

FLIKERI – PROBLEMI, UTICAJ I ANALIZA REZULTATA MERENJA

R.MILANKOV PD Elektrovojvodina Elektrodistribucija Zrenjanin Pogon Kikinda¹
J.Čarnić, PD Elektrovojvodina, Uprava, Novi Sad

UVOD

Priključenje na elektrodistributivni sistem i pogon većih kupaca električne energije može biti vrlo kompleksan postupak. Zahtevan u pogledu realizacije i sagledavanja svih aspekata mogućih posledica odabranog rešenja. U radu se opisuje jedan primer narušavanja uslova u isporuci električne energije. Široka regija, teritorija dve opštine, na oko 1449 km² sa oko 125 000 stanovnika pogođena je specifičnom vrstom zagađenja, narušeni su uslovi i bezbednost zdravlja. Kupac električne energije, livnica sa elektrolučnim pećima, instalisane snage 50 MW, direktni je uzročnik generisanja smetnji – flikera. Opisani su uzrok i mesto nastanka smetnji, način rasprostiranja, kako po naponskim nivoima, tako i po geografskoj teritoriji. Merene su vrednosti flikera na naponskom nivou od 110 kV do 0.4 kV i to na geografskoj teritoriji, konzumnim oblastima elektrodistributivnih objekata u bližoj okolini, sa oko 44500 kupaca električne energije. Dati su primeri i način štetnog delovanja pojave na ljudski organizam.

Analizom merenih rezultata i poređenjem sa domaćim i stranim standardima iz ove oblasti došlo se do zaključka kolika je vrednost flikera na širokom konzumu, regiji gde se nalazi kupac. Na ovaj način se želi skrenuti pažnja na potrebu ažuriranja regulative za zasnivanje pretplatničkih odnosa ovakvih i sličnih kupaca, potencijalnih narušitelja uslova isporuke električne energije drugim kupcima. U radu je dat i predlog kako rešiti postojeći problem, nivo nepoželjnog faktora kvaliteta električne energije svesti ispod standardima limitiranih vrednosti.

OPIS NASTALIH PROBLEMA I UOČAVANJE POJAVE

Na teritoriji Elektrovojvodine Ogranka Sremska Mitrovica počeli su se uočavati problemi u snabdevanju električnom energijom ulaskom livnice u pogon u oktobru 2010. godine. Broj reklamacija kupaca na kvalitet električne energije je bio u naglom usponu i zajednički imenitelj im je bila pojava treperenja sijalica sa užarenom niti na širokom konzumnom području. Postavljala su se pitanja o uzroku nastanka ove pojave i zbog toga su preduzete radnje da bi se merenjem proverili aspekti kvaliteta električne energije na širem konzumu. Merenja su sprovedena na osnovu reklamacija kupaca sa sumnjom na pojavu viših harmonika i flikera.

Flikeri, kao pojava nisu toliko česti i nastaju u specifičnim uslovima, inače predstavljaju utisak nestabilnosti vizuelnog doživljaja uzrokovanog svetlosnim nadražajem čiji se sjaj ili spektralni raspored menja u

¹ Radislav Milankov, dipl.el.inž. EV Novi Sad ED Zrenjanin Pogon Kikinda, radislav.milankov@zr.ev.rs

vremenu. Kolebanje napona izaziva promene u sjaju izvora svetla, sijalica intenzitet ili iritantnost treperenja definisana IEC metodom za merenjem treperenja, određena je sledećim veličinama: kratkotrajna jačina (P_{st}) izmerena u toku perioda od deset minuta i dugotrajna jačina (P_{lt}) izračunata od niza od 12 P_{st} vrednosti u toku intervala od dva sata, u skladu sa izrazima:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}}$$

$$P_{1s} = \frac{P_{0.7} + P_1 + P_{1.5}}{3}; P_{3s} = \frac{P_{2.2} + P_3 + P_4}{3}; P_{10s} = \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5}; P_{50s} = \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3};$$

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} P_{st_i}^3 / 12}$$

u vremenskom intervalu od nedelju dana, 168 časova. U tom intervalu merenja 95 % odbiraka mora biti $Plt < 1$. U gornjim izrazima se spominju procenti udela nivoa flikera koji su postignuti za vreme 0.1, 1, 3, 10 i 50 % od posmatranog vremena. Oznaka "s" govori da su te vrednosti "peglane" (smoothed). Ovi parametri ukazuju na uticaj velike fluktuacije napona na jačinu svetla i uticaj ove promene na ljude. Ljudsko oko ima karakterističan propusni filter između 0.5 Hz i 35 Hz, sa maksimalnom osetljivošću na svetlosni fluks na frekvencijama od 8 – 9 Hz. Kod inkadescentnih izvora svetla, promena napona od svega 0.3 % od srednje vrednosti, primećuje se na ovim frekvencijama. Reakcija mozga na svetlosni stimulus ima jednu inercionu karakteristiku od oko 300 ms, što podrazumeva da se sporije promene uoče dok brže promene postaju neprimećene. Pojava flikeringa je mnogo izraženija na periferiji vidnog polja nego na zonama gde posmatrač fokusira pažnju. Prilikom izloženosti ovakvoj pojavi, može se očekivati da ova pojava bude okidač za epileptični napad. Fotosenzitivna epilepsija (PSE) je forma epilepsije gde su napadi izazvani vizuelnim stimilacijama koje se ponavljaju u vremenu, kao što su treperava svetla, mirna ili pokretna. Mogu se izdvojiti dva efekta: Bucha efekat (dr Bucha je u toku 1950.-tih izučavao učestali niz helikopterskih nesreća gde je uzrok bila dezorijentisanost pilota usled svetlosnih efekata prouzrokovanih radom elise helikoptera i sunčeve svetlosti)– dezorijentisanost, vrtoglavica i mučnina – indukovani efekat strobo lampe frekvencija od 1 do 20 Hz, što odgovara frekvenciji moždanih talasa čoveka. Fliker vrtoglavica je posledica neuravnoteženog rada, funkcije mozga, izloženog niskofrequentnim treptanjima (flikerima) svetlosnog, relativno moćnog izvora.

Posle povećanog broja reklamacija na kvalitet električne energije na konzumu Elektrodistribucije "Sremska Mitrovica" i po dobijanju preciznijih informacija da se smetnje prijavljuju najučestalije sa teritorija opština Sremska Mitrovica i Šid, pristupilo se merenju. Na slici 1 dat je geografski prikaz konzuma gde su

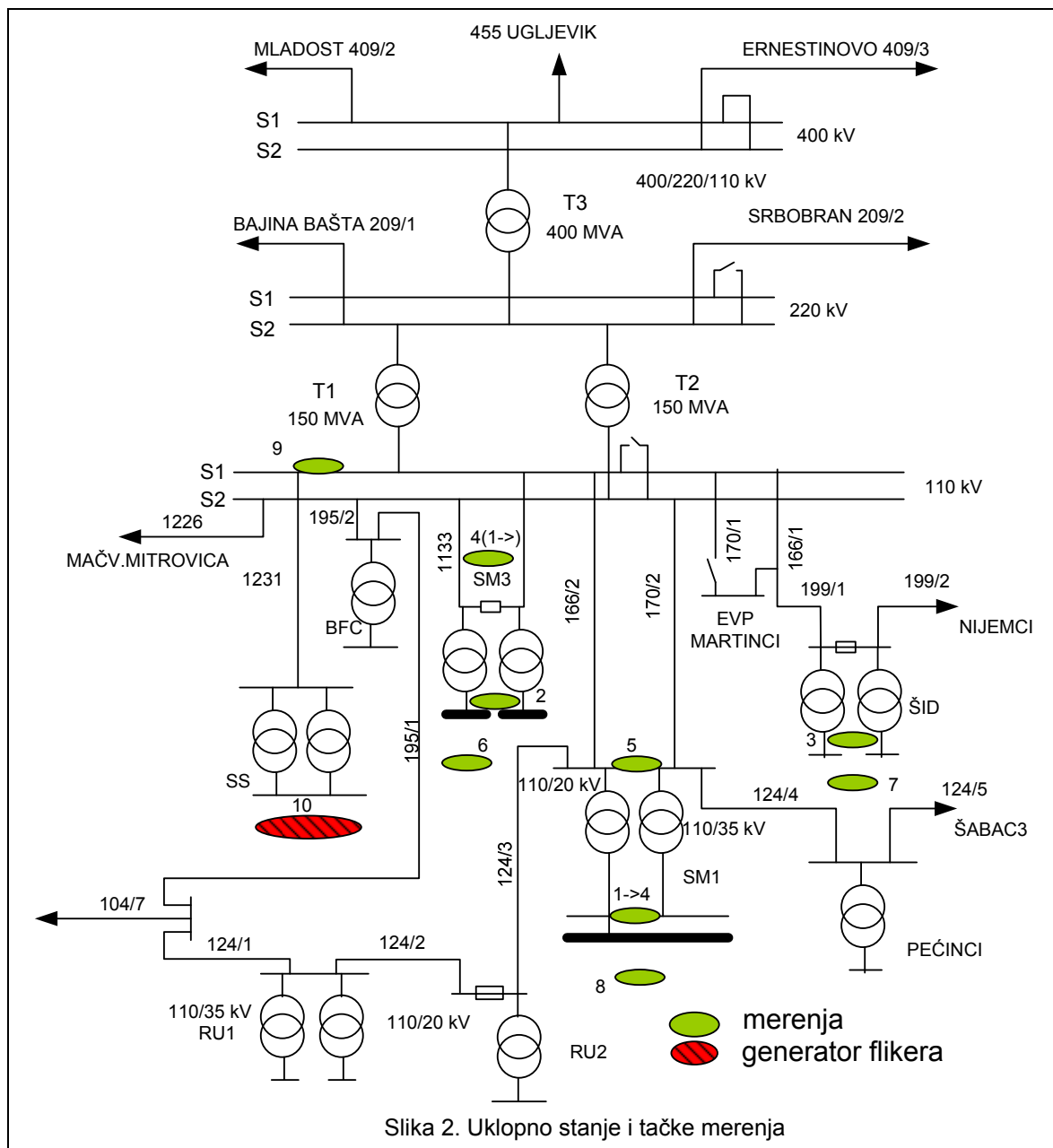


se uočavali problemi. Na slici 2. dato je uklopno stanje elektroenergetskih objekata sa tačkama gde su obavljena merenja.

Merenja su obavljena u više navrata i to u intervalu od 16. do 24.02.2011, od 24.02. do 04.03.2011. od 11. do 23.04.2011 i od 07.07. do 22.07.2011. Kupci sa konzuma Elektrodistribucije Sremska Mitrovica napajaju se električnom energijom iz prenosne mreže EMS i preuzimanje i obračun električne energije se vrši na naponskom nivou 110 kV. Uklopno stanje u TS 400/220/110 kV Sremska Mitrovica 2 obezbeđuje maksimalnu sigurnost napajanja, izuzev radijalnog pravca Šid. Kupac koji ima pogon elektrolučnih peći se nalazi u neposrednoj blizini, jednostruki DV 110 kV br. 1231 dužine nešto više od 5 km. Postrojenje je projektovano za 200000 tona čelika, jedno punjenje je 50 tona. Intermitentni režim rada

elektrolučnih peći se odvija u ciklusima od oko 15 minuta i to 4 puta, gde je opterećenje najveće u početnom stadijumu kada je materijal hladan. Početno zaranjanje 3 grafitne elektrode predstavlja režim rada u kratkom spoju. U pogonu su 2 elektrolučne peći: veća, snage 43MVA, ima grafitne elektrode $\Phi 500 \times 2100$ mm, dok manja, snage 10 MVA ima elektrode $\Phi 300 \times 1850$ mm. Servo mehanizam, koji

obezbeđuje pozicioniranje grafitnih elektroda, izaziva sporu promenu napona od 0.5 do 2 Hz i gorenje luka izaziva varijaciju napona u rasponu od 3 do 12 Hz. Varijacija struje nije ista u sve tri faze i ona izaziva nesimetriju koja je od trenutka do trenutka različita. Karakteristika elektrolučne peći je takva da varijacija struje oko radne tačke izaziva veću promenu reaktivne snage nego aktivne snage. Na promenu reaktivne snage mreža reaguje na promenu napona. Najveću potrošnju reaktivne snage imamo u trenucima faze topljenja i tada vrhovi reaktivne snage odgovaraju kratkom spoju između elektroda. Tada je struja jedino ograničena reaktansama pećnog transformatora i reaktansom mreže. Nazivna reaktivna snaga elektrolučne peći je približno jednaka nazivnoj aktivnoj snazi što znači da peć radi sa faktorom snage $\cos\varphi=0,7$. Nagle promene opterećenja relativno velike snage diktiran ritmom tehnološkog procesa izaziva varijaciju napona koje će prouzrokovati treperenje svetla.



Postrojenje elektrolučne peći se napaja sa jednog od dva sistema sabirnica 110 kV iz TS 400/220/110 kV „Sremska Mitrovica 2“ i opremljeno je jednim dalekovodnim poljem i postoje dva trafo polja sa energetskim transformatorima prenosnog odnosa $126,1\pm 12 \times 0,945\%/23,5/6,2$ kV, snage 30/25/10 MVA, Y,

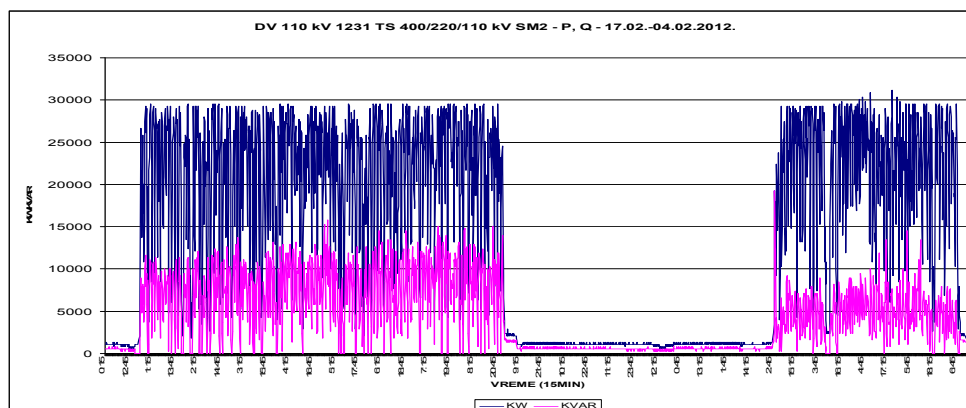
yn0, d11, uk=9.25%/5.38%/1.2%. Veća elektrolyučna peć se napaja preko regulacionog ET 43 MVA prenosnog odnosa 20/0,604 kV, struje na sekundaru 41,9 kA i manja preko ET 11,73 MVA prenosnog odnosa 20/0,162 kV i struje na sekundaru 42,273 kA. Postrojenje je opremljeno fiksnim kondenzatorskim baterijama 20 kV snage 10(26) MVAR tipa Qbank ABB-AS CHDB, 24 baterije po 1089 kvar i prigušnicom - pasivnim filtrom harmonika 100-250 Hz, 9.55 mH, 1500 A, 7 kA.

MERNI UREĐAJI

Merenja su obavljena koristeći savremene uređaje namenjene za monitoring kvaliteta električne energije, usklađene sa standardima IEC 61000-4-15, IEC 61000-4-30, evropskom normom EN 50160 koja je od 29.12.2008. postala nacionalni standard SRPS EN 50160, gde Službeni glasnik 7/109 propisuje obavezu njene primene. Analizatori koji su korišćeni su: dva uređaja ELSPEC Black Box G4420 koji meri 4 struje i 4 napona, preko 16/20 bitnih A/D konvertora, u potpunosti usklađen sa pomenutim standardima IEC i EN i na taj način deklarisan kao uređaj klase A. Uređaj snima 512 tačaka u periodi svake merene veličine, po svakom kanalu. Po patentiranoj proceduri, algoritmu, PQZIP, vrši se kompresija 1000:1 i ti se podaci čuvaju na 2 Gb SD kartici i u procesu naknadne obrade prikazuju se sve merene i računate vrednosti u rezoluciji od 0.1 ms. Ima mogućnost merenja do 511 harmonika i to u paralelnom režimu dva A/D konvertora, uz primenu najsavremenijih metoda matematičkog modelovanja (Wavelet transformacija). Uređaj bez downloada podataka može sačuvati 1 mesec svih merenja. Uređaj ima ugrađen WEB server, OPC server, 2 Ethernet 100Mbit porta sa PoE mogućnostima, MODBUS preko TCP/IP, digitalni I/O moduo sa 8 digitalnih ulaza, 4 digitalna izlaza, 3 C-form relejna izlaza, 4 analogna (4-20 mA) ulaza i izlaza. Uzorkovanje napona je direktno, dok se struja uzorkuje preko 5A ulaza, sekundarno uz unos konstanti i za naponske i za strujne merne transformatore. Za download i obradu podataka koristi PQSCADA software, a za pregled i kreiranje izveštaja i export podataka koristi se software Investigator. Korišćen je i CIRCUTOR AR5 – analizator za praćenje električnih parametara i to 3 struje i 4 napona u 3 režima rada: harmonjska analiza, snimanje flikera i režim snimanja poremećaja i smetnji u mreži. Uređaj uzorkuje napon direktno, dok se struje uzorkuju strujnim kleštima kada se mere sekundarne vrednosti (konstanta se unosi prilikom parametriziranja uređaja) ili direktno preko kalema Rogowski (200A, 2kA, 20 kA). Sa podesivim periodom zapisa merenih vrednosti od minimalno 1 s, u režimu harmonijske analize, do mogućnosti analize pojava na nivou reda ms, u režimu snimanja poremećaja u mreži, uređaj može naći primenu u proveru faktora kvaliteta električne energije.

MERENJE

Merenja su obavljena prvo u TP 20 kV trafostanica 110/35/20 kV SM1, 110/20/35 kV SM3 i 110/20 kV Šid, gde su postavljeni uređaji ELSPEC u 110/35/20 kV SM1 i 110/20/35 kV SM3, dok je u TS 110/20 kV Šid



bio postavljen CIRCUTOR AR5 u režimu snimanja viših harmonika. Zatim su uređaji premeštani u TP 110 kV u TS SM3 i TP20 kV SM3, a zatim i na obračunsko merno mesto, DV 110 kV 1231

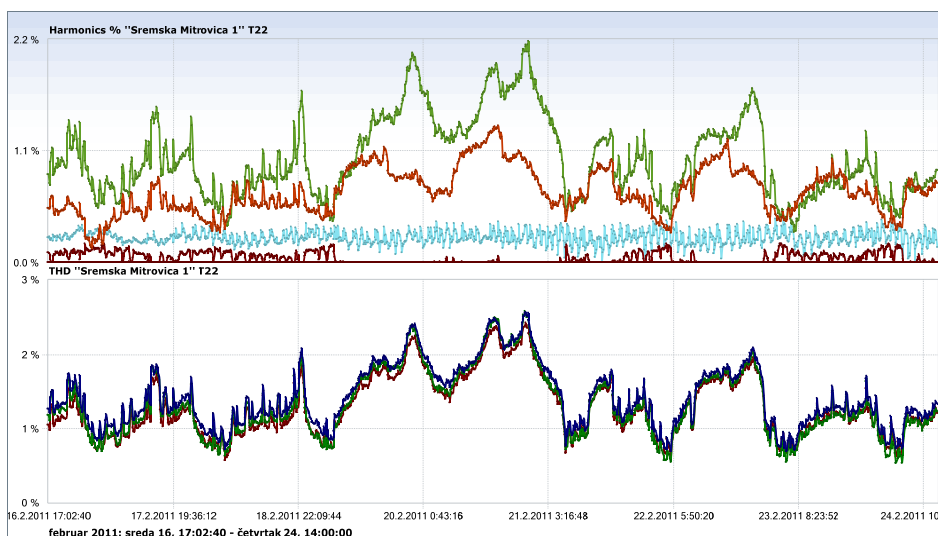
Slika 3: Obračunsko merno mesto 110kV u DVP 1231 TS 400/220/110 kV SM2 u TS 400/220/110 kV SM2, ali su uređaji postavljeni i u EEO nižih naponski nivoa, u DTS 20/0.4 kV koje su birane tako da su to bile obično krajnje TS izvoda 20 kV, u delovima gde je problem bio najizraženiji, i to u TS 20/0,4 kV „Obdanište“, gde je ova TS deseta u nizu, oko 6 km od izvora na 20 kV vodu

Podrinska, TS 20/0,4 kV „Matija Huđi III“ sa izvoda 20 kV Sirmodeks na oko 5 km od TS 110/20 kV SM3 u samoj Sremskoj Mitrovici i u TS 20/0,4 kV „6 Decembar“ u Šidu. Imali smo nameru da analiziramo dva faktora kvaliteta električne energije: više harmonike i flikere. Kako bi se sagledalo prostiranje ovih faktora kvaliteta električne energije merenja su obavljena jednovremeno (koliko je broj raspoloživih uređaja dozvoljavao. Da bi se moglo porediti merenje sa režimom rada pogona upotrebljen je dijagram opterećenja sa obračunskog mernog mesta u DVP 110 kV 1231 u TS 400/220/110 kV "Sremska Mitrovica 2", multifunkcijski merni uređaj Actaris. Na osnovu prikazanih merenih vrednosti može se zaključiti da je proces rada elektrolučne peći takav da se imaju prekidi u radu, peć radi par dana, zatim sledi pauza, priprema peći za sledeći ciklus rada. Posmatrajući dijagram aktivne i reaktivne snage može se takođe zaključiti da je promena opterećenja vrlo izražena.

Rezultati merenja

Pošto smo imali opravdanu sumnju da se radi o višim harmonicima prvo smo obavili merenje ovog parametra:

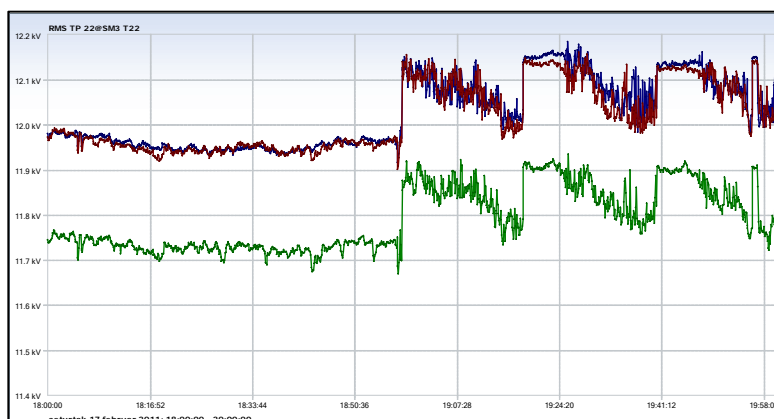
Na slici 4 je dat dijagram viših harmonika napona i THD na mestu merenja 20 kV TP SM1, a slični rezultati su se dobili i u drugim mernim tačkama i intervalima merenja.



Najviše se očekivalo od merenja flikera tako da smo im najviše pažnje posvetili. Najpre je odvojen dijagram napona na početku posmatranog perioda, gde je pokazan deo pre starta lučne peći i za vreme rada peći.

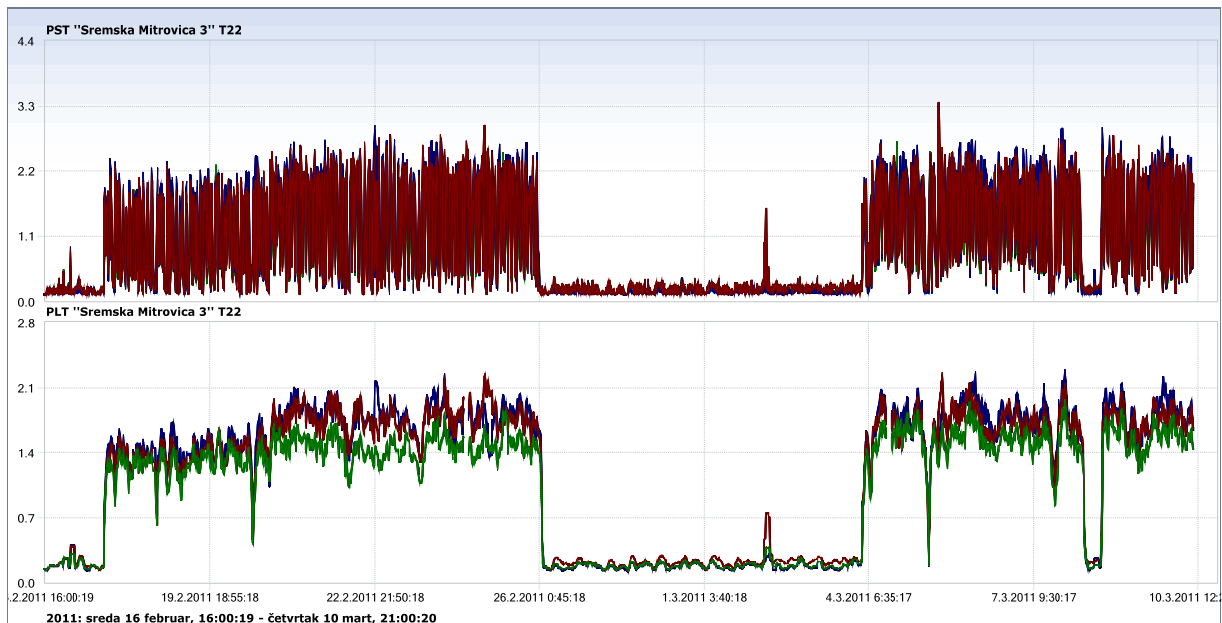
Na slici 5 su data merenja napona

Slika 4: Merenje viših harmonika napona i THD



Slika 5: Merenja napona

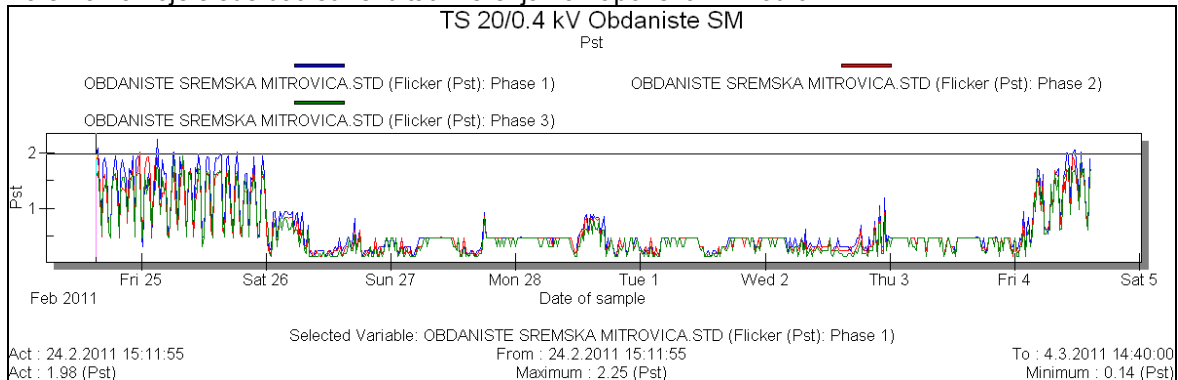
Na sledećoj slici dat je dijagram flikera:



Slika 6: Merenje flikera – parametri Pst i Plt

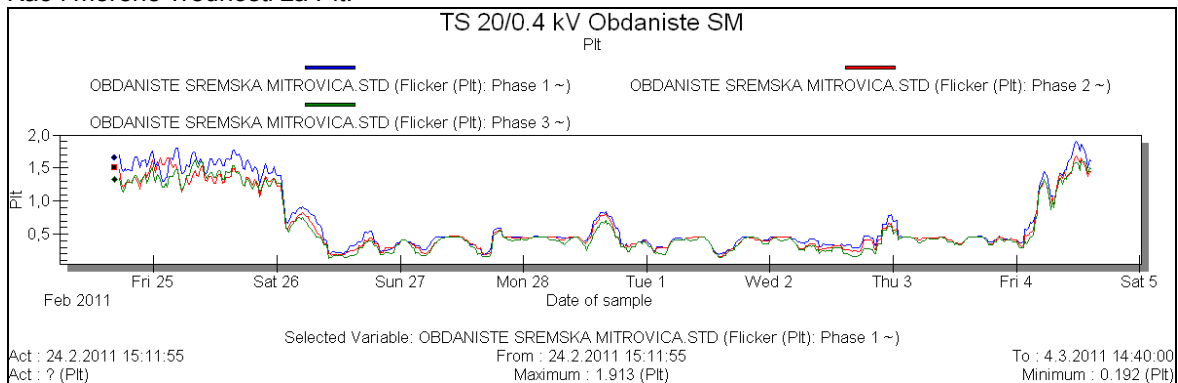
Na slici 6 su dati parametri Pst i Plt za mernu tačku TP 20 kV u 110/20/35 kV SM3

Na slikama koje slede dati su rezultati merenja na naponskom nivou 0.4 kV



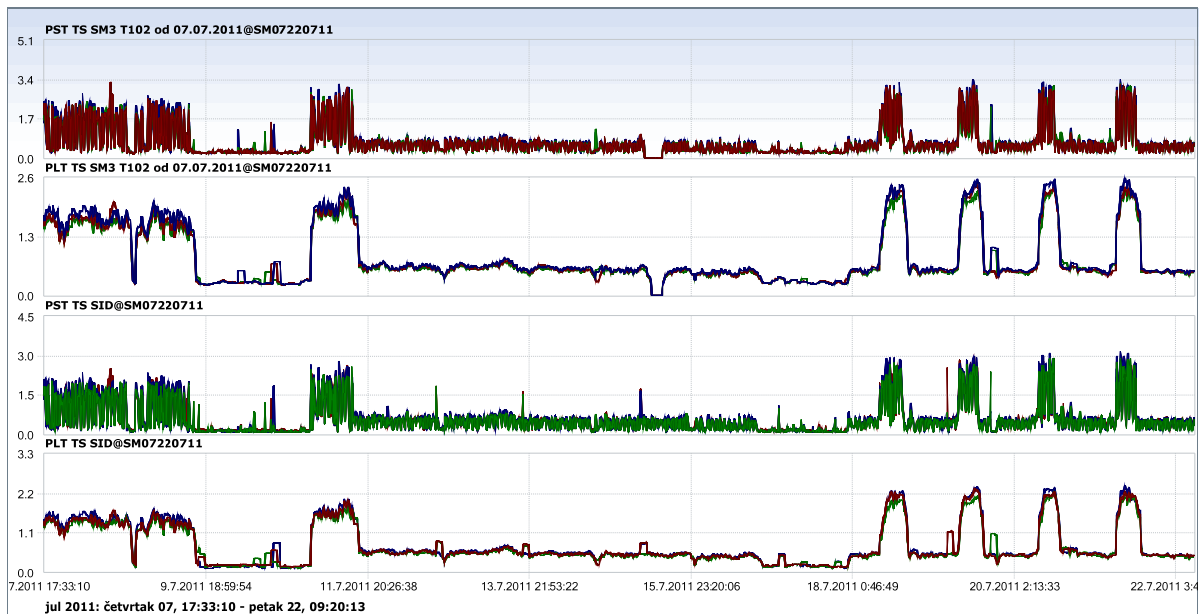
Slika 7: Merena vrednost za Pst - DTS 20/0.4 kV u intervalu 24.02.-4.03.2011

Kao i merene vrednosti za Plt:



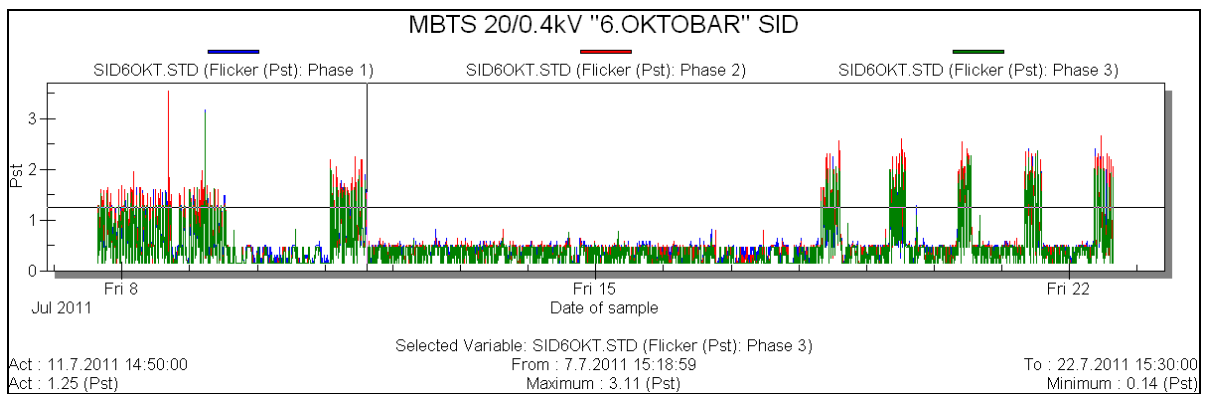
Slika 8: Merena vrednost za Plt – DTS 20/0.4 kV u intervalu 24.02.-4.03.2011.

Na sledećoj slici su prikazane merene vrednosti pokazatelja flikera Pst i Plt:

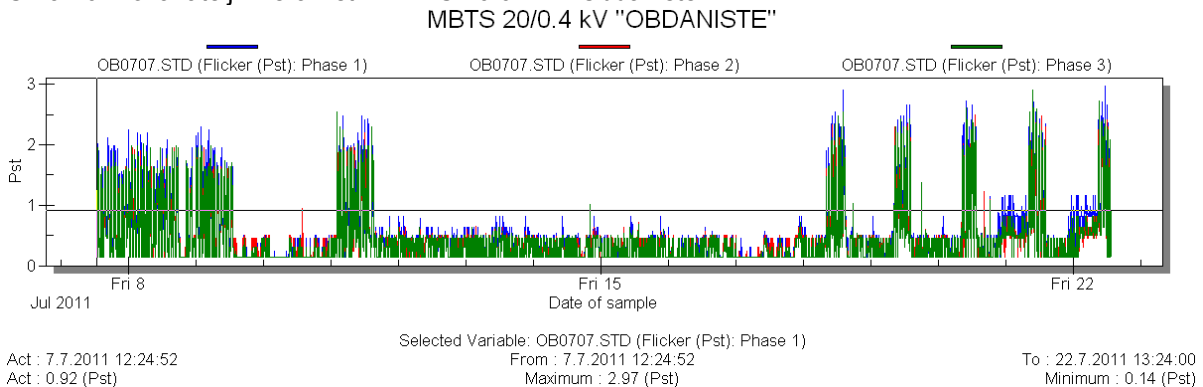


Slika 9: Pokazatelji flikera Pst i Plt za dve TS 110/20 kV: SM3 i Šid za period 07.-22.07.2011.

Dat je i dijagram jednovremenog merenja pokazatelja flikera i na naponskom nivou 0.4 kV:



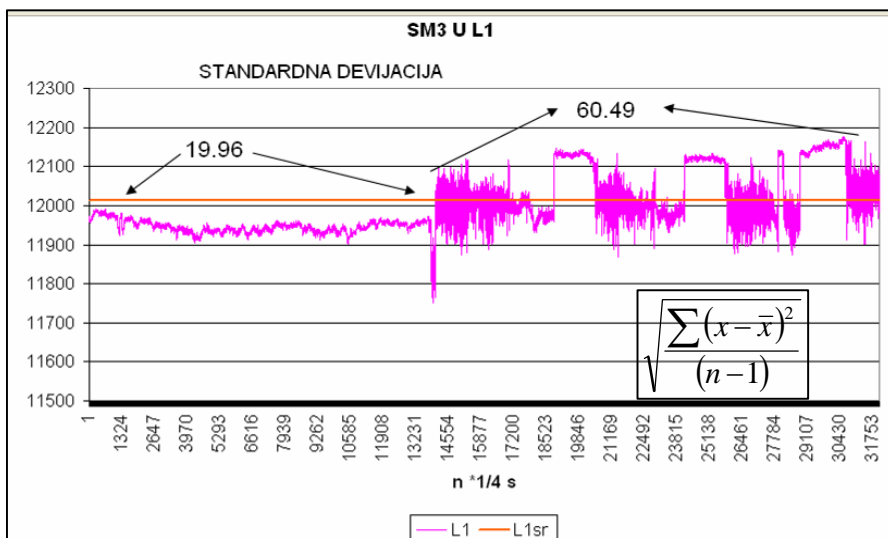
Slika 10: Pokazatelj flikera Pst – MBTS 20/0.4 kV Obdanište



Slika 11: Pokazatelj flikera Plt – MBTS 20/0.4 kV Obdanište

ANALIZA REZULTATA MERENJA

Analizirajući dobijene rezultate, vrtićemo se na dijagram napona, kako bismo pojasnili pojam flikera. Promena napona se može uočiti na dijagramu na slici i kad se nad segmentom merenih vrednosti pre starta i posle starta elektrolučne peći primeni statistička obrada i iskaže standardna devijacija može se



videti razlika u fluktuaciji napona, koja je posledica promena reaktivnog opterećenja. Kada se pogledaju vrednosti za dozvoljene vrednosti po pomenutim standardima za nivo viših harmonika (Tabela 1. EN50160) vidi se da su merene vrednosti ispod ovih limitiranih vrednosti, 3.či < 5%, 5.ti <6%, 7.mi<5%, 9.ti<1.5%, kako za niski tako i za srednji napon. Vrednosti pokazatelja 10-to minutnih flikera, Pst i dugotrajnih flikera, na bazi 120 min, Plt, su po standardima <

1. Vrednosti ovih pokazatelja u svim mernim intervalima, u svim mernim tačkama su zabeleženi preko dozvoljenih granica. Nivo povećanja pojave je i preko 3 puta!

ZAKLJUČAK

S obzirom na nedvosmislene rezultate merenja (opseg maksimalno izmerenih vrednosti flikera dat u Tabeli 1) predloženo je da kupac električne energije preduzme mere suzbijanja flikera. Pošto se radi o

Tabela 1: Flikeri - opsezi izmerenih vrednosti

PAR.	110 kV	20 kV	0.4 kV
Pst	3.2	2.98 - 3.02	2.25
Plt	2.4	2.25 - 2.26	1.91

pogonu koji je uspešno filtriran u pogledu harmonika (ugrađen filter), mora se nešto preduzeti u pogledu kompenzacije reaktivne snage i to na adekvatan način. Postojeća fiksna kondenzatorska baterija, samo pomaže gorenju luka, smanjuje varijacije struje u početnom procesu topljenja, ali je nedovoljna da prati

promenu reaktivne snage i zbog toga je predložena kompenzacija:

- Static Var Compensator – tiristorski kontrolisan reaktor (fiksna kondenzatorska jedinica za obezbeđivanje reaktivne snage i tiristorski kontrolisana induktansa)
- STATCOM (ABB registrovano ime SVCLight) – slično kao i SVC obezbeđuje promenjivu reaktivnu snagu kao odgovor na zahteve mreže, radi po principu naponskih izvora, pulsnom širinskom modulacijom upravlja bipolarnim tranzistorima izolovanog gejta i na taj način obezbeđuje najbolji kvalitet, brzinu reagovanja.

LITERATURA

- 1.Prof. Dr Vladimir Katić, 2001. Viši harmonici u distributivnoj mreži, FTN Novi Sad
- 2.Standard: SRP EN 50160:2008, Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih distributivnih mreža, Službeni glasnik 7/09
- 3.Standard: SRPS EN 61000-4-1:2008 Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 4-1: Tehnike ispitivanja i merenja, Službeni glasnik 68/08
- 4.R. C. Dugan, S. Santoso, M. McGranaghan, H.W. Beaty, 2002, Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill
- 5.A. Baggingi, Handbook of Power Quality, 2008, John Wiley&Sons, Ltd.