

INTERAKCIJA MREŽE I KORISNIKA NA KVALITET ELEKTRIČNE ENERGIJE

J. ČARNIĆ, EPS, Distributivno područje Novi Sad

R. MILANKOV, EPS, Distributivno područje Novi Sad, pogon Zrenjanin

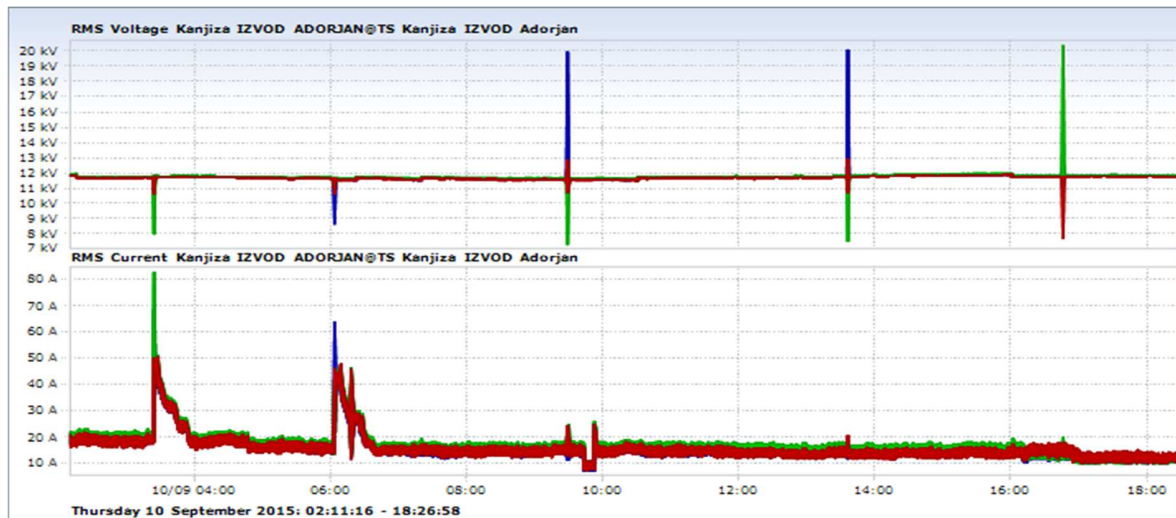
M. RADOSAVLJEV, EPS, Distributivno područje Novi Sad

UVOD

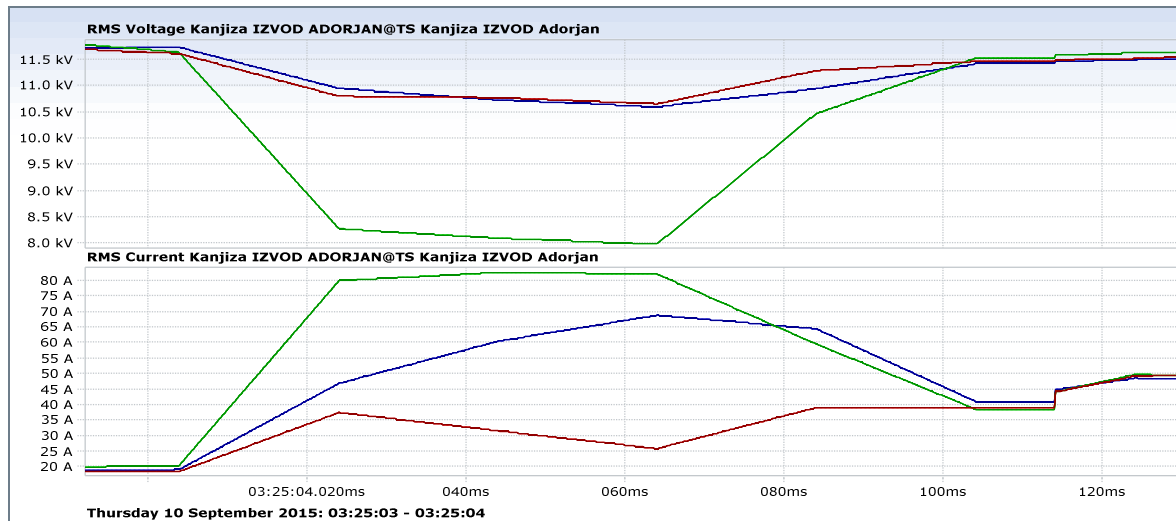
Interakcija je univerzalno svojstvo u mikro i makro svetu nežive i žive prirode. Električna energija je ljudski proizvod, nastala je iz prirode uz pomoć čoveka, nevidljiva je, neopipljiva i čulno neregistrujuća. Ona je transformisan oblik drugih vrsta energije (mehaničke, toplotne, svetlosne). Električna energija je rezultat dejstva magnetnog polja na slobodna naelektrisanja u provodniku u slučaju indukcionih mašina. Usmereno kretanje naelektrisanja čini električnu struju. U primeni je trofazni prostoperiodični naizmenični sistem zbog svojih prednosti. Proizvodnja električne energije je locirana u čvorovima elektroenergetskog sistema. Na prenosnu mrežu su priključene sistemske elektrane a na distributivnu mrežu nesistemske odnosno distribuirani izvori. Elektroenergetski sistem je celina koju čine proizvodni kapaciteti, prenosna mreža, distributivna mreža i korisnici prenosnog i distributivnog sistema. Elektroenergetski sistem je najsloženiji infrastrukturni sistem u državi. Električna energija je specifična roba. Definišu je tri parametra: komercijalni, pouzdanost i kvalitet naponskog talasa. U radu se razmatra treći parametar, kvalitet naponskog talasa, odnosno propad naponskog talasa. Prikazani parametri naponskog talasa su realni, izmereni u distributivnom sistemu na području Vojvodine. Merenja su obavljena mrežnim analizatorima visoke A klase tačnosti sa softverom prilagođenim standardu SRPS EN 50160. Predstavljeni snimci su mali deo rezultata petogodišnjeg merenja kvaliteta električne energije. U radu je prikazan eksplicitno međusobni uticaj i sam uticaj svih učesnika sistema: interakcija prenosne mreže na distributivnu, interakcija korisnika prenosnog sistema na distributivnu mrežu, uticaj distributivne mreže na kvalitet električne energije i uticaj distributivnih izvora i korisnika distributivnog sistema na kvalitet naponskog talasa, propade napona i flikere. Propadi napona su mnogostruko češći od prekida isporuke električne energije, prekidi se prvo manifestuju propadom napona pa tek onda prekidom. Propadi napona su često uzrok problema prekida proizvodnje u proizvodnim kompanijama.

1. INTERAKCIJA PRENOSNE MREŽE NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

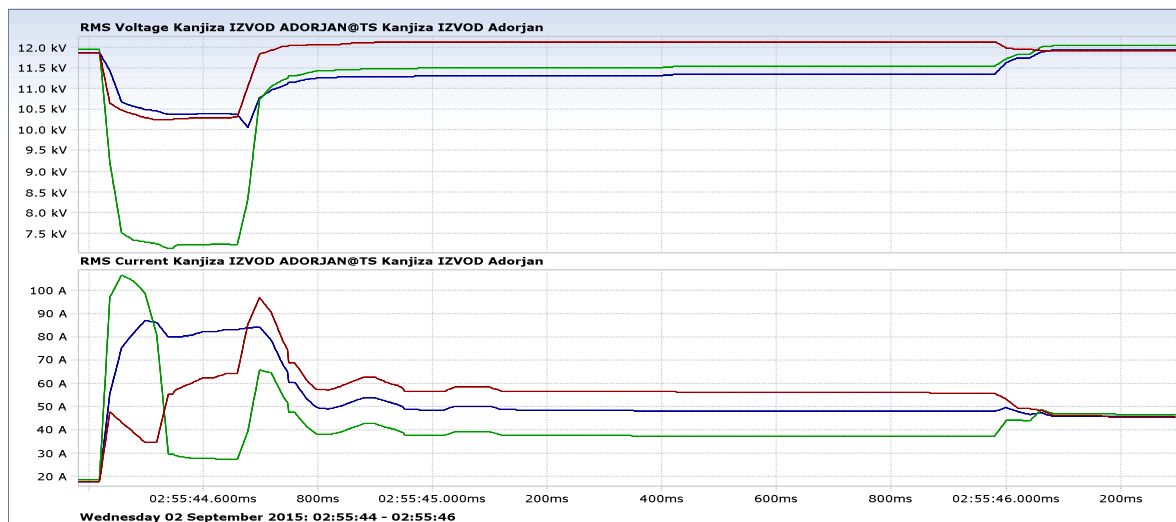
Prenosna mreža Srbije je trinaonskog nivoa 400, 220, 110 kV sa međutransformacijama 400/220 kV, 220/110 kV i 400/110 kV. Naponski nivoi prenosne mreže su induktivno povezani preko autotransformatora (jedan namot), drugi namot je tercijerni namot koji je vezan u trougao i najčešće nije u pogonu. Jezgro transformatora je petostubno. Zvezdište autotransformatora je zajedničko za oba naponska nivoa. Naponski nivoi su standardizovani zbog unifikacije opreme. Oprema je dimenzionisana da izdrži propisana naponska, strujna, termička i mehanička naprezanja. Nazivni naponi mreže definišu izolaciju. Usklađenost napona i izolacije se naziva koordinacija izolacije. Prva karakteristika mreže je naponski nivo. Druga karakteristika mreže je pogon zvezdišta transformatora. Prenosna mreža radi direktno uzmljena. Treća je trofazna snaga kratkog spoja, različita je od tačke do tačke u mreži i različita je u raznim trenucima, odnosno zavisi od angažovanosti generatora i uklopnog stanja. Četvrta karakteristika je konfiguracija mreže, rad u petlji ili radijalan režim. Greška na izolaciji dovodi do kvara. Najčešći su jednofazni kvarovi. Oni čine oko 90 % svih kvarova. Njihov uticaj na distributivnu mrežu je prikazan na donjim slikama. Kvar na mreži 400 kV manifestuje se propadom napona na širokom području, ugrožava veći broj korisnika i zahvata područje dela države. Kvar na mreži 220 kV se manifestuje na manjem području i pogađa manji broj korisnika od kvara na mreži 400 kV. Kvar na 110 kV mreži zahvata još manji broj korisnika i zahvata manje područje od kvara na mreži 220 kV.



Sl. 1. Dijagram prikazuje pet registrovanih propada napona u jednom delu dana u distributivnoj mreži od kojih su prva dva propada posledica kvara u prenosnoj mreži. Propad napona je detektovan u TS 110/20 kV „Kanjiza“ na 20 kV izvodu DTD „Adorjan“ koja je električno a i fizički značajno udaljena od mesta kvara. Prvi kvar se dogodio 10.09.2015. godine u 03:25:04:013 časova a drugi u 06:04:48:984 časova na dalekovodu 400 kV br. 450 (TS 400/220/110 kV „N. Sad 3“ - RP 400 kV „Mladost“). Prvi kvar u 03:25:04:013 časova pogodio je fazu „4“ na udaljenosti 7.5 km od TS 400/220/110 kV „Novi Sad 3“, kvar je prolazan, eliminisan je uspešnim APU. Drugi kvar se dogodio u 06:04:48:984 časova, pogodio je fazu „8“ na udaljenosti 75,7 km od TS 400/220/110 kV „N. Sad 3“ prolazan je, eliminisan uspešnim APU. TS 110/20 kV „Kanjiza“ je u petlji 110 kV mreže. Kvar se induktivno i galvanski preneo na distributivnu mrežu. Propade napona nije registrovala SCADA u TS 110/20 kV „Kanjiza“ preko signala pobude zaštite ili preko izmerenih vrednosti napona.



Slika 2. Prikaz zumiranog prvog propada napona koji se dogodio 10.09.2015. u 03:25:04:013 časova. Kvar je u fazi „8“ prouzrokovao propad dubine 3,5 kV odnosno 30 % U_n , u fazi „0“ i „fazi „4“ dubine 1 kV odnosno 8,5 % U_n . Vreme trajanja propada je 100 ms. Propad napona je prouzrokovao ispad kogeneratora u NIS-ovoj maloj elektrani.



Slika 3. Prikaz zumiranog propada napona koji se dogodio 02.09.2015. godine u 02:56:08:780 časova. Propad je detektovan na 20 kV izvodu DTD „Adorjan“ u TS 110/20 kV „Kanjiza“, koji se napaja iz ET 1 110/20 kV. Propad napona je posledica kvara na prenosnoj mreži, odnosno dalekovodu 110 kV br. 160/2 (TS 110/20 kV „Senta 1“-TS 110/20 kV „Kanjiza“), kvar je pogodio fazu „4“, delovala je distantna zaštita u prvom stepenu, isključenjem prekidača faze „4“ u podužnom spojnom polju 110 kV i trafo polju 110 kV ET 1 u TS 110/20 kV „Kanjiza“, kvar je prolazan eliminisan uspešnim APU. Kvar iz prenosne mreže 110 kV se galvanski i induktivno preneo na 20 kV mrežu u TS 110/20 kV „Kanjiza“, odnosno izvod DTD „Adorjan“ u kojem je postavljen mrežni analizator. Kvar je prouzrokovao propad napona u sve tri faze. Najveći propad napona je u fazi „4“, iznosio je 4,7 kV, odnosno 39,5% U_n , u fazi „8“ je iznosio 1,5 kV, odnosno 12,7% U_n a u fazi „0“ iznosio je 1,4 kV, odnosno 11,85% U_n . Kvar je prolazni, eliminisan je distantnom zaštitom za 270 ms, odnosno trajanje propada je 300 ms. Vreme beznaponske pauze je 1,3 sec. Propad napona je prouzrokovao ispad generatora u NIS-ovoj maloj elektrani.



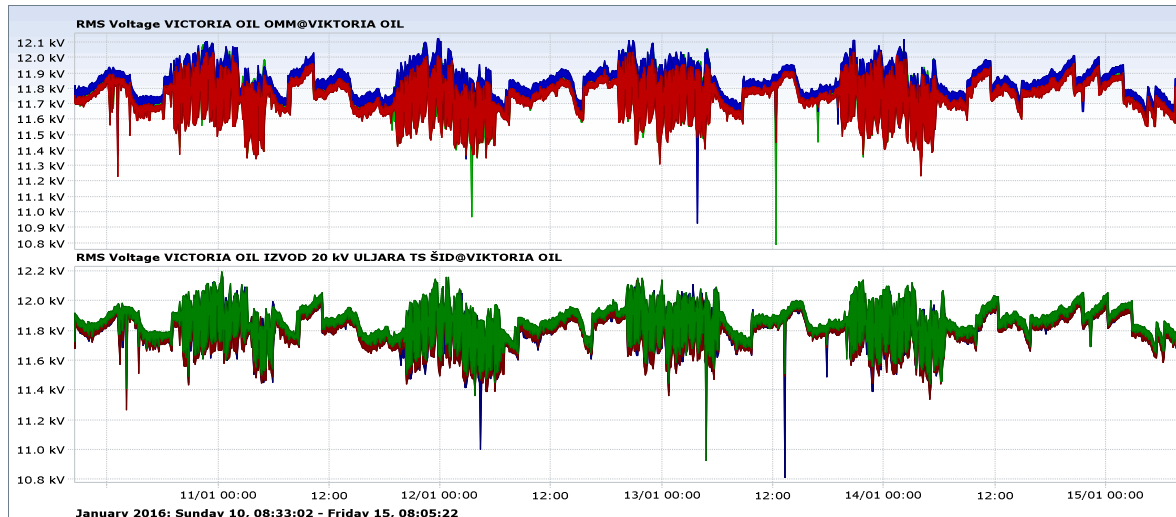
Slika 4. Prikaz zumiranog propada napona na 20 kV izvodu „Hemko“ u TS 20/0,4 kV „Energopet“, koja se napaja iz TS 110/20 kV „N. Pazova“. Propad napona je posledica kvara na dalekovodu 110 kV br. 104/6 (TS 110/20 kV „Indija“ – TS 110/20 kV „Novi Sad 6“). Kvar se dogodio 22.07.2014. godine u 20:26 časova, pogodena je faza „4“, delovala je distantna zaštita u prvom stepenu, na oba kraja, prolazan kvar eliminisan uspešnim APU. Kvar je detektovan na distributivnoj mreži 20 kV TS 110/20 kV „N. Pazova“ sa sledećim karakteristikama: trajanje kvara po signalima zaštite je 140 ms, trajanje propada je 175 ms. Propad napona u dve faze se manifestovao skoro identično dubinom propada 3,8 kV, odnosno 26,12% U_n , u trećoj fazi dubina propada je 1,6 kV, odnosno 13,56% U_n . Propad napona je prouzrokovao zastoj pogona u „Energopetu“.



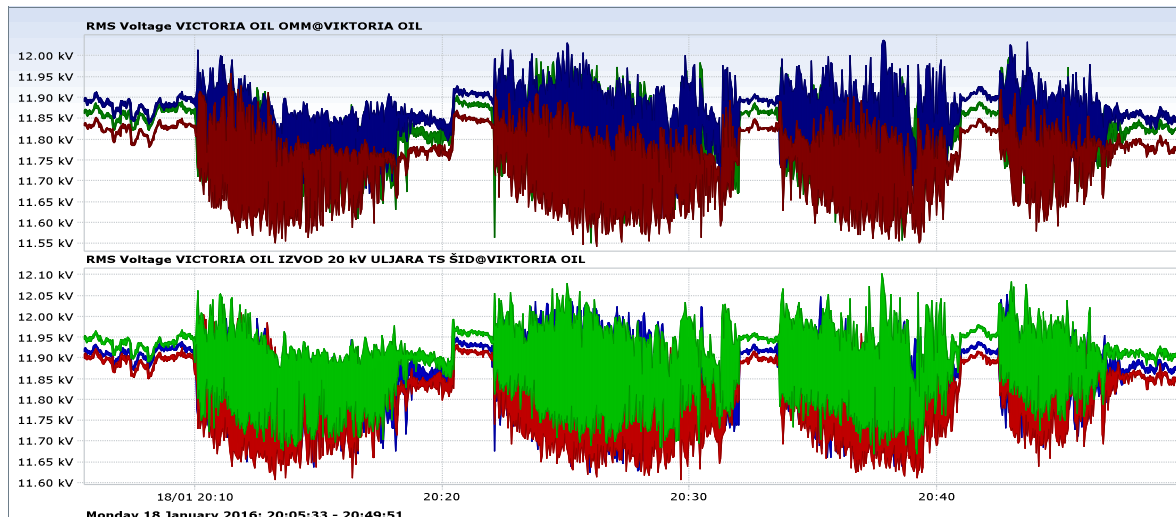
Slika 5. Prikazuje zumiran propad napona koji se dogodio 21.11.2014. u 02:32 časova, dubina propada napona iznosila je 7,7 kV odnosno 64,7% U_n , vreme trajanja propada 115 ms. Uzrok propada napona je ispad dalekovoda 110 kV br. 1145/2 u TS 110/20 kV „Kačarevo“, pogodena je faza „4“, delovala je distantna zaštita u prvom stepenu, prolazni kvar eliminisan uspešnim APU. Uzrok ispada dalekovoda je kvar u blizini TS 400/220/110 kV „Pančevo 2“.

2. INTERAKCIJA KORISNIKA PRENOSNOG SISTEMA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

Na donjoj slici br. 6. prikazan je uticaj elektrolučne peći na naponske prilike. Snaga peći je $S=50$ MVA, kapaciteta jednog punjenja 50 t, priključena je na prenosnu mrežu naponskog nivoa 110 kV. Elektrolučna peć je nelinearan potrošač, brzo promenljivog opterećenja. Livnica poseduje uređaj za kompenzaciju reaktivne snage – STATKOM i kondenzatorsku bateriju 20 MVA. Snaga elektrolučne peći je oko 40 puta manja od trofazne snage kratkog spoja u tački priključenja.



Slika 6. Prikazuje naponsko stanje na mestu primopredaje električne energije u TS 20/0,4 kV fabrike „Victoria Oil“ u Šidu i na 20 kV izvodu „Uljara“ u TS 110/20 kV „Šid“ u vreme rada elektrolučne peći.



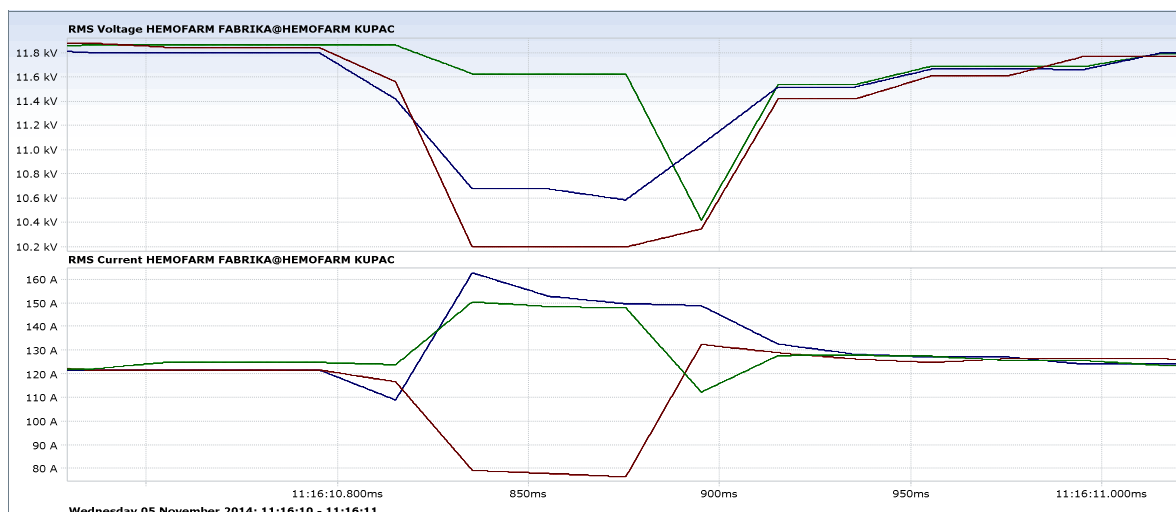
Slika 7. Prikaz naponskog stanja na mestu primopredaje - obračunskom mernom mestu i na izvodu 20 kV „Uljara“ u TS 110/20 kV „Šid“ za vreme jednog ciklusa topljenja šarže. Varijacije napona prati tehnološki proces livnice, odnosno rad elektrolučne peći. Start nakon punjenja peći – hladna šarža, zagrevanje hladne šarže traje oko 11 minuta, isključenje u trajanju oko 2 minuta. Drugo uključjenje u trajanju oko 10 minuta i ponovo pauza. Treće uključjenje u trajanju oko 8 minuta i ponovo isključenje u trajanju oko 2 minuta. Četvrto uključjenje u trajanju oko 6 minuta. Ceo ciklus topljenja jednog punjenja peći je oko 40 minuta. Brza fluktuacija reaktivne energije dovodi do varijacije napona što uzrokuje nastanak flikera i problema narušenog kvaliteta električne energije na području zapadnog Srema.

3. INTERAKCIJA DISTRIBUTIVNE MREŽE NA KVALITET NAPONA

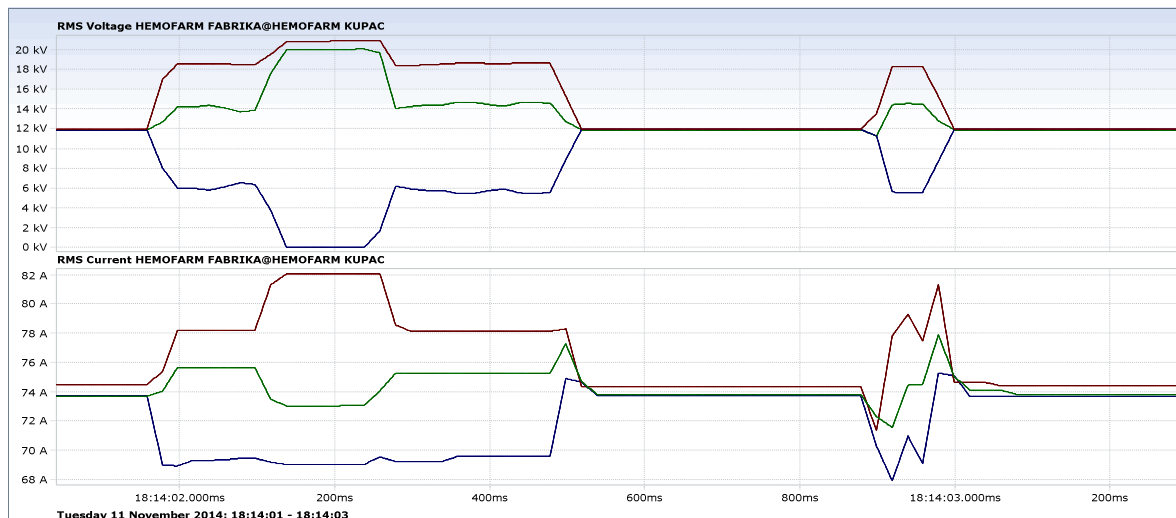
Distributivna mreža Srbije je četvoronaponskog nivoa 35, 20, 10 i 0,4 kV. Trostepene transformacije 110/35, 35/10 i 10/0,4 kV odnosno dvostepene 110/20 i 20/0,4 kV. Transformatori 110/x kV su tronamotajni, sprege Yy0d5, ostalih naponskih nivoa su dvonamotajni uglavnom sprege Dy5. Mreža 35 kV je uzemljena preko reaktanse. Mreža 20 je uzemljena preko otpora od 40 Ω za ograničenje struje zemljospoja. Mreža 10 kV je izolovana. Mreža 0,4 kV je direktno uzemljena. Uzemljenje neutralne tačke određuje dubinu propada napona. Prilikom davanja uslova za priključenje novim korisnicima distributivnog sistema, služba energetike ima obavezu da sagledava uticaj potrošača korisnika na kvalitet električne energije. Ako karakteristike potrošača korisnika DS zadovoljavaju kriterijume, izdaju im rešenje za priključenje. Međutim, najbrojniji su korisnici distributivnog sistema koji imaju staro odobrenje za priključenje a uređaji im „prljaju“ mrežu. Operatori distributivnog sistema imaju obavezu da održavaju mrežu odnosno kada dotraje da je rekonstruišu kako bi funkcionisala u zadovoljavajućem pogonskom stanju.



Slika 8: Prikazuje zumiran propad napona na mestu primopredaje električne energije u „Hemofarmu“ u Vršcu koji se dogodio 04.11.2014. godine u 20:24 časa. Događaj nije mogla da registruje SCADA u TS 110/35/20 kV „Vršac 1“ iz koje se napaja „Hemofarm“. Uzrok propada napona je kvar na ET 110/20 kV u TS 110/20 kV „B. Crkva“. TS 110/20kV „B. Crkva“ se napaja iz TS 110/20 kV „Vršac 2“ preko dalekovoda 110 kV. Uzrok kvara je životinja na ET. SCADA u TS 110/20 kV „Bela Crkva“ je registrovala delovanje diferencijalne zaštite. Propad napona u „Hemofarmu“ je trajao 170 ms, dubina propada 2,25 kV, odnosno 18,98% Un. Propad napona je simetričan u sve tri faze.



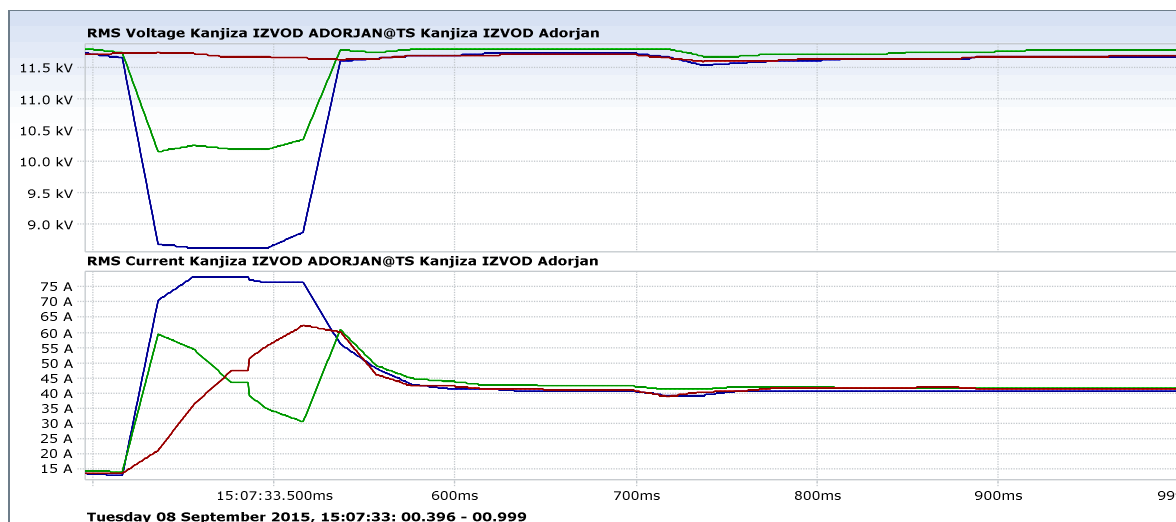
Slika 9. Prikazuje propad napona koji je registrovan 05.11.2014. god. u 11.16 časova na mestu primopredaje električne energije u „Hemofarmu“ u Vršcu. Dubina propada je iznosila 1,6 kV, odnosno 13,56% U_n , vreme trajanja propada je 100 ms. Uzrok propada napona je kvar na mreži 20 kV na području TS 110/20 „Bela Crkva“, međufazni kvar, delovala je kratkospojna zaštite na 20 kV izvodu „Hladnjača“.



Slika 10. Prikazuje propad napona koji je registrovan 11.11.2014. godine u 18:14 časova na mestu primopredaje električne energije u „Hemofarmu“ u Vršcu. Ukupno trajanje kvara je oko 560 ms sa totalnim propadom u jednoj fazi u trajanju 180 ms. Uzrok propada je kvar na 20 kV izvodu „Straža“ u TS 110/35/20 kV „Vršac 1“, jednovremeno su pobuđena zemljospojna i kratkospojna zaštita. Delovali su brzi APU i spori APU.

4. INTERAKCIJA KORISNIKA DISTRIBUTIVNOG SISTEMA NA DISTRIBUTIVNU MREŽU

Korisnik DS je mala elektrana NIS-a koja radi na zemni gas, sinhroni generatori su snage 2x1 MVA.



Sl. 11. Prikazuje zumiran dijagram propada napona registrovan 08.09.2015. godine u 15:07:33:425 časova na 20 kV izvodu DTD „Adorjan“ u TS 110/20 kV „Kanjiža“. Na izvodu je priključen NIS-ov generator. Događaj nije registrovala SCADA što je korektno. Propad napona je posledica ispada generatora odnosno prekida struje opterećenja generatora od 30A. Proizvodnja generatora u trenutku ispada je iznosila 1,053 MVA. Ispad generatora prouzrokovao je propad napona u fazi „0“ dubine 3,1 kV odnosno 25,39% U_n , u fazi „8“ dubina propada je iznosila

1,5 kV a u fazi „4“ nije bilo propada napona, vreme trajanja propada je 100 ms. Start generatora u 15:14:50 nije prouzrokovao propad napona. Ovakva pojava se događa pri svakom ispadu generatora.

ZAKLJUČAK:

Iz dosadašnje prakse, korisnici distributivnog sistema su se uglavnom žalili na propade napona i flikere. Neki od korisnika distributivnog sistema koji su se obratili operatoru distributivnog sistema su: „Energopet“, „Hemofarm“, „Grainer Packaging“, „NIS“, „Šećerana Senta“, „Livnica Čoka“, „Karbodioksid“, „Victoriaoil“, „Alltech Fermin“ itd. Propadi napona su slučajni događaji kao i neplanirani prekidi, oni dovode vrlo često do prekida proizvodnje, škarta a time neposredno do štete kompanijama. Propadi napona su nepredvidivi sa neravnomernom raspodelom tokom godine, oko 25 puta su češći od prekida isporuke električne energije. Dubina propada naponskog talasa je presudna kod procesne industrije jer prouzrokuje zastoj odnosno promenu radnih parametara što dovodi do škarta proizvoda. Propad napona se ne smatra prekidom, generiše ga kvar kojeg zaštitni uređaji eliminišu i tako štite delove sistema od razaranja. Propadom napona se smatra smanjenje amplitude naponskog talasa od 0,9 – 0,01 Un. Propad napona se najčešće događa u jednoj, retko u dve a najređe u sve tri faze što se vidi iz priloženih dijagrama. Dubina propada je najveća u neposrednoj blizini kvara, udaljavanjem od mesta kvara propad naponskog talasa je manji. U zavisnosti od mreže na kojoj se dogodio kvar, pojava zahvata šire ili uže područje. Takođe, brze promene napona u granicama dozvoljenog odstupanja napona u dozvoljenom opsegu $\pm 10\%$ Un odnosno, brze promene napona u opsegu manjem od $\pm 5\%$ Un nazivnog napona generišu flikere čiji nivo je propisan standardom. Ako je veći od propisanog, kvalitet električne energije je neispravan. Za kvalitet isporuke električne energije su odgovorni operatori prenosnog i distributivnog sistema. Obaveza operatora distributivnog sistema je da se odazove na reklamaciju korisnika distributivnog sistema, ustanovi problem odnosno uzrok, utvrdi odgovornu stranu i reši problem. Uglavnom korisnici distributivnog sistema optužuju operatora distributivnog sistema da je on uzrok problema. Ukoliko je uzrok problema operator distributivnog sistema, on čini sve što je u njegovoj moći da otkloni uzrok, ukoliko je uzrok izvan njegove odgovornosti nastoji da ga reši sa stranom koja je odgovorna za isporuku električne energije distribuciji odnosno operatorom prenosnog sistema. Kvalitet električne energije je definisan za tačku u elektroenergetskom sistemu. Ta tačka je merno mesto odnosno obračunsko merno mesto. Izmerena električna energija se upoređuje sa referentnim parametrima. Referentni parametri su određeni preporukama na međunarodnom nivou, oni mogu a ne moraju biti zakonski obavezujući. Svaka pravna država zakonom štiti kupce a sa druge strane obavezuje operatore na poštovanje propisanog nivoa kvaliteta električne energije. Kvalitet isporuke električne energije je definisan u ugovoru o isporuci električne energije između operatora i korisnika distributivnog sistema. Današnji savremeni električni uređaji su vrlo osetljivi na kvalitet električne energije.

LITERATURA

1. Standard SRPS EN 50160