

KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE – ŽALBE KUPACA I MERENJA

R.Milankov Elektrovojvodina, Srbija¹

UVOD

U procesu distribucije električne energije kvalitetu električne energije se ne posvećuje dužna pažnja, naročito ukoliko se posmatra okruženje i drugi elektrodistributivni sistemi i zakonski propisi koji u njima vladaju. Tehnološke celine i procesi, kao i uređaji koji se pojavljuju u njihovim elementima, takođe su postali sve zahtevniji u pogledu pojedinih aspekata kvaliteta električne energije. U radu je dat kratak pregled problema i pojedina iskustva u merenju kvaliteta električne energije.

KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE I DISTRIBUCIJA – ZAKONSKE OBAVEZE

U procesu isporuke električne energije kupcima javlja se potreba i za merenjem kvaliteta električne energije. Električna energija je roba koja se isporučuje na više mesta, predaje kupcima i mora zadovoljavati određene kriterijume raspoloživosti i kvaliteta.

Raspoloživost spada u domen komfora kupaca i predmet je analiza drugih kategorija prezentovanja i poređenja kako kupaca tako i isporučilaca električne energije (ukupan broj potrošača bez napona po ispadu u odnosu na ukupan broj priključenih potrošača - SAIFI, prosečno trajanje prekida po priključenom potrošaču – SAIDI, prosečno trajanje prekida po ispadu – CAIDI, itd...). Kvalitet električne energije na višim naponskim nivoima takođe zahteva specifične analize. Osvrt je dat na ocenu kvaliteta električne energije kada je u pitanju distributivni sistem za isporuku električne energije kupcima prevashodno na 0.4 kV naponskom nivou.

Kada se posmatra snabdevanje kupaca, može se govoriti o nekoliko osnovnih uzroka prekida u isporuci:

- planirani radovi
- kvarovi u elektrodistributivnom sistemu sa dužim ili kraćim prekidima
- kvarovi u EES viših naponskih nivoa

Planirani radovi se mogu podeliti na kratkotrajne i one koji traju duže od jednog sata. Planirani radovi koji traju kraće od jednog sata se obavljaju bez obaveštavanja potrošača, dok se duži radovi obavljaju tek posle obaveštavanja kupaca da će doći do prekida u isporuci.

Pod kvarovima u elektrodistributivnom sistemu se podrazumevaju svi prekidi nastali usled prorade zaštitnih uređaja i rada lokalne automatike u EDO. Ovde se predviđa i lokalizacija kvara za čije vreme dolazi do prekida. Kvarovi mogu biti prolaznog ili trajnog karaktera. Prolazni su oni kod kojih do uspostavljanja ponovnog naponskog stanja dolazi delovanjem lokalne automatike u objektima

¹ Radislav Milankov, Elektrovojvodina Elektrodistribucija Zrenjanin Pogon Kikinda, 0230 23 100 lok 204

isporučioća električne energije, dok prekidi trajnog karaktera zahtevaju delovanje manipulanata ili izvođenje naknadnih radova na otklanjanju posledica kvara.

Kvarovi u EES viših naponskih nivoa (kvarovi izazvani događajima na DV 110 kV i svim drugim objektima, DV i TS naponskih nivoa iznad 110 kV).

Sve pojave u smislu prekida u isporuci električne energije se mogu podeliti na prolazne i trajne. Prekid u isporuci koji nije prolaznog karaktera jeste kvar i prilikom njegovog nastanka i aktivnostima na njegovom otklanjanju štetu trpi kupac ali i distributer jer nije plasirao robu.

Kupac električne energije je pored problema sa kvarovima i prekidima u napajanju suočen i sa problemom kvaliteta električne energije i kad je ona raspoloživa. Dakle kupac očekuje da prevashodno ima a zatim i da ima električnu energiju određenog kvaliteta.

Međusobni odnosi kupca i distributera se uređuju sporazumno ili zakonskim propisima.

U dosadašnjoj praksi (od 2003.god.) kupac je očekivao da ima električnu energiju (napon) u granicama +/- 10 % u odnosu na nominalnu vrednost i to je bio dovoljan uslov za zadovoljavajući komfor. Sa porastom broja pojedinih osetljivih potrošača, kako po individualnim domaćinstvima, a naročito kod drugih kategorija kupaca, zahtev kupaca je počeo da se menja i zahtevani kriterijumi za kalitetom električne energije su počeli da se zaoštavaju. Više nije dovoljno samo saznanje da se efektivna vrednost napona kreće u granicama od +/- 10 % nego su počela da se postavljaju i pitanja u kom vremenskom intervalu je ovo iskazano, koji je nivo uzorkovanja, koliko je to dozvoljeno trajanje prekida, itd...

Tako se počelo sa primenom novih pojmova o kvalitetu električne energije i novih uređaja i instrumenata koji su spremni da pruže dijagnostičku podršku u obavljanju merenja i utvrđivanja kvaliteta električne energije. Kvalitet električne energije je počeo da se tretira drugačije ne samo kod kupaca nego i u distributivnim kućama koje su počele da uočavaju i kupce kao faktore koji utiču na kvalitet električne energije i da ih markiraju kao uzročnike koji utiču na degradaciju kvaliteta električne energije.

U elektrodistributivnoj delatnosti su razvijene procedure u sistemu kvaliteta ISO 9001 koje opisuju procese prijemnog kontrolisanja kvaliteta električne energije, kao i kontrolu kvaliteta u procesu distribucije električne energije, kao i procedure koje obrađuju proces reklamacije kupaca na kvalitet isporučene električne energije. Prilikom kontrole procesa i upravljanja procesima, propisano je korektivno delovanje na kvalitet kako bi se zadovoljio kupac. Reklamacije na kvalitet električne energije na višim naponskim nivoima se obično odnose na raspoloživost, i tu se odgovori svode na informisanje o mogućim uzrocima u prekidu isporuke i na davanje prognoze o ponovnom uspostavljanju naponskog stanja. Retki su slučajevi drugih oblika reklamacija i pritužbi.

Mada, ako se govori o uticaju pojedinih, naročito nelinearnih potrošača mogu se izdvojiti pojedini kupci kao uzročnici velikog prljanja distributivne mreže.

Kupac električne energije ima pravo (Zakon o energetici - čl.60 stav 1 i 2, Službeni glasnik Republike Srbije br. 84/2004) da zahteva u slučaju tehničkih ili drugih smetnji u isporuci energije, čiji uzrok nije na objektu kupca, da se te smetnje uklone u primerenom roku. Tako da se kupcima pruža adekvatna usluga kroz propisane procedure reklamacija, gde kupac popunjava obrazac Prijave reklamacije, zatim sledi Zahtev službe koja je primila i obradila reklamaciju, sagledala aspekte napajanja potrošača na datoj lokaciji koji se upućuje Službi merenja koja obavlja kontrolu kvaliteta električne energije u traženom domenu i sačinjava Izveštaj o merenju kvaliteta električne energije kod kupca na propisanom obrascu. Nadležna služba preduzima adekvatne korake na otklanjanje primedbi, ukoliko su opravdane i ukoliko su ispunjeni tehnički uslovi, i potom obaveštava kupca o preduzetim merama.

ŽALBE KUPACA NA KVALITET

Sve žalbe kupaca se svode na žalbe na 0.4 kV naponskom nivou. Uglavnom se pritužbe kupaca mogu podeliti u nekoliko kategorija:

- na sniženu efektivnu vrednost faznog napona u dužem vremenskom periodu
- na sniženu efektivnu vrednost faznog napona u kratkom vremenskom intervalu
- na asimetrično napajanje
- na vrlo česte prekide u isporuci električne energije
- na pojave treperenja sijalica u retkim slučajevima

Pritužbe se mogu podeliti i po mestu prijema u elektrodistribuciji:

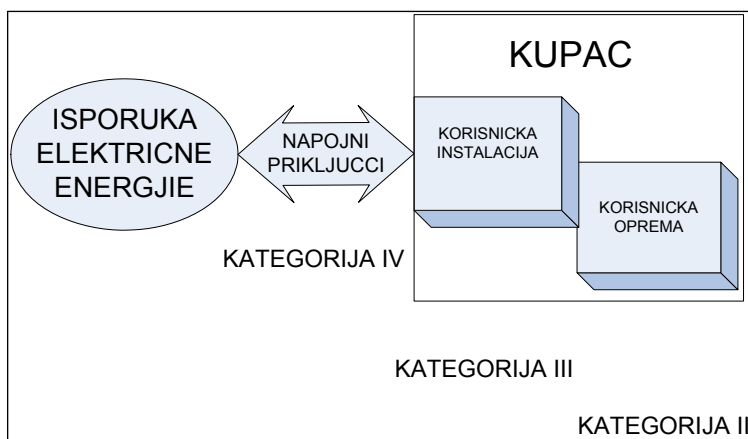
- reklamacija upućena telefonom i to službi upravljanja distributivnim sistemom – dispečerskom centru. Centar upravljanja može dati on-line podatke o trenutnom uklopnom stanju, planiranim radovima ili drugim razlozima u prekidu u isporuci električne energije, naslanjajući svoje procene i prognoze na podatke i izveštajne funkcije SCADA sistema, dakle u stanju je da

ponudi odgovore koji će u malom broju samo delimično zadovoljiti kupce koji imaju primedbe na kvalitet električne energije

- reklamacija upućena telefon preko telefonske centrale gde radnik na centrali upućuje kupca po nahođenju. Ovakav vid reklamacije obično ne završi na pravoj adresi kupac ne dobije pravu informaciju
- reklamacija upućena u pisanoj formi koja ima propisanu formu Prijave reklamacije. Ovo je jedini pravi put za rešavanje reklamacije, na ovaj način se obezbeđuje potrebna zagantovana povratna informacija do kupca koji je pokrenuo reklamaciju.

Ako se pogleda postojeća regulativa koja isporučioa električne energije obavezuje u smislu kvaliteta električne energije i mnogi međunarodni standardi koji će svakako biti podloga prilikom donošenja domaćih standarda u ovom pogledu može se dati jedna konstruktivna primedba i opažanja koja bi se mogla odnositi na zahteve kako kupaca tako i distributera šta se može očekivati od nacionalnih propisa i praktične njihove primene kada je u pitanju prevashodno tarifni kupac električne energije i distributer električne energije:

- propisati, definisati koje su obaveze distributera kao krajnjeg isporučioa električne energije do tarifnog kupca. Ovde je potrebno razgraničiti elemente kvaliteta električne energije koji se tiču distributera od elemenata kvaliteta električne energije koji su uslovljeni prenosnim sistemom, i gde uzročnik degregacije kvaliteta nikako ne može biti u distributivnom sistemu. Ovo je jako važno, jer je tarifni kupac upućen prilikom reklamacije, na distributera i ako dobije informaciju da je uzrok negde u višim naponskim nivoima, to obično nije zadovoljavajući odgovor, naročito ukoliko ostaje nerazjašnjeno šta je čija obaveza, počev od procesa proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije.
 - o Ovakav vid razgraničenja je još potrebniji ukoliko se ima na umu deregulacija tržišta električne energije, kada se na pojam distributer električne energije više ne gleda samo kao na jednog pravnog subjekta. Rukovanje javnom distributivnom mrežom, merenje električne energije i procesi prodaje električne energije se moraju u dogledno vreme realizovati kroz više odvojenih pravnih subjekata. Operater distributivne mreže (DNO), Operater brojila i Prodavac energije moraju biti organizovani kroz 2-3 pravna subjekta i moraju svaki u svom domenu garantovati i odgovarati za tačno definisane elemente kvaliteta električne energije.



Slika 1: Prikaz položaja napojnih priključaka

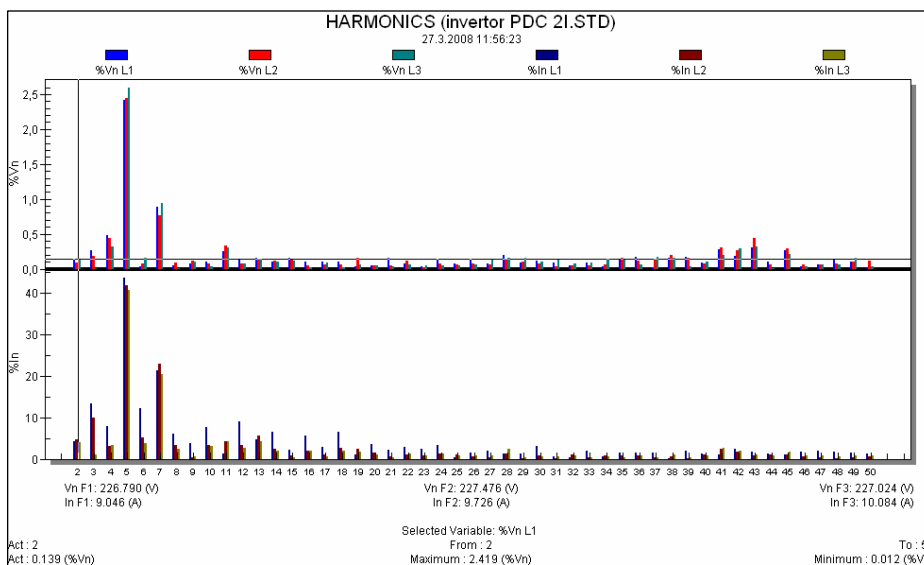
pošto se žalbe kupaca odnose generalno na svaku vrstu tehničko-obligacione primedbe koja se tiču kupca i njegovog komfora koju on očekuje, opravdano ili neopravdano, za naknadu koju je on prihvatio, potrebno je definisati područje primene obaveze. Kontrola kvaliteta električne energije u smislu primene nacionalnih standarda se mora strogo definisati na mesto primene. Na slici 1 je dat primer gde se vidi da je kontrola obavezna samo na specifičnim mestima kada je u pitanju DNO. Mora se strogo podvući da je standard usko vezan samo za tačku koja je definisana kao tačka napojnih priključaka.

Polazeći od napred iznetog i upoređujući dobijene rezultate merenjem sa iskustvima i standardnima koji važe u evropskom okruženju (EN 50160), IEC 61000-4-30, i prateći nastojanja pojavljivanja nacionalnog standarda SRPS EN 50160:2006 izneću neka iskustva u merenju.

MERENJE KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGJE

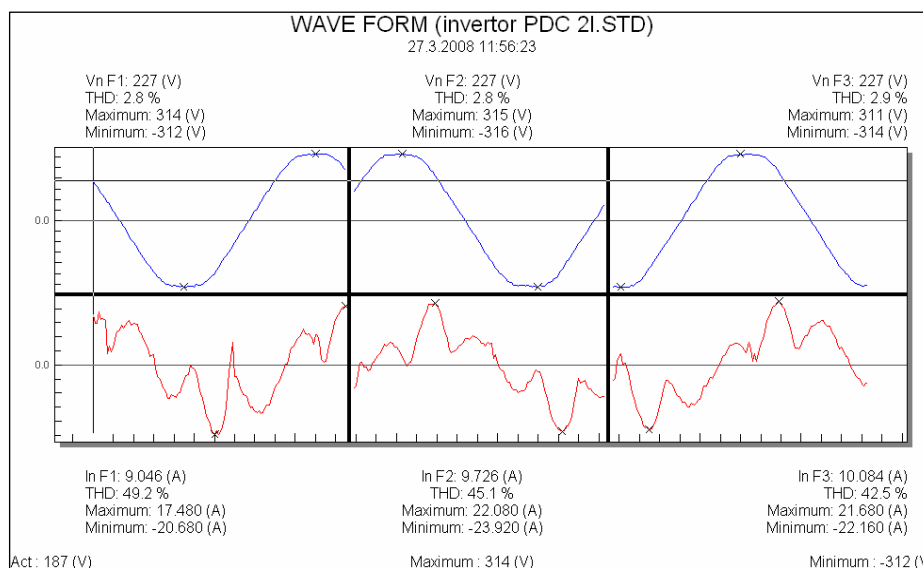
Uzimajući dosadašnju praksu kao primer može se reći da ni zakonske obaveze, ni zahtevi kupaca nisu bili na zavidnom nivou kada je u pitanju merenje kvaliteta električne energije. Tako da je i oprema kojom su raspolagali distributeri bila ispod očekivanog nivoa i korišćenjem takve opreme nije se mogao dobiti adekvatan rezultat merenja a naročito se nije mogao dokumentovati rezultat merenja. Pojavom novih uređaja koji imaju karakteristike takve da mogu generisati gotove izveštaje bazirane upravo na ovim standardima, i padom cena ovakvih uređaja mogu se odgovoriti zahtevima preciznije dijagnostike kada je u pitanju stanje kvaliteta električne energije. Ovakvi uređaji mogu dati odgovore kada su u pitanju npr. harmonijska analiza, flikeri i poremećaji u mreži. Upotrebna vrednost ovih mrežnih analizatora se sastoji i u mogućnosti prikupljanja drugih informacija o merenju električne energije, aktivne, reaktivne snage, faktora snage, frekvencije i drugih parametara koji mogu poslužiti za enegretsku analizu, kontrolu merenja, itd...

Jedan od uobičajenih problema je i ponašanje sistema besprekidnog napajanja: ispravljača i invertora Dispečerskog Centra, gde je na slici 2 dat pregled harmonika struje i napona:



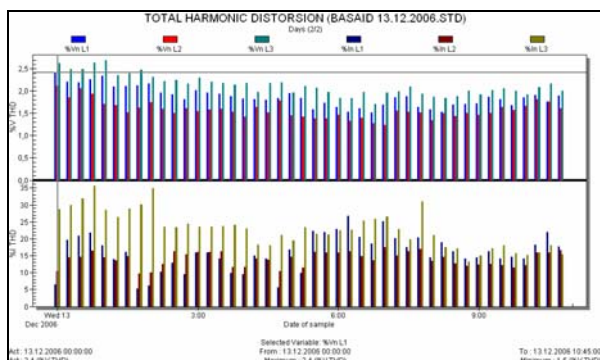
Slika 2: Viši harmonici napona i struje inverter u ED

Gde se vidi da je udeo viših harmonika, naročito 5. i 7. izrazito visok kada je u pitanju struja. Dat je i trofazni talasni oblik napona i struje na slici 3.

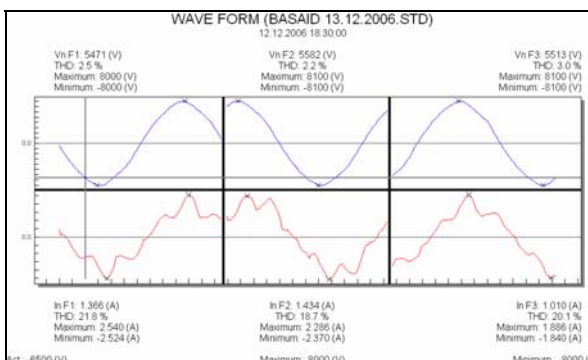


Slika 3: Trofazni talasni oblik napona i struje

Kada je harmonijska analiza u pitanju, može se reći da su ovakvi uređaji obično deklarirani za analizu do 50-tog harmonika mada se prema standardima zahtevaju analize do 25 harmonika.



Slika 4: THD U(%) i I(%)



Slika 5: Talasni oblik U i I (po fazama)

Na slici 4 dat je primer %U THD i %I THD i na slici 5. talasni oblik napona i struje trofazno jednog postrojenja vodovoda naseljenog mesta gde je regulacija brzine motora pumpe urađena vektorskim regulatorom.

Kada se govori o uticaju viših harmonika mora se spomenuti da se koriste pokazatelji: totalna harmonijska distorzija THD napona i struje

$$THDU(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}{U_1^2}} (\%) \quad THDI(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1^2}} (\%)$$

faktor distorzije napona $\frac{U_h}{U_1}$ (%) ili struje $\frac{I_h}{I_1}$ (%).

Flikeri i treperenja sijalica se definišu kao efektivna vrednost flikera:

$$RMS_{Flicker} = \sqrt{\sum_1^N Flicker_{weighted}(n)^2} = \sqrt{\sum_1^N \left(\frac{\% \frac{dV_n}{V}}{FT_n} \right)^2}$$

kao trenutni prag opažanja = $(RMS_FLICKER)^2$ i oštine, intenziteta treperenja, gde se praktično izražava treperenje koje je opaženo u postocima vremena opažanja od 10 min, gde se usrednjavanje vrši na bazi 3 vrednosti

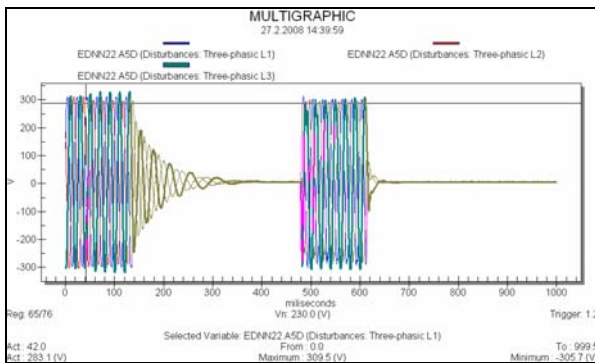
$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}}$$

Ovaj parametar se koristi u iskazivanju parametra za opažanje flikera u dužem vremenskom intervalu od 10 min:

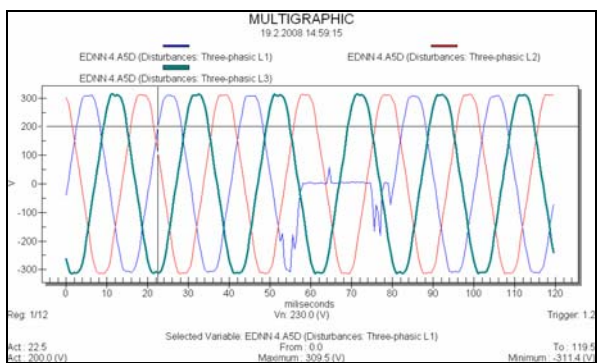
$$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{STi}^3}{N}}$$

gde je N broj posmatranih intervala od 10 min.

Ovakvim uređajem se mogu identifikovati, snimiti i dokumentovati i prekidi. Bilo da je u pitanju trofazna ili monofazna pojava, kao što je u pitanju primer na slici 6, gde se vidi prekid usled delovanja zaštite na 20 kV izvodu, ponovnog uklopa zbog rada lokalne automatike i ponovnog prekida usled ponovnog delovanja zaštite. Na slici 7 se vidi prekid u jednoj fazi.



Slika 6: Tropolni prekid

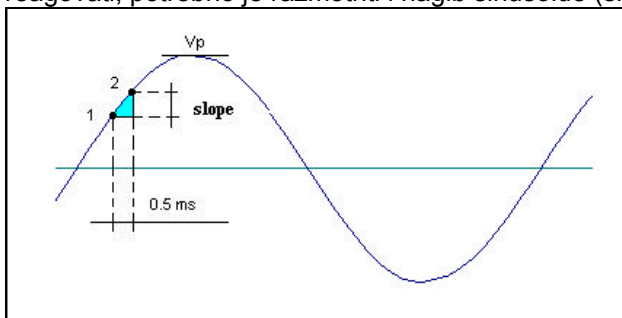


Slika 7: Jednopolni prekid

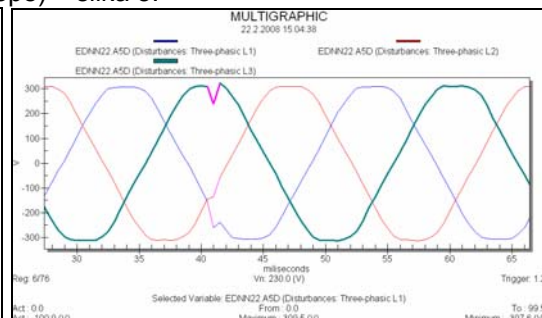
Merenja su obavljena na 0.4 kV strani dok su se događaji prorade zaštitnih uređaja dešavali na višim naponskim nivoima: 20 kV i 110 kV.

POREMEĆAJI U MREŽI

Jedan od najčešćih načina reagovanja na žalbe kupaca je registracija poremećaja u mreži (disturbances). Velika fleksibilnost ovog načina snimanja se ogleda u načinu podešenja mernih sistema napona i struja. Poremećaj se definiše u domenu nominalnih vrednosti parametara. Ovaj faktor kvaliteta se iskazuje preko nekoliko parametara. Radi se o postavljanju nominalnog napona (U_n), donjeg praga osetljivosti uređaja – minimalnog napona - U_{min} (koji se iskazuje u % od U), prati se nominalna frekvencija f_n (Hz) i proradni prag osetljivosti – trigger level. Da bi se ovaj termin razumeo potrebno je osvrnuti se na sinusni oblik napona – nepravilnost sinusne funkcije određuje prag okidanja registracije događaja. Efektivna vrednost napona je samo jedna vrednost na koju je potrebno reagovati, potrebno je razmotriti i nagib sinusoide (slope) – slika 8.



Slika 8: strmina – propad

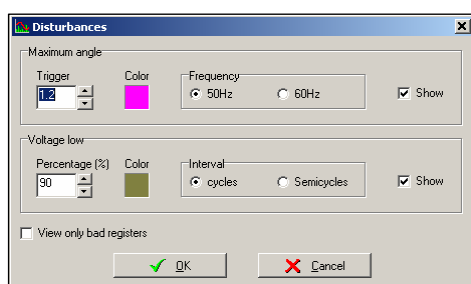


Slika 9: visoka osetljivost

Strmina je definisana razlikom između dve tačke uzorkovanja merne veličine. Ako uređaj uzorkuje 40 odbiraka po periodu onda se maksimalna promena napona u pojedinim tačkama definiše okidnim nivoom koji ovde može biti u intervalu od 1.2 do 5. Ukoliko se odabere 1.2 tada će se dobiti vrlo velika osetljivost i mogu se snimiti i pojave kao na slici 9.

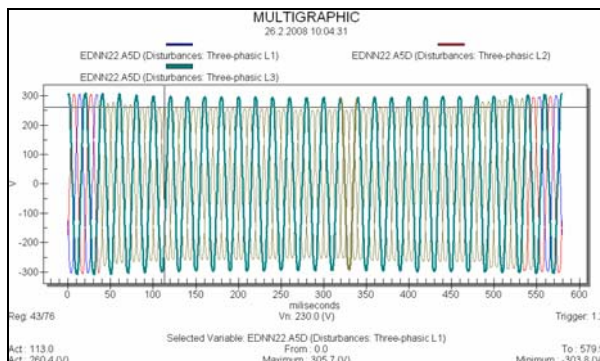
$$U_p \sin(\varphi) \text{triggerlevel} = U_p \left(2\pi \frac{t_m}{P} \right) = 230 \cdot \sqrt{2} (2\pi \cdot 0.025) \cdot \text{triggerlevel} = 51.093 \cdot \text{triggerlevel}$$

Tako da se za $U_n=230$ V, i okidnim nivoom od 1.5 dobija snimljena svaka promena veća od 76 V.

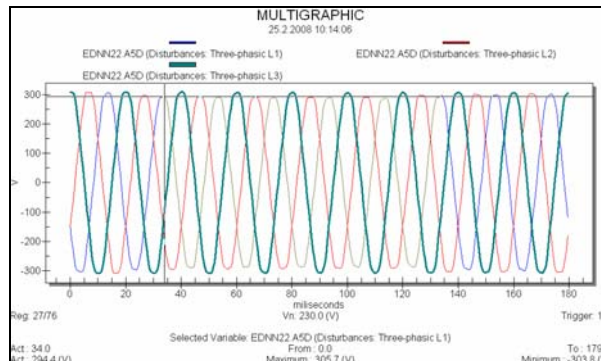


Program koji je zadužen za obradu podataka omogućava vrlo brz pregled jer se mogu posebno, dodatno, markirati željene granice, bilo u smislu izmerenih maksimalnih vrednosti ($U_{low}(\%)$) ili u smislu praga osetljivosti (trigger). Ako se, na primer, markiraju sve vrednosti napona koje su ispod 90% od 230 V i one oboje braon bojom i ako strmina sinusoide bude prešla 1.2, koliki je trigger level, tj. oko 61 V, i ove se promene oboje roze bojom (kao što je dat primer na slici) tada se mogu dobiti snimci kao na slici 10 gde je prikazan propad napona u dve faze. Uređaj radi tako da počne snimanje kad merna veličina dosegne zadatu

vrednost, snime se dve periode pre, n perioda dok se ne izmere 2 periode bez poremećaja i te dve periode posle poremećaja. Na slici 10 dat je primer snimljenog propada napona u dve faze. Uređaj je bio podešen na $U_{min}=90\%$, $U_n=230\text{ V}$ i markirana je vrednost minimalnog praga reagovanja, tako da je pojava obojena u braon. Vidi se sa snimka da je pojava bila prolaznog karaktera i da je došlo do propada napona i do uspostavljanja normalnog stanja posle oko 500 ms. Uzrok ovom propadu napona je verovatno pojava zemljospoja.



Slika 10: propad napona u dve faze

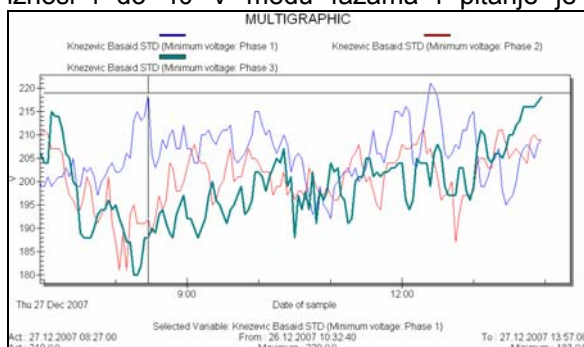


Slika 11: propad napona u jednoj fazi

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{260,4}{1,41421356} = 184,13\text{ V}$$

Posebnu pažnju u praćenju parametara kvaliteta električne energije jeste asimetričnost napajanja trofaznih kupaca. U standardima se obično asimetričnost napajanja u višefaznom sistemu definiše kao stanje u kojem efektivne vrednosti linijskih napona (osnovna komponenta) ili fazni uglovi između uzastopnih linijskih napona nisu jednaki. Stepenn nejednakosti se obično izražava putem odnosa negativne i nulte komponente prema pozitivnoj komponenti.

Na slici 12 dat je primer merenja napona gde se vidi određena asimetrija koja u pojedinim momentima iznosi i do 40 V među fazama i pitanje je da li je ovo u granicama dozvoljenih asimetrija.



Slika 12: asimetrija napajanja

Ovakva asimetrija je najčešće posledica izgradnje NN mreže i nesimetrično raspoređivanje monofaznih potrošača.

ZAKLJUČAK

Kvalitet električne energije je bitan aspekt koji je nepravdano zanemaren i nedovoljno tretiran u međusobnim odnosima kako između isporučioaca električne energije i distributera, tako i između distributera i tarifnih kupaca električne energije. Potrebno je pokrenuti procedure koje će urediti na zakonskom nivou međusobne odnose, obaveze i prava i to na način koji će zadovoljiti i jednu i drugu stranu. Na što jednostavniji način definisati potrebne najminimalnije parametre kvaliteta električne energije sa što većom primenljivom upotrebom vrednošću kako bi se sagledala i mogućnost primene dijagnostičke opreme koja bi se koristila u procesima kontrole i merenja kvaliteta električne energije. U procesu deregulacije tržišta, vlasničke transformacije delova sistema koji je do sada obavljao sve funkcije u procesu snabdevanja električne energije, formiranjem Agencije, Operatera i drugih još ne formiranih regulatornih tela, naročita briga se mora posvetiti kvalitetu električne energije, bilo da je u pitanju kvalifikovani ili tarifni kupac.

LITERATURA

1. Prof. dr Vladimir Katić, 2001, „Viši harmonici u distributivnoj mreži“, FTN Novi Sad
2. Prof. dr Vladimir Katić, i dr. 2002, „Stanje parametara kvaliteta električne energije u EES-u Srbije“
3. Predlog standarda u pripremi SRPS EN 50160:2006, 2008, SZS Zavod za standardizaciju
4. Standard, 2000, BSi BS EN 50160:2000 Karakteristike napona isporučene električne energije od strane javnih distributivnih sistema, British Standards
5. Međunarodni standard, 2003, IEC 61000-4-30, Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) Deo 4-30: Tehnike ispitivanja i merenja – Metode merenja kvaliteta električne energije
6. Uputstva i procedure sistema kvaliteta ISO 9001: PD Elektrovojvodina Novi Sad
7. Internet