizatora kvaliteta napona visoke klase tačnosti i visoke učestanosti semplovanja naponskog talasa. Rezultati merenja pokazuju karakterističan „potpis“ ovog potrošača u profilu flikera koji se može pratiti od čvora do čvora sve do najnižih naponskih nivoa. Nakon merenja izvršeno je modelovanje prenosne mreže u paketu *DigSilent Power Factory* prema preporukama IEC TR 61000-3-7, kao i izrada modela flikermetra u paketu *MatLab* prema preporukama IEC 61000-4-15. Realni rezultati merenja struje i snage elektrolučne peći korišćeni su za modelovanje potrošača, nakon čega je simuliran njegov uticaj na visinu flikera u većem broju čvorova mreže. Rezultati simulacije pokazali su visoku korelaciju sa izmerenim vrednostima, što opravdava ovakav pristup za analizu uticaja priključenja i propagacije flikera. U radu je, koristeći se opisanim modelom, izvršena analiza limita za injekciju poremećaja za ovog realnog potrošača (elektrolučna peć), uzimajući u obzir uticaj istog na veći broj čvorova u prenosnoj i distributivnoj mreži.

Ključne reči: kvalitet električne energije, fliker, elektrolučna peć, propagacija poremećaja, emisijski limit, modelovanje mreže

ABSTRACT

The paper presents results of voltage flicker propagation assessment across neighbouring nodes in transmission and distribution grid. Actual high power industrial load of electric arc furnace (EAF) type, connected to 110 kV level, was chosen as a flicker source. The flicker propagation was first measured by a number of simultaneous high accuracy, high sampling rate measurements in depth of transmission and distribution grid. Measurement results show easily tracked flicker “signature” across grid nodes even to the lowest voltage levels. Secondly, a detailed transmission grid model was created in DigSilent PowerFactory per IEC TR 61000-3-7 recommendations, as well as a flickermeter model in Matlab per IEC 61000-4-15. Actual results of EAF current rms were fed into the model and impact on voltage flicker level in-depth of the grid was simulated and compared to actual measurement results. Both measurement and simulation results show high degree of correlation, which proves this approach could be useful for analyzing flicker propagation and consequently for developing adequate flicker mitigation solutions. Using described model, this paper also considers disturbance limit assessment procedure for electric arc furnace (EAF) loads, taking into consideration its impact on several nodes in transmission and distribution grid.

Key words: power quality, flicker, electric arc furnace, disturbance propagation, emission limit, grid model

UVOD

U savremenim prenosnim i distributivnim mrežama često se susreću problemi sa estimacijom uticaja budućih potrošača na parametre kvaliteta električne energije u procesu planiranja razvoja mreže. Sa druge strane javlja se i problem usvajanja zadovoljavajućih mera na limitiranju injekcije poremećaja od strane postojećih potrošača.



Operatori prenosne i distributivne mreže odgovorni su za održavanje parametara kvaliteta napona u određenim granicama. Izmenama Pravila o radu [1] otvorene su mogućnosti da se potrošačima nametnu pojedinačni limiti za injekciju poremećaja u tački priključenja [2], kako bi se time ograničio njihov negativan uticaj na kvalitet napona [3].

Mreža ima konačan kapacitet da apsorbuje poremećaje injektovane od strane potrošača, a da se parametri kvaliteta napona održe u određenom opsegu vrednosti. Stoga dodela limita za injekciju poremećaja pojedinim potrošačima zapravo predstavlja raspodelu postojećeg kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja svim postojećim i budućim zainteresovanim stranama.

U procesu estimacije uticaja novog potrošača na kvalitet napona javljaju se dva problema. Prvo, koliki udeo kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja je moguće dodeliti konkretnom potrošaču; drugo, kako estimirati uticaj konkretnog potrošača na parametre kvaliteta napona u tački priključenja. Pri raspodeli kapaciteta mreže potrebno je sagledati propagaciju poremećaja injektovanih od pojedinih potrošača kroz prenosnu i distributivnu mrežu, zauzeće kapaciteta mreže u ostalim čvorovima, kao i buduće potrebe mreže.

POSTOJEĆE STANJE

Kod estimacije uticaja novog potrošača na parametre kvaliteta napona, postoje standardizovane metode procene uticaja potrošača na sadržaj viših harmonika, kako pojedinačnih harmoničnih komponenti, tako i ukupnog THD-a [8].

Međutim, za estimaciju uticaja budućeg potrošača na visinu flikera napona ne postoje opšte prihvaćene metode, a još manje metode za procenu propagacije flikera po dubini mreže.

Fliker se kvantitativno izražava preko dve veličine: kratkotrajne (Pst) i dugotrajne (Plt) jačine flikera. Merenje jačine flikera vrši se na osnovu vremenske promene napona flikermetrom, koji je definisan standardom IEC 61000-4-15 [4]. Po definiciji, Pst se izračunava na svakih 10 minuta, a Plt na svakih 2 sata na osnovu vrednosti Pst u tom intervalu. Standard SRPS EN 50160 (2012) [5] definiše da je za sve mreže, kako NN, tako i SN i VN (nazivnog napona od 36 kV do 150 kV), jačina dugotrajnog flikera (Plt) prouzrokovana fluktuacijama napona tokom 95% vremena ograničena na 1. Pritom je data i napomena da limite za Plt u SN i VN mreži, u slučaju potrebe treba smanjiti na vrednosti koje obezbeđuju da će jačina dugotrajnog flikera u NN mreži biti manja ili jednaka 1 tokom 95% vremena.

Standardom iz oblasti elektromagnetske kompatibilnosti IEC 61000-2-2 [6] definisani su nivoi kompatibilnosti za niskonaponske javne sisteme. Nivoi kompatibilnosti definisani ovim standardom za Pst i Plt iznose 1 i 0.8 respektivno. Standardom IEC 61000-2-12 [7], kojim su definisani nivoi kompatibilnosti za SN javne mreže čiji je nominalni napon manji ili jednak 35 kV, nisu definisani nivoi kompatibilnosti za jačinu flikera.

ILUSTRACIJA PROBLEMA PROPAGACIJE NAPONSKOG FLIKERA

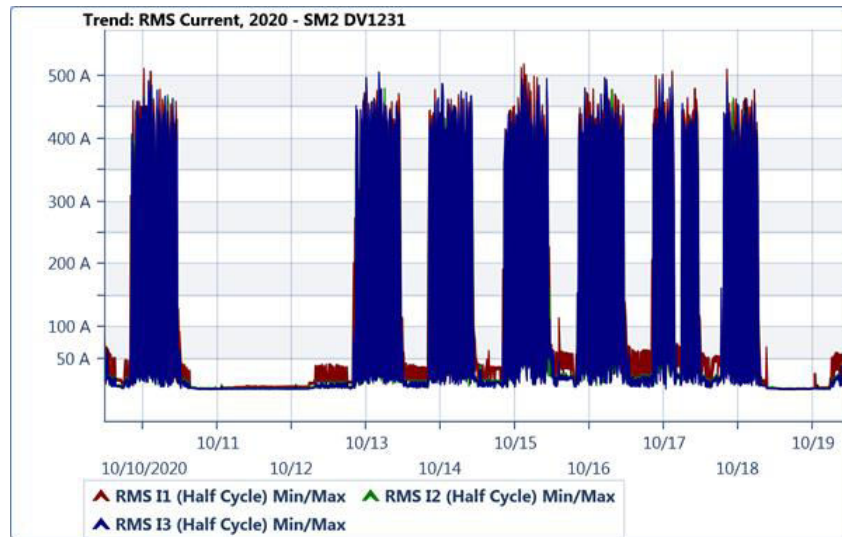
U ovom radu predstavljen je metod za moguće rešenje problema estimacije vrednosti flikera usled uticaja priključenja velikog industrijskog potrošača. Ovde je korišćen primer iz domaće prakse sa potrošačem tipa elektrolučna peć. Elektrolučne peći su dokazano jedan od najvećih izvora poremećaja u prenosnom i distributivnom sistemu u pogledu viših harmonika i flikera [9]-[14]. Njihovo priključenje za posledicu ima značajne fluktuacije napona i povećanje flikera napona u većem broju čvorova prenosne i distributivne mreže. Priključenje nove fabrike sa elektrolučnim pećima uvek je bila izazov za planere mreže i službe kvaliteta napona.

Za potrebe realne ilustracije uticaja elektrolučne peći na propagaciju flikera po dubini mreže izvršena su vremenski sinhronizovana merenja kvaliteta napona u dve tačke: (1) tačka priključenja potrošača sa elektrolučnim pećima na mrežu 110 kV u TS Sremska Mitrovica 2 i (2) u industrijskoj zoni Nove Pazove u mreži naponskog nivoa 0,4 kV, koja se napaja iz TS Nova Pazova 110 kV.

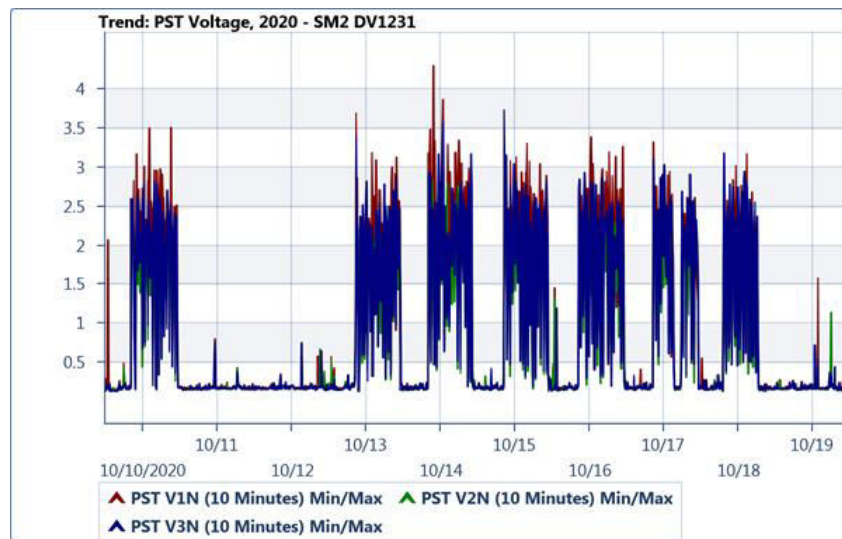
U periodima u kojima potrošač sa elektrolučnim pećima radi (**Slika 1**), vrednost jačine flikera (Pst) u TS Sremska Mitrovica 2 (na naponskom nivou 110 kV) sa uobičajenih 0,3 raste do 4,4 (**Slika 2**). U tim periodima

zabeleženo je povećanje jačine flikera (Pst) u NN mreži u industrijskoj zoni Nove Pazove sa uobičajenih vrednosti 0.1-0.15 na 0.25-0.5 (**Slika 3**). Iz prikazanih profila Pst, jasno se vidi karakteristični “potpis” VN potrošača (elektrolučne peći) u NN mreži industrijske zone u Novoj Pazovi, iako su ova dva potrošača udaljena i geografski i električno. Uticaj ovog potrošača je zabeležen i ranije, merenjima u TS Šid [3], te je jasno da nije ograničen samo na lokacije prikazane u ovom radu. Ovaj konkretni potrošač značajno smanjuje preostalu rezervu i SN i NN mreže za apsorpciju flikera, čime utiče na proces priključenja novih potrošača i kod operatora distributivnog sistema (ODS).

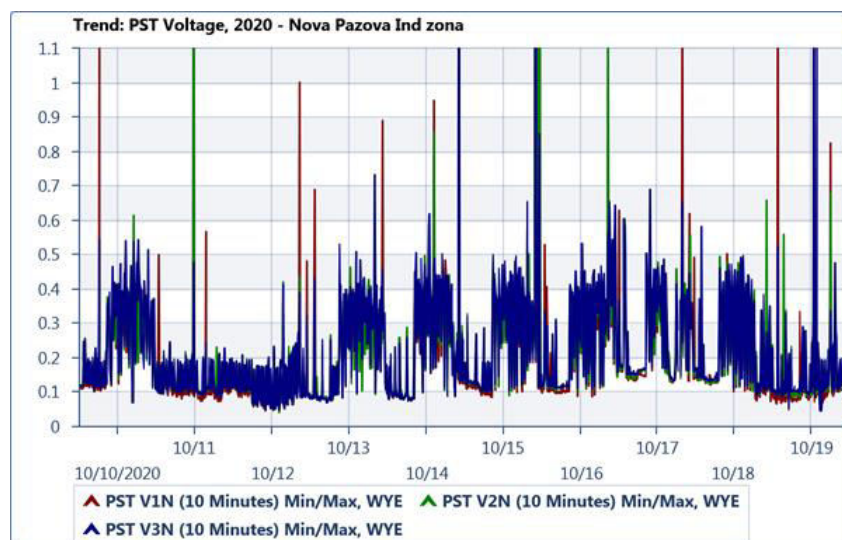
Oдавde je jasno da postoji potreba za kvantitativnom estimacijom vrednosti flikera u većem broju čvorova mreže, kako u procesu priključenja novog potrošača, tako i u procesu planiranja mera za smanjenje injekcije flikera postojećeg/budućeg potrošača. Ovaj rad predlaže jedan takav metod.



Slika 1: Struje potrošača u TS SM2 (110 kV)



Slika 2: Pst u TS SM2 (110 kV)



Slika 3: Pst u NN mreži u ind. zoni Nove Pazove (0,4 kV)

METODA ESTIMACIJE VREDNOSTI FLIKERA

Korišćenje računarskih simulacija za estimaciju vrednosti flikera javlja se kao jedno od najpodesnijih rešenja u literaturi [10],[12],[15]. Skoro svi parametri kvaliteta napona (padovi napona, više harmonične komponente napona i struje, THD U, THD I, itd...) mogu se estimirati u kvazistacionarnoj radnoj tački, npr. za najgori radni režim. Postoji veliki broj radova i metoda koji se bave računarskim modelima mreže i potrošača za potrebe estimacije svih parametara kvaliteta napona – osim flikera. Problem kod estimacije vrednosti flikera je što se fliker ne može odrediti u jednoj kvazistacionarnoj tački. Fliker je veličina za čiji proračun je potrebno minimum 10 minuta.

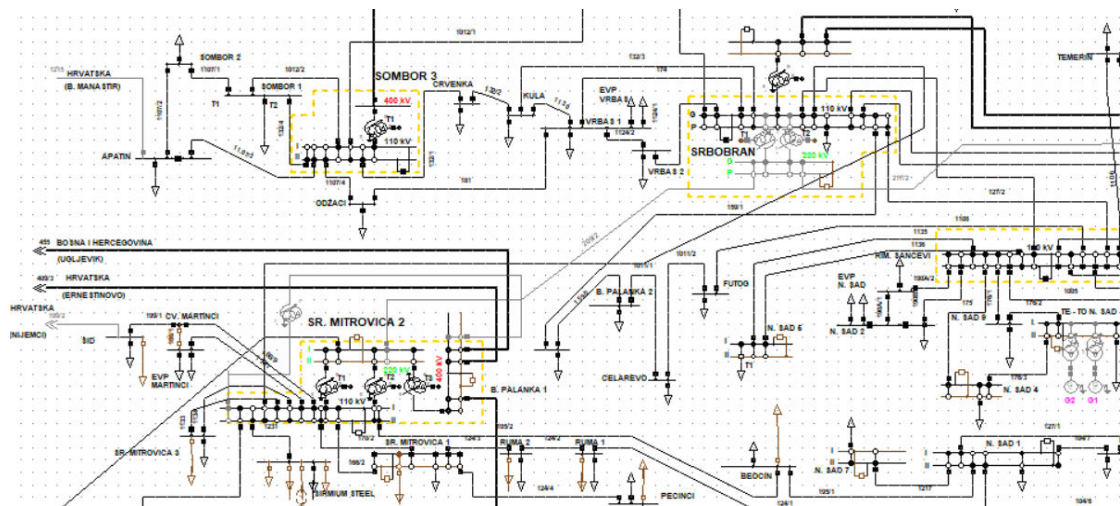
U ovom radu predstavljen je metod estimacije vrednosti flikera koristeći model mreže i vremenski promenljiv model potrošača. Potrošač (elektrolučna peć) i prenosna mreža modelovani su u programskom paketu *DigSilent Power Factory*, a u programskom paketu *Matlab/Simulink* realizovan je flikermetar prema zahtevima standarda IEC 61000-4-15 [4]. Računarskim simulacijama u programskim paketima *DigSilent Power Factory* i *Matlab/Simulink* dobijena je vrednost flikera napona u različitim fazama topljenja šarže. Pokazano je da se vrednosti dobijene simulacijom dobro slažu sa izmerenim vrednostima, što omogućava korišćenje ove metodologije u procesu određivanja limita za injekciju poremećaja u vidu flikera od strane potrošača priključenih na prenosnu mrežu.

Modelovanje potrošača

Imajući u vidu da se radi o potrošaču sa brzim promenama aktivne i reaktivne snage, izvršeno je modelovanje potrošača u vremenskom domenu, sa velikom vremenskom rezolucijom, na osnovu merenja izvršenih u decembru 2020. (12.12.-14.12.) kada je konkretni potrošač radio bez STATCOM uređaja. U modelu je zanemarena je zavisnost aktivne i reaktivne snage potrošača od vrednosti napona.

Model prenosne mreže

Za potrebe analize uticaja potrošača na fliker napona u prenosnoj mreži, korišćen je postojeći detaljan računarski model prenosne mreže naponskih nivoa 110 kV, 220 kV i 400 kV u programskom paketu *DigSilent Power Factory* (slika 4). Računarski model sadrži detaljne modele transformatora, vodova i generatora, kao i pojednostavljene modele opterećenja.



Slika 4: Model dela prenosne mreže u programskom paketu *DigSilent Power Factory*

Model flikermetra

Flikermetar je realizovan u programskom paketu *Matlab/Simulink* prema zahtevima standarda SRPS IEC 61000-4-15 [4]. Kalibracija flikermetra izvršena je test signalima koje predviđa navedeni standard.

Estimacija vrednosti flikera

Estimacija vrednosti flikera u proizvoljnoj tački mreže usled rada elektrolučne peći izvršena je serijom računarskih simulacija u programskim paketima *DigSilent Power Factory* i *Matlab/Simulink*. Na osnovu računarskog modela potrošača u vremenskom domenu i modela prenosne mreže, simulacijom u programskom paketu *DigSilent PowerFactory* za veliki broj tačaka, dobija se precizan vremenski profil napona u posmatranim tačkama prenosne mreže sa dovoljno velikom vremenskom rezolucijom. Na osnovu vektora tako dobijenih vrednosti napona u širokom vremenskom intervalu, proračun vrednost flikera vrši se pomoću flikermetra razvijenog u programskom paketu *Matlab/Simulink*.

VERIFIKACIJA METODE

Gore opisani metod estimacije vrednosti jačine flikera napona verifikovan je poređenjem rezultata vremenski sinhronizovanih merenja u više tačaka prenosne mreže i rezultata estimacije uticaja ovog potrošača u modelu mreže.

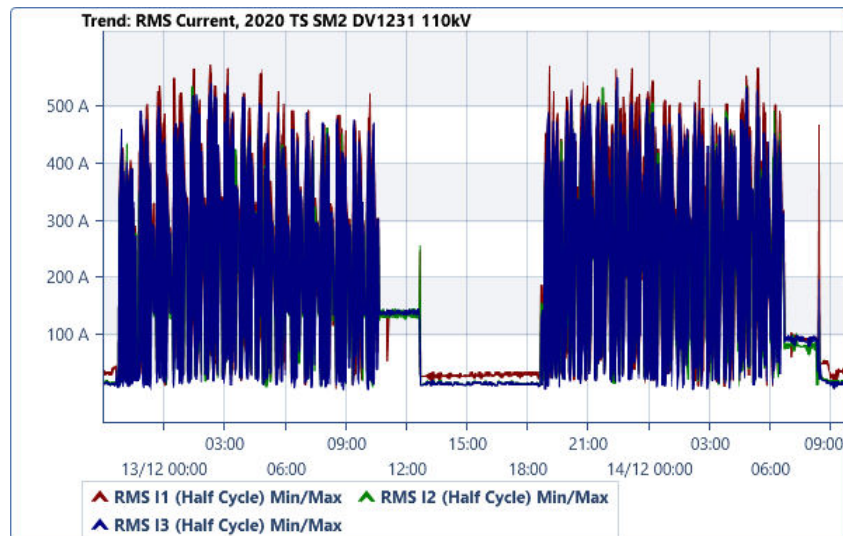
Za merenje su korišćeni analizatori visoke klase tačnosti (0.2% klasa A) i visoke učestanosti semplovanja (1024 odbirka/periodi). Merenja su vršena na naponskom nivou 110 kV u TS Sremska Mitrovica 2 na izvodu sa kojeg se posmatrani potrošač napaja i u TS Sremska Mitrovica 3.

Potom je izvršena simulacija injekcije poremećaja u tački priključenja u TS Sremska Mitrovica 2, i određivanje vrednosti flikera napona P_{st} u čvoru TS Sremska Mitrovica 3. Dobijeni rezultati merenja i simulacije su upoređeni i predstavljeni u nastavku.

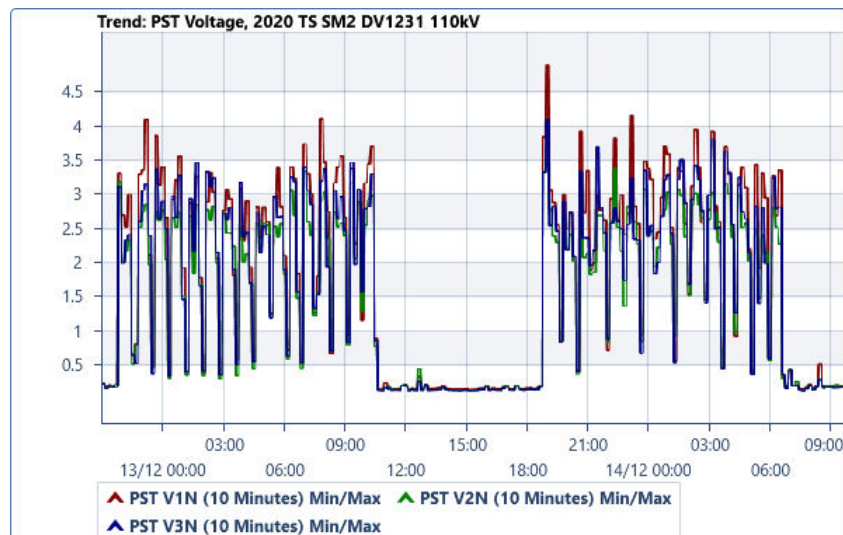
Rezultati merenja

U periodima u kojima je potrošač radio (Slika 5), zabeležen je veliki porast flikera P_{st} u svim posmatranim čvorovima prenosne mreže. Izmerene vrednosti flikera bile su najveće u TS Sremska Mitrovica 2 i kretale su se do 4,8 (Slika 6). U TS Sremska Mitrovica 3 zabeležena je nešto manja jačina flikera koja se kretala do 4,3 (Slika 7). U vremenskom profilu flikera u svim posmatranim čvorovima prenosne mreže uočavaju se karakteristične promene flikera prouzrokovane radom posmatranog potrošača.

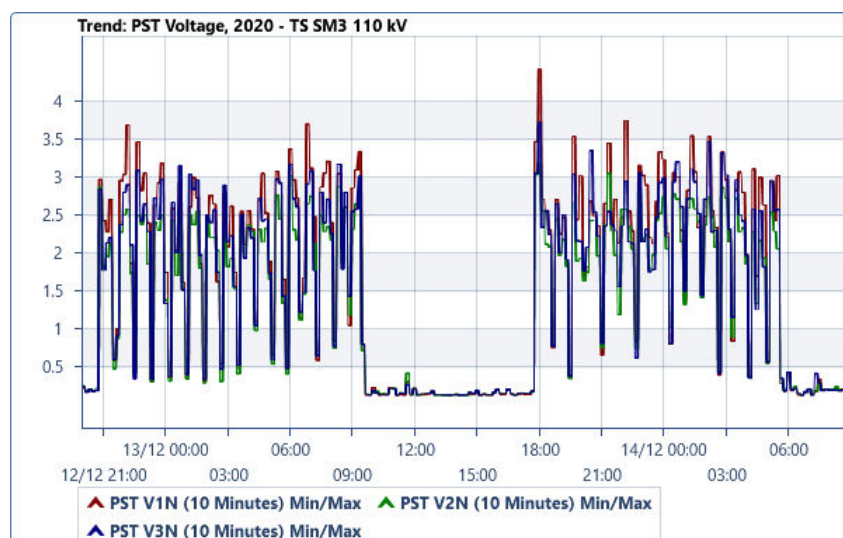
Struja potrošača se menja brzo i u širokom opsegu vrednosti zbog prirode električnog luka i prouzrokuje relativno velike fluktuacije napona na naponskom nivou 110 kV u TS Sremska Mitrovica 2. Povišena vrednost flikera posledica je pomenutih fluktuacija napona.



Slika 5: Struje potrošača u TS SM2



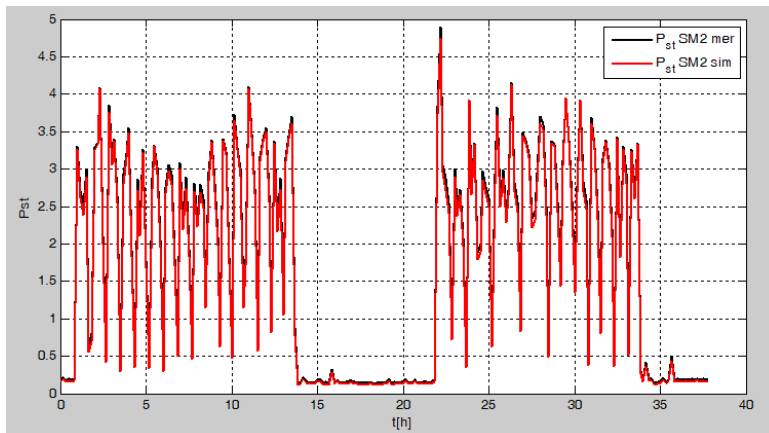
Slika 6: Pst u TS SM2 (110 kV)



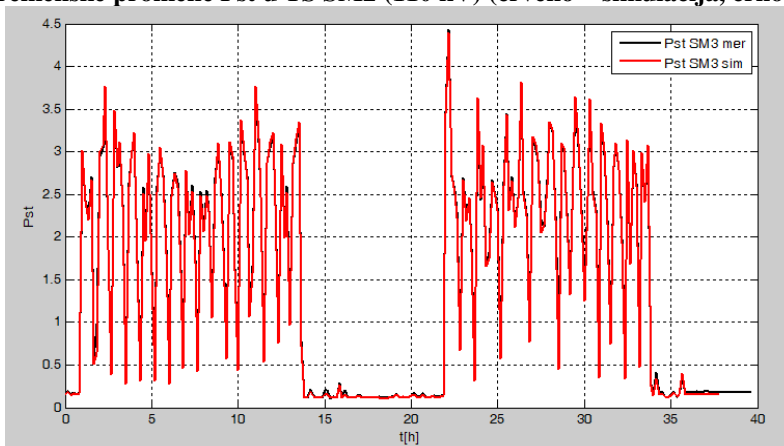
Slika 7: Pst u TS SM3 (110 kV)

Rezultati estimacije

U cilju verifikacije modela, izvršen je niz računarskih simulacija koje odgovaraju radu potrošača u različitim fazama topljenja. Na slikama 8 i 9 uporedno su prikazane vremenske promene Pst u TS Sremska Mitrovica 2 i TS Sremska Mitrovica 3 dobijene merenjima (crna boja) i simulacijom (crvena boja). Vrednosti Pst dobijene simulacijom odgovaraju izmerenim vrednostima Pst u svim radnim režimima potrošača sa elektrolučnim pečima.



Slika 8: Vremenske promene Pst u TS SM2 (110 kV) (crveno – simulacija, crno – izmereno)



Slika 9: Vremenske promene Pst u TS SM3 (crveno – simulacija, crno – izmereno)

Vrednosti flikera u fazi L1 dobijene simulacijom i merenjima uporedo su prikazane su u tabeli 1. Vrednosti dobijene simulacijom za oba posmatrana čvora prenosne mreže naponskog nivoa 110 kV (TS Sremska Mitrovica 2 i TS Sremska Mitrovica 3) odgovaraju izmerenim vrednostima, pri čemu najveća zabeležena apsolutna greška određivanja Pst iznosi 0,152, a najveća relativna greška 4,76 %. Izmerena vrednost flikera konzistentno je najveća u fazi L1, stoga će se nadalje za sva razmatranja u ovom radu koristiti podaci za ovu fazu.

Tabela 1 – Uporedni rezultati merenja i računarske simulacije flikera u fazi L1

VERIFIKACIJA MODELA – RAZLIČITE FAZE TOPLJENJA							
SREMSKA MITROVICA 2				SREMSKA MITROVICA 3			
Simulac.	Mereno	Aps. greska	Rel. greska [%]	Simulac.	Mereno	Aps. greska	Rel. greska [%]
Pst(L1)	Pst(L1)			Pst(L1)	Pst(L1)		
3.727	3.840	-0.113	-2.951	3.450	3.468	-0.018	-0.531
4.741	4.893	-0.152	-3.104	4.391	4.428	-0.037	-0.847
2.961	3.049	-0.088	-2.903	2.735	2.708	0.027	1.012
1.799	1.889	-0.090	-4.759	1.663	1.686	-0.023	-1.394

Prikazani rezultati pokazuju da se opisana procedura estimacije flikera pomoću računarskih simulacija uz korišćenje navedenih računarskih modela, može koristiti u realnim uslovima rada potrošača sa elektrolučnim pećima u svim fazama topljenja.

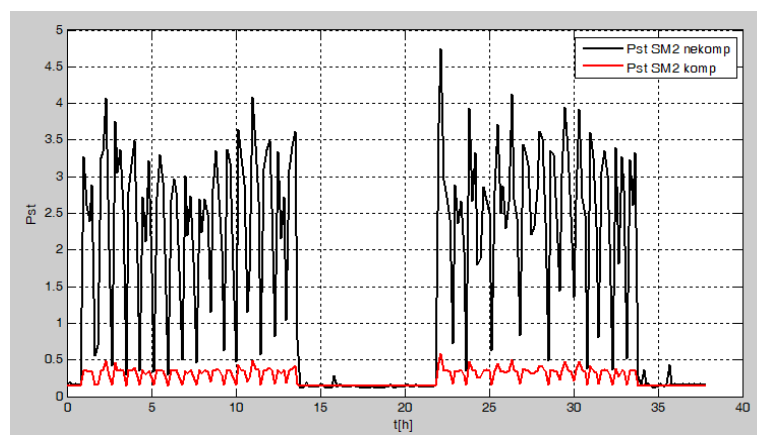
PRAKTIČNA PRIMENA METODE ZA SLUČAJ ODREĐIVANJA MERA ZA SMANJENJE FLIKERA

Prezentovani model može se primeniti na estimaciju flikera u perspektivnim stanjima mreže, kao i nakon primene različitih mera za unapređenje kvaliteta napona. Od posebne važnosti je to što ovaj metod otvara mogućnost procene efekta mera za smanjenje flikera koje najčešće zahtevaju velike investicije od strane potrošača ili od strane operatora prenosne tj. distributivne mreže.

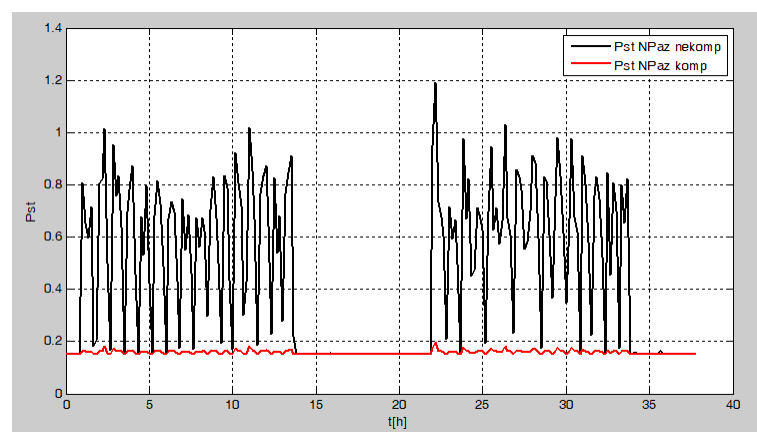
Injeksija flikera elektrolučne peći smanjuje se ugradnjom STATCOM uređaja sa brzim vremenskim odzivom [9]-[14]. Metod za estimaciju vrednosti jačine flikera, prezentiran u ovom referatu, upotrebljen je da se utvrdi pri kojoj snazi STATCOM uređaja se nivo flikera snižava na zadovoljavajuću vrednost u dovoljnom broju čvorova mreže.

Za potrebe estimacije smatraće se da je vremenski odziv STATCOM uređaja bez kašnjenja i da u potpunosti prati promene reaktivne snage potrošača dok se one nalaze u okviru njegove instalisane snage. Vrednosti Pst dobijene pod ovim pretpostavkama predstavljaju najmanje vrednosti Pst koje mogu biti ostvarene kompenzacijom reaktivne snage. U realnom slučaju, vrednosti Pst će biti nešto veće zbog konačne brzine odziva STATCOM uređaja. Daljim unapređenjem modela samog STATCOM-a uticaj brzine odziva na određivanje Pst-a se može uzeti u obzir.

Na slikama 10 i 11 prikazane su vremenske promene Pst pre i nakon kompenzacije 70 MVar u čvoru TS SM2 110 kV (gore) i čvoru TS Nova Pazova 110 kV (dole). Vrednosti Pst su nakon kompenzacije značajno smanjene u oba čvora prenosne mreže: u TS Sremska Mitrovica 2 Pst nakon kompenzacije ne prelazi 0.55, a u TS Nova Pazova 0.2, dok su pre kompenzacije maksimalne vrednosti Pst iznosile 4.89 i 1.2 respektivno. Odavde je za očekivati da, kada se ugradi STATCOM snage 70 MVar, vrednost flikera kod NN potrošača u industrijskoj zoni Nove Pazove bude manji od vrednosti Pst zabeleženog na 110 kV strani.



Slika 10: Vremenske promene Pst u TS SM2 (110 kV, faza L1) (crno – pre kompenzacije, crveno – nakon kompenzacije 70 MVar)



Slika 11: Vremenske promene Pst u TS Nova Pazova (110 kV, faza L1) (crno – pre kompenzacije, crveno – nakon kompenzacije 70 MVar)

DALJI PRAVCI PRIMENE I RAZVOJA MODELA

Prezentovani metod je verifikovan i može se koristiti u širokom spektru problema za estimaciju vrednosti flikera. Tačnost metoda zavisi od tačnosti modela mreže, modela potrošača i modela opreme za smanjenje flikera. Postojeći modeli prenosne mreže imaju zadovoljavajuću tačnost, dok bi se modeli distributivne mreže mogli unaprediti. Sa druge strane moguće je unapređenje modela samog STATCOM uređaja, kao najčešćeg rešenja za smanjenje injekcije flikera, konkretno implementacija uticaja konačne brzine reagovanja.

Mogući pravci primene prezentiranog metoda su na prvom mestu u službama planiranja i eksploatacije, kada je potrebno preduzeti mere za smanjenje injekcije poremećaja postojećih potrošača i verifikovati efikasnost tih mera pre implementacije. S obzirom na demonstriranu visoku tačnost ovog metoda, pouzdanost dobijenih rezultata je izuzetna. To bi omogućilo službama planiranja da sa visokom pouzdanošću verifikuju predložene mere za smanjenje injekcije poremećaja.

Drugi pravac primene ovog metoda je u procesu planiranja priključenja novih potrošača i estimacije uticaja njihovog rada na vrednosti flikera u većem broju čvorova mreže. To bi omogućilo službama planiranja da precizno i srazmerno dodele kapacitete mreže za apsorpciju poremećaja, kao i da sačuvaju što veći deo kapaciteta za apsorpciju za potrebe budućeg razvoja mreže, a sve u cilju održanja planskih nivoa flikera u mreži.

ZAKLJUČAK

U radu je prezentirana metoda za estimaciju vrednosti flikera uz pomoć računarskih alata, a na osnovu vremenski varijabilnog modela potrošača i modela mreže. Metoda je verifikovana poređenjem rezultata simulacije sa rezultatima sinhronizovanih merenja rada elektrolučne peći u više čvorova prenosne mreže. Verifikacija je pokazala da apsolutna greška određivanja Pst, na konkretnom čvoru udaljenom 60 km od izvora poremećaja, iznosi 0,152, a najveća relativna greška 4,76 %. U radu je prikazan rezultat estimacije primene jedne od mera za smanjenje injekcije flikera od strane konkretne elektrolučne peći ugradnjom STATCOM uređaja.

Primena prezentirane metode je moguća u procesu analize uticaja uticaja priključenja novih potrošača na nivo flikera, kao i analize primene mera na limitiranju injekcije poremećaja, a sve u cilju precizne procene propagacije flikera kroz prenosnu i distributivnu mrežu u novom radnom stanju. Time se daje značajan doprinos na očuvanju značajnog dela kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja, kao i za priključenje novih potrošača.

LITERATURA

- [1] Elektromreže Srbije, Pravila o radu prenosnog sistema, Mart 2013.,
- [2] N. Zlatković, Ž. Marković i N. Mraković, "Analiza kvaliteta električne energije i međusobnog uticaja prenosnog i distributivnog sistema u tački primopredaje električne energije", "9. savetovanje CIRED Srbija 2014.", R 2.03
- [3] J. Čarnić, R. Milankov i M. Radosavljev, Interakcija mreže i korisnika na kvalitet električne energije, 10. savetovanje CIRED Srbija 2016., R 2.03
- [4] SRPS EN 61000-4-15:2013 Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) — Deo 4-15: Tehnike ispitivanja i merenja — Flikermetar — Funkcijske i projektne specifikacije
- [5] SRPS EN 50160:2012 Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih distributivnih mreža
- [6] SRPS EN 61000-2-2:2002 Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 2-2: Okruženje - Nivoi kompatibilnosti za kondukcione smetnje na niskim frekvencijama i prenos signala u javnim niskonaponskim sistemima za napajanje
- [7] SRPS EN 61000-2-12:2003 Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 2-12: Okruženje - Nivoi kompatibilnosti za kondukcione smetnje na niskim frekvencijama i prenos signala u javnim srednjenaponskim sistemima za napajanje
- [8] IEC TR 61000-3-6:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems
- [9] Z. Zhang, N. R. Fahmi and W. T. Norris, "Flicker analysis and methods for electric arc furnace flicker (EAF) mitigation (a survey)," 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502), 2001, pp. 6 pp. vol.1-, doi: 10.1109/PTC.2001.964651.
- [10] K. Anuradha, B. P. Muni and A. D. R. Kumar, "Electric Arc Furnace Modeling and Voltage Flicker Mitigation by DSTATCOM," 2008 IEEE Region 10 and the Third international Conference on Industrial and Information Systems, 2008, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIINFS.2008.4798451.

- [11] Y. F. Wang, J. G. Jiang, L. S. Ge and X. J. Yang, "Mitigation of Electric Arc Furnace Voltage Flicker Using Static Synchronous Compensator," 2006 CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2006, pp. 1-5, doi: 10.1109/IPEMC.2006.4778240.
- [12] H. Sharma, M. McGranaghan and J. Smith, "An efficient module for flicker assessment of electric arc furnaces," 2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, pp. 1-5, doi: 10.1109/PES.2008.4596789.
- [13] A. Leinonen and N. Laketic, "Advanced Technology to Ensure EAF Grid Flicker Compliance," 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494361.
- [14] Li Zhang, Yilu Liu, M. R. Ingram, D. T. Bradshaw, S. Eckroad and M. L. Crow, "EAF voltage flicker mitigation by FACTS/ESS," IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, 2004., 2004, pp. 372-378 vol.1, doi: 10.1109/PSCE.2004.1397576.
- [15] X. Yang and I. Papic, "Study of flicker propagation in electric grid by modeling and on-site flicker measurements," IEEE PES General Meeting, 2010, pp. 1-5, doi: 10.1109/PES.2010.5588182.