

Irena Šagovac
HEP ODS d.o.o.
irena.sagovac@hep.hr

Marijan Lukač
HEP ODS d.o.o.
marijan.lukac@hep.hr

UTVRĐIVANJE UZROKA KVAROVA POMOĆU ZAPISA S UREĐAJA ZA MJERENJE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

SAŽETAK

Sustavu za trajni nadzor kvalitete električne energije (KEE) osnovna je namjena praćenje tehničkih parametara napona i struje i njihova usporedba s graničnim vrijednostima koje su definirane normama i zakonskim propisima.

Dotatna mogućnost uređaja za mjerenje KEE je, između ostalog, i bilježenje naponskih poremećaja u obliku oscilograma valnih oblika i/ili grafikona efektivnih vrijednosti. Te se snimke koriste u analizi poremećaja, te mogu pomoći u identifikaciji uzroka smetnje.

Otkrivanje mjesta i uzroka kvara u mreži je vrlo kompleksan proces, naročito kod prolaznih kvarova koji se ponavljaju. U ovom članku će se na temelju oscilogramskih snimki naponskih poremećaja s uređaja za trajno praćenje KEE ugrađenih na transformatore u 110(30)/x kV transformatorskim stanicama na području HEP ODS Elektre Zagreb pokušati uspostaviti veza između njihovih oblika i uzroka kvarova u mreži.

Ključne riječi: uređaji za mjerenje KEE, naponski poremećaj, analiza poremećaja

DETERMINING FAULT CAUSE BASED ON DISTURBANCE RECORDS FROM PQ MONITORS

SUMMARY

Main purpose of PQ permanent monitoring system is to measure voltage and current technical parameters and compare them to limit values given by norms and legislative.

Additional possibility of such PQ monitors is recording voltage disturbances in form of oscillograms and/or RMS values graphs. Such records can be used in disturbance analysis and can be helpful in determining what caused the disturbance.

Locating faulty point in network and its cause is a very complex process, especially in case of repetitive transient faults. This paper will try to establish connection between PQ disturbance record and its cause, based on recordings of voltages and currents during fault obtained from PQ monitors permanently installed on 110(30)/x kV transformers of HEP ODS distribution area of Elektra Zagreb.

Key words: PQ monitors, voltage disturbance, disturbance analysis

1. UVOD

Uređaji za mjerenje kvalitete električne energije (KEE), koji su dio sustava za trajni nadzor, cijelo vrijeme mjere tehničke parametre napona i struja u skladu sa zahtjevima normi i propisa s područja KEE [1][2]. Izmjerene veličine se zatim obrađuju, te se daje ocjena je li KEE zadovoljavajuća ili ne.

Jedna od značajki koja određuje razinu KEE su naponski poremećaji u što se ubrajaju naponski propadi, prenaponi ili prekidi napajanja. Većina njih uzrokovana je kvarovima u mreži. Napredniji uređaji za mjerenje KEE, osim što bilježe iznos i duljinu trajanja poremećaja, imaju i mogućnost snimanja naponskih poremećaja u obliku oscilograma valnih oblika ili grafikona efektivnih vrijednosti. Te se snimke koriste u analizi poremećaja, te mogu pomoći u identifikaciji uzroka smetnje.

Pri pojavi kvara u mreži, relejna zaštita vrlo brzo djeluje na isklon prekidača dijela mreže u kojoj je zabilježen kvar (zračni/kabelski vod, transformator). Posljedica toga je prekid napajanja i isporuke električne energije korisnicima mreže napajanim preko dijela mreže s kvarnim mjestom. U cilju što brže uspostave napajanja korisnicima mreže, potrebno je locirati i izolirati mjesto kvara.

Najveći problem je otkrivanje mjesta kvara kod prolaznih kvarova: samogasećih zemljospojeva (uobičajenih za rezonantno uzemljene mreže) ili onih koji budu „riješeni“ APU-om ili ručnim uklopom voda nakon pregleda trase i nenalaženja mjesta kvara, a često se ponove nakon određenog vremenskog perioda.

Većina uređaja relejne zaštite novijeg datuma proizvodnje ima mogućnost snimanja napona i struja tijekom poremećaja koji dovodi do njihove prorade, ali je često problem što je prostor za pohranu takvih zapisa u releju ograničen (cirkularna memorija, pa se čuva samo zadnji zapis) ili ne postoji mogućnost daljinskog iščitavanja zapisa iz releja, nego ih je potrebno lokalno prenijeti na računalo. Prednost zapisa strujno-naponskih prilika za vrijeme kvara zabilježenog na uređaju relejne zaštite pred zapisima s uređaja za trajno praćenje KEE je u tome što releji snimaju upravo struju kvara koja iz mreže teče ka kvarnom mjestu, dok uređaji na transformatoru mjere ukupnu struju mreže tijekom kvara.

U slučajevima kada su uređaji relejne zaštite u transformatorskim stanicama starijeg tipa, oni niti nemaju mogućnost pohrane zapisa o struji (i naponu) kvara, pa je u tom slučaju zapis s pojnog transformatora jedina informacija o „izgledu“ kvara.

Prednost uređaja za trajno mjerenje KEE u Elektri Zagreb je daljinska komunikacijska veza koja omogućuje skoro trenutčan dohvat pohranjenih zapisa o događajima, te veća memorija predviđena za njihovo zapisivanje. Nedostatak ovih zapisa je u tome što je struja koju uređaj bilježi tijekom poremećaja ukupna struja kroz energetske transformator, pa je potrebna malo složenija analiza da bi se donijeli zaključci o uzroku kvara. Način uzemljenja srednjenaponske (SN) mreže također utječe na oblik zabilježenog poremećaja kod jednopolnog kvara.

U ovom će radu biti prikazano kako analizom snimaka naponskih poremećaja zabilježenih uređajima za trajno praćenje KEE u SN mreži ugrađenima na transformatore u 110/x kV transformatorskim stanicama HEP ODS Elektre Zagreb doći do zaključaka o mogućoj lokaciji i uzroku kvara.

2. SUSTAV ZA TRAJNO PRAĆENJE KEE ELEKTRE ZAGREB

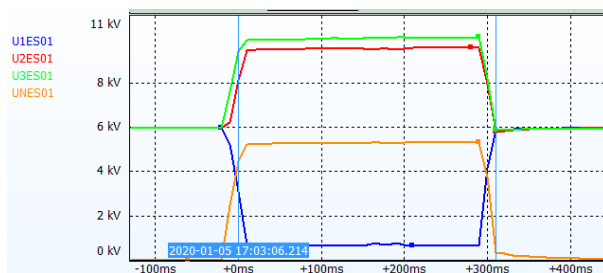
U HEP ODS Elektri Zagreb postoji sustav za trajno praćenje KEE u SN elektroenergetskoj mreži. Sastoji se od mjernih uređaja spojenih na sekundarnu stranu transformatora u transformatorskim stanicama 110/x kV i 30/10 kV koji su komunikacijskim vezama spojeni na računalo koje prikuplja, obrađuje i pohranjuje podatke. Na centralnom računalu postoji i računalna podrška za izradu izvještaja o usklađenosti KEE s važećim propisima [2]. U upotrebi su tri tipa mjernih uređaja, a trenutačno je njima pokriveno 50 transformatora.

Osim što prikupljaju podatke o strujama i naponima, te svim tehničkim parametrima bitnima za određivanje KEE, oni bilježe i oscilogramе i/ili efektivne vrijednosti struja i napona tijekom naponskih poremećaja. Snimak poremećaja je uvjetovan promjenom napona većom od propisane vrijednosti ($U_n \pm 10\%$), tj. propadom, prenaponom ili prekidom. Svaki zabilježeni poremećaj ima pridijeljen datum i vrijeme nastanka, te ga je lako usporediti sa zapisima iz kronološkog registratora događaja (KRD liste) upravljačkog SCADA sustava.

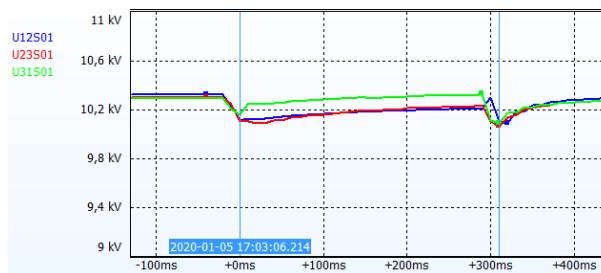
3. KVAROVI U MREŽI

Korisnici mreže, naročito oni koji se bave poduzetništvom, su iznimno osjetljivi na naponske poremećaje jer im izazivaju probleme u radu trošila i opreme, te mogu uzrokovati štete u proizvodnim procesima. Osim samog prekida napajanja, učestali propadi napona mogu također izazvati velike probleme u pogonu trošila. Kako je većina propada napona uzrokovana upravo višepolnim kvarovima u mreži, potrebno je što prije utvrditi problematična mjesta u mreži koja mogu biti uzrokom kvarova koji se ponavljaju i na taj način uzrokuju poremećaje u napajanju u cijeloj mreži.

U SN mrežama jednopolni kvarovi (1p) uglavnom izazivaju najmanje problema u napajanju korisnika mreže. Pri 1p kvaru, napon faze u kvaru pada na ili vrlo blizu vrijednosti 0 V, a napon na preostale dvije faze se diže na ili vrlo blizu vrijednost linijskih napona (slika 1.a). Nulti napon se diže blizu faznom naponu. Istovremeno, vrijednosti linijskih napona se mijenjaju iznimno malo ili uopće ne (slika 1.b), te se njihovim mjerenjem ne može otkriti postojanje 1p kvara u mreži.



Slika 1.a Fazni naponi kod 1p kvara

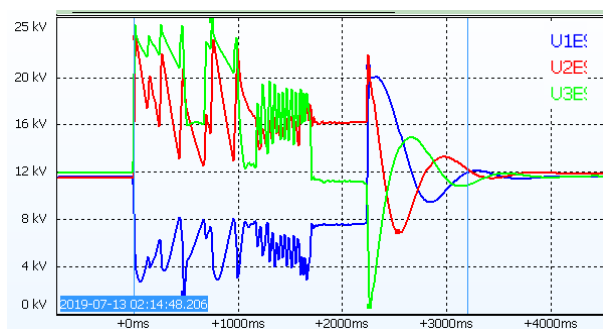


Slika 1.b Linijski naponi kod 1p kvara

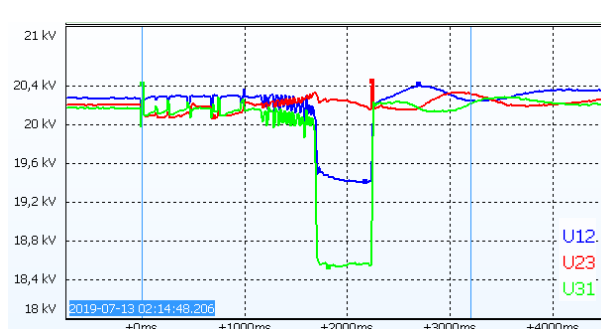
S obzirom da je grupa spoja transformatora 10(20)/0,4 kV u pravilu Dy5, naponske prilike se na primaru transformatora za vrijeme jednopolnog kvara u mreži bitno ne mijenjaju, isto tako napon sekundara, tj. napon u niskonaponskoj mreži, ostaje isti po iznosu i okretnom polju.

U određenim slučajevima može se dogoditi da mreža bude dugotrajno u pogonu s prisutnim jednopolnim kvarom. Kod neuzemljenih ili rezonantno uzemljenih SN mreža, a u slučaju kvara preko velike impedancije, struja kvara može biti iznimno mala, te ju relejna zaštita ne može niti detektirati, pa tako niti isključiti vod u kvaru, što kao posljedicu ima dugo vrijeme trajanja pogona pod zemljospojem s povišenim faznim naponima. U tom su slučaju svi izolacijski elementi mreže jače naponski napregnuti, jer se fazni naponi zdravih faza dižu na linijske vrijednosti, što napreže izolaciju i uzrokuje njeno ubrzano starenje. Što je više takvih događaja, to izolacijski elementi sve više gube na kvaliteti i otpornosti, te se povećava vjerojatnost proboja.

Ponekad se uslijed dužeg vremena trajanja 1p kvara, te povišenja napona na zdravim fazama, može razviti 1p kvar na nekoj drugoj fazi i na nekoj drugoj lokaciji u mreži. U tom slučaju se naponske prilike u cijeloj mreži značajnije poremete, kao što je prikazano na slikama 2.a i b, te dolazi do promjene i linijskih napona. Na slici se vidi da je otprilike 1,5 s nakon nastanka prvog 1p kvara došlo do proboja još negdje u mreži, što je na kraju uzrokovalo proradu i isključak prekidača na dva vodna polja.



Slika 2.a Fazni naponi kod višestrukog 1p kvara



Slika 2.b Linijski naponi kod višestrukog 1p kvara

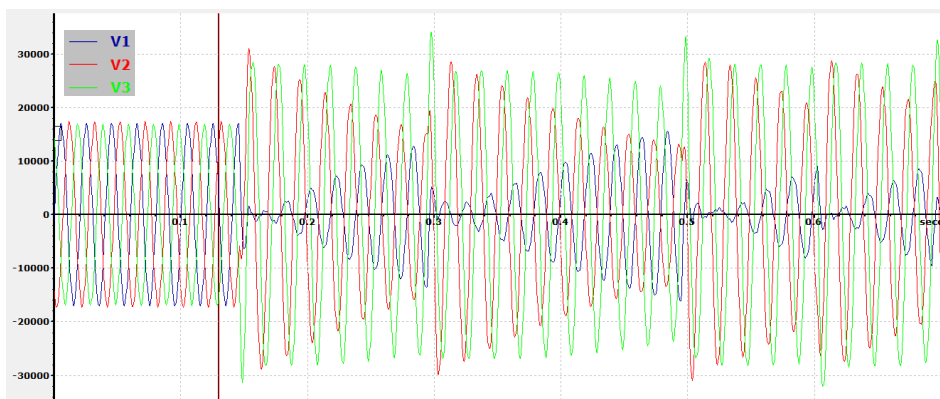
Kod nastanka višepolnih kvarova moguće je, ukoliko nisu dostupni podaci s uređaja relejne zaštite, pomoću podataka o strujama i naponima na transformatoru iz uređaja za KEE proračunati struju kvara na vodu, a zatim pomoću tog podatka, uz dostupne informacije o impedancijama elemenata mreže otprilike odrediti mjesto kvara. Tu informaciju bi inače trebao ponuditi SCADA sustav, no ta funkcionalnost SCADA-e u Elektri Zagreb još nije omogućena.

Kako bi smanjili broj kvarova, smetnji u napajanju i prekida opskrbe električnom energijom, potrebno je što prije identificirati, locirati i sanirati oštećene elemente u mreži. U tome mogu pomoći zapisi kvarova s uređaja relejne zaštite, ili ukoliko nisu dostupni ili dovoljno kvalitetni, onda je moguće koristiti podatke prikupljene uređajima za trajno praćenje KEE.

3.1 Ponavljajući jednopolni kvar na izolatoru na zračnom vodu

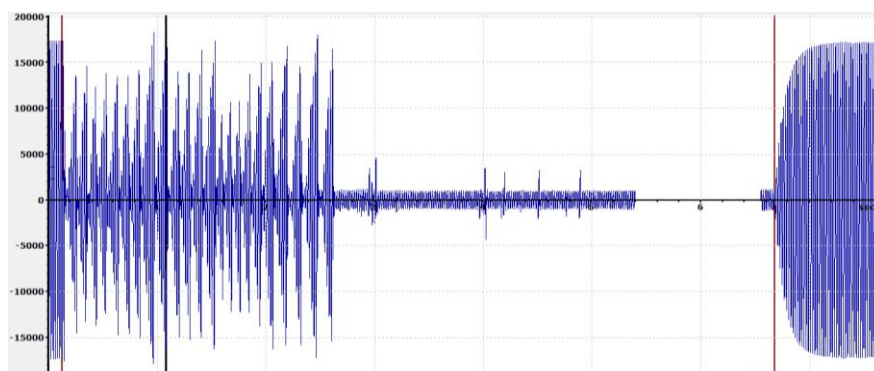
Uzroci jednopolnih kvarova koji se ponavljaju, a teško otkrivaju jer se struja kvara zatvara preko velike impedancije, su uglavnom dodirivanje okolnog raslinja sa vodičima zračnog voda ili proboj izolatora. Proboj izolatora se najčešće dešava na stupovima zračne mreže gdje se radi prljavštine ili vlage na površini izolatora uspostavlja puzna staza. U rezonantno uzemljenim mrežama nakon propaljivanja luka dolazi do samogašenja struje kvara jer je ona vrlo mala zbog djelomičnog poništenja strujom kompenzacijske prigušnice. Ponovni proboj ovisi o uvjetima na mjestu kvara kao npr. oštećenju izolatora, vlagi i nečistoći na površini i sl.

Primjer valnog oblika faznih napona snimljenog na transformatoru u transformatorskoj stanici 110/20 kV 4TS 23 Botinec dana 20. siječnja 2020. g. tijekom kvara na 20 kV potpornom izolatoru na priključku zračne TS 20/0,4 kV prikazan je na slici 3. SN mreža transformatorske stanice Botinec je rezonantno uzemljena, pa je struja kvara bila kompenzirana induktivnom strujom prigušnice, što je uzrokovalo gašenje, pa ponovno propaljivanje luka na izolatoru. Proces „propaljivanja“ luka je trajao otprilike 1 s, nakog čega se uspostavio trajni luk i relejna zaštita je isključila vod s kvarnim mjestom otprilike 5 s nakon nastanka prvog proboja.



Slika 3. Fazni naponi u mreži pri probouju izolatora 4TS 23

U procesu traženja kvarnog mjesta vod u kvaru je bio ponovno ručno ukopčan nakon otprilike 5 minuta. Ponovio se proboj izolatora pri čemu je paljenje i gašenje luka, dok se konačno nije uspostavio trajni luk, trajalo oko 2,5 s. Napon faze u kvaru tijekom cijelog tog procesa prikazan je na slici 4. Relejna zaštita je isključila vod u kvaru otprilike 4 s nakon uspostave trajnog luka.



Slika 4. Napon faze u kvaru pri probouju izolatora

U slučajevima kada dolazi do povremenih proboja izolatora na zračnom vodu, vizualnim pregledom s tla se često ne može uočiti kvarno mjesto, jer oštećenja, vlaga ili prljavština nisu vidljivi. Tek kada nastupi veliko oštećenje (cijeli izolator eksplodira ili se odlomi komad) moguće je utvrditi točno mjesto kvara.

Ukoliko se na temelju snimki poremećaja može pretpostaviti da se radi o proboju izolatora na zračnoj mreži, a vod u kvaru sadrži i kabliske i zračne dionice, vrijeme traženja kvara se može reducirati ukoliko se ekipama na terenu daju upute da pri traženju kvara prvo pregledaju dio trase sa zračnim dionicama. Također, iskusno osoblje može pretpostaviti na kojim dijelovima trase je moguće očekivati problematične izolatore, pa se oni mogu tijekom normalnog pogona pregledati opremom za parcijalno izbijanje, te u slučaju otkrivanja loših mjesta, planiranim radovima i zamijeniti.

3.2 Kabelski kvarovi

Određeni kvarovi na kablskim vodovima mogu dugo vremena ostati neotkriveni od strane uređaja relejne zaštite. Oni uobičajeno nastaju kada je dio izolacije kablskog voda mehanički oštećen, što se može dogoditi ili tijekom polaganja kabela nestručnim izvođenjem radova ili pri samoj proizvodnji kabela ili radi mehaničkog oštećenja ili loše izvedene montaže kablskih spojnica i završetaka.

U tim slučajevima se radi parcijalnih izbijanja tijekom normalnog pogona izolacija na mjestu oštećenja dodatno oslabljuje, te u jednom trenutku dolazi do proboja. Ukoliko se npr. radi o proboju na spojnica kod uljnih kabela gdje je unutar spojnice izolacijska smola, luk koji se stvara, tj. toplina koja se pri njegovoj pojavi razvije, može rastopiti izolacijsku masu te se mjesto proboja „zapuni“. Nakon određenog vremena izolacija opet oslabi te ponovno dođe do proboja koji obično postaje sve češći dok konačno ne prijeđe u trajni kvar, kada struja kvara dovoljno dugo traje da bi je uređaj relejne zaštite uspio detektirati i isključiti prekidač voda u kvaru.

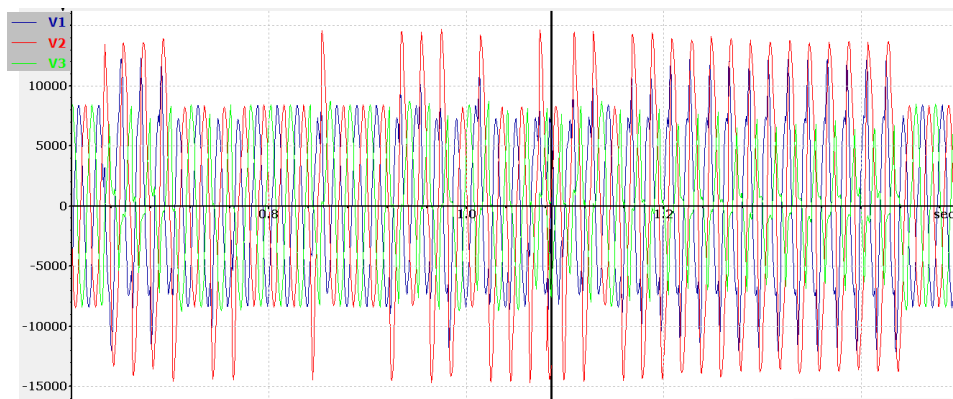
Na slici 5 prikazan je kablски završetak 20 kV kablskog spoja transformatora oštećen uslijed proboja faze prema poluvodljivom sloju, a zatim i dalje prema zaslonu kabela, do kojeg je vjerojatno došlo zbog nepravilne montaže, odnosno zarezivanja izolacije kabela prilikom skidanja poluvodljivog sloja.



Slika 5. Oštećenje na kablskom završetku uslijed proboja

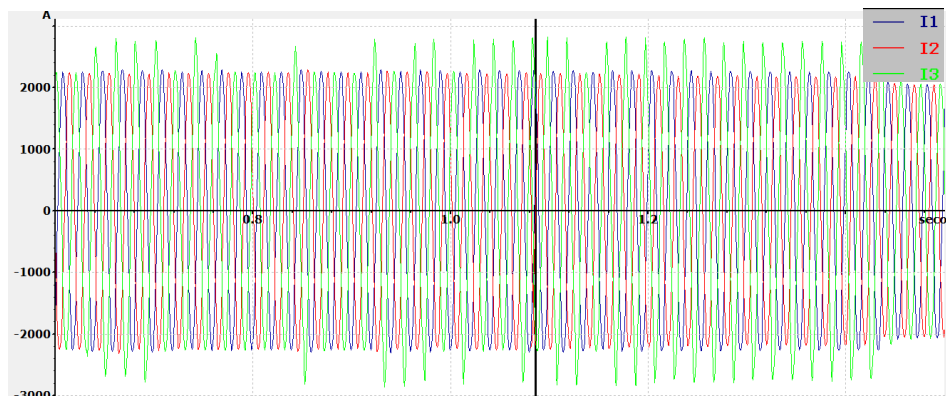
Primjer jednog takvog razvijajućeg kablskog kvara dan je na slikama 6 i 7. Radi se o mreži transformatorske stanice 110/10 kV 4TS 24 Dubec, a kvar je nastao dana 23.01.2020. g. gdje je prvi proboj na kablskom završetku zabilježen na oscilogramu napona na transformatoru u 10:04:06,623 sati. Do isklopa voda u kvaru došlo je tek u 10:04:37,868 sati, dakle 30-ak sekundi nakon prvog proboja izolacije.

Na slikama 6 i 7 prikazano je zadnjih 8 sekundi prije isklopa prekidača voda u kvaru, kada se razvio trajni kvar. Na slici 6 prikazani su fazni naponi, a na slici 7 struje transformatora.



Slika 6. Fazni naponi kod razvijajućeg kvara na kablskom završetku

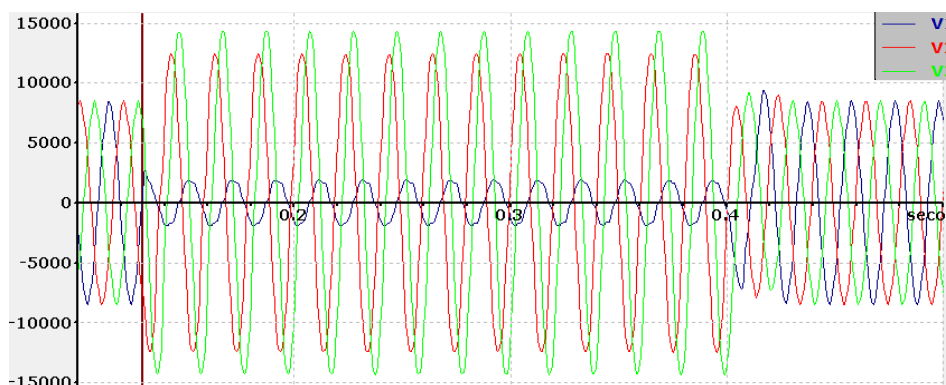
Sa slika 6 i 7 vidljivo je da se naponski proboj događa na zelenoj fazi (L3), a njegovo trajanje je promjenjivo: od ½ periode, 1 periode, 2 periode itd. do konačnog proboja koji se nije ugasio nakon 14 perioda, pa je relejna zaštita imala dovoljno dugu pobudu da djeluje i isključi vod u kvaru.



Slika 7. Struje na transformatoru kod razvijajućeg kvara na kabelu

Slične naponsko-strujne prilike se u mreži mogu zabilježiti i pri pojavi vlage unutar kabela ili na kabljskim spojnica, kada se kod pojave struje na mjestu kvara vlaga isuši, pa kvarno mjesto „drži“ do ponovne pojave vlage.

Naponske prilike u SN mreži te iste transformatorske stanice 4TS 24 Dubec dana 30.01.2020. g. pri kvaru na drugom kabljskom vodu prikazane su na slici 8.



Slika 8. Fazni naponi kod kabljskog kvara u SN mreži 4TS 24 Dubec

U ovom slučaju je kvar na kabljskom vodu nastupio trenutačno, tj. nije se razvijao kroz dulje vrijeme. Ovakvi kvarovi uglavnom nastaju u slučaju mehaničkog oštećenja kabela.

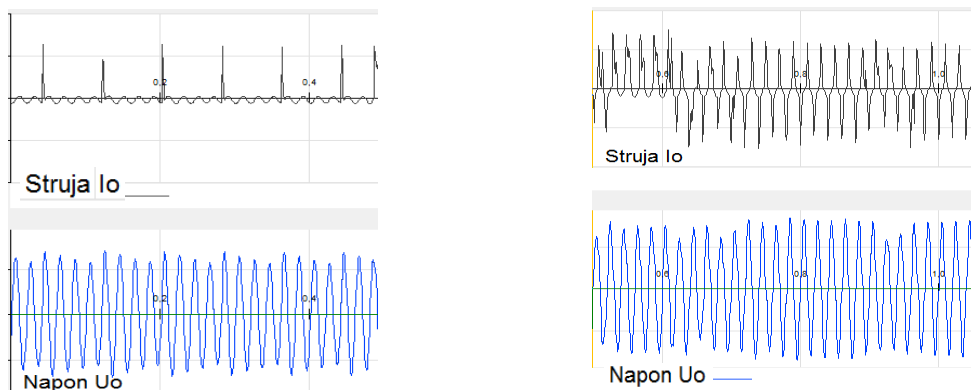
U slučajevima kada se razvijajući kabljski kvar uoči na vrijeme, možda bi se mogao preduhitriti konačan proboj i neplanirani prekid opskrbe na način da se pogonskim manevrima pokuša utvrditi na kojem kabljskom vodu dolazi do probijanja, ta ga zatim izolirati. U jednoj se prilici u Elektri Zagreb upravo to uspjelo primijeniti u praksi, kada je utvrđeno da do proboja dolazi na 30 kV kablju koji je bio u praznom hodu. Nakon što je vod iskopčan, naponske oscilacije na transformatoru nisu više bile uočljive (kao ove na slici 6), a njegovim naknadnim ispitivanjem je otkriveno (i popravljeno) mjesto na kojem bi došlo do trajnog proboja da je kabljski vod i dalje ostao pod naponom.

Strujno-naponske prilike kod kvarova u mrežama se značajno mogu razlikovati ovisno u načinu uzemljenja neutralne točke. Na slikama 9.a i b prikazana je nulta struja voda i nulti napon u mreži mjeren na zaštitnom releju u vodnom polju koje napaja mrežu s 1p kabljskim kvarom. Radi se o mreži transformatorske stanice 110/20 kV 4TS 101 Zaprešić koja je uzemljena preko rezonantne prigušnice.

Na slici 9.a prikazane su nulta struja voda u kvaru i nulti napon mreže kada je prigušnica u položaju približnom rezonanciji, pa je struja kvara skoro u potpunosti kompenzirana. Vidljiva je struja proboja iznosa oko 500 A trajanja oko 3 ms, nakon čega nastupa 70 ms pauze i zatim opet nastupa proboj.

U trenutku prikazanom na slici 9.b prigušnica više nije u rezonanciji s mrežom (razdešenje je oko 150 A), pa se struja kvara ne kompenzira u potpunosti. Struja prikazana na grafu brzo poprima trajno

povišenu vrijednost od oko 150 A čime su se stvorili uvjeti za proradu zaštitnog uređaja i isklon prekidača na vodu s kvarom.



Slika 9.a i b Nulta struja i napon na vodnom polju pri 1p kvaru s udešenom i neudešenom rezonantnom prigušnicom

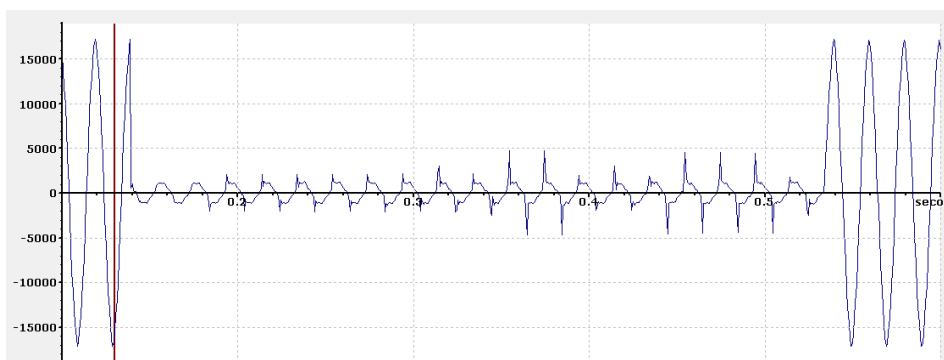
U gore opisanom slučaju radilo se o kvaru čiji je uzrok prikazan na slici 5 (proboj kabela).

3.3 Kvarovi u SN rasklopnim postrojenjima

U SN mreži većina spontanih kvarova, dakle oni koji nisu uzrokovani trećom stranom, je uzrokovana probojem izolacije. Proboji se mogu desiti na kabelskoj izolaciji u zemlji, kabelskim spojnicama, kabelskim glavama ili izolacijskim elementima (zrak, PVC, SF6 ili sl.) SN dijela postrojenja u transformatorskim stanicama 10(20)/0,4 kV.

U zadnje vrijeme na području Elektre Zagreb zabilježen je velik broj proboja izolatora unutar SN sklopnih blokova u transformatorskim stanicama 10(20)/0,4 kV koji su uzrokovali 1p kvarove u mreži.

Na slici 10. prikazan je napon faze u kvaru snimljen na transformatoru 110/20 kV u 4TS 21 Stenjevec dana 23. siječnja 2020. g., a uzrokovan je probojem provodnog izolatora smještenog unutar ćelije transformatorskog polja SN postrojenja u transformatorskoj stanici 10(20)/0,4 kV.

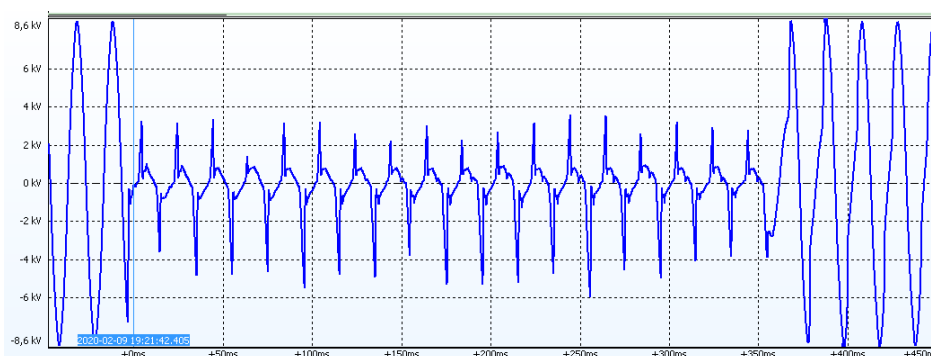


Slika 10. Napon faze u kvaru kod proboja na 20 kV SN postrojenju u mreži 4TS 21 Stenjevec



Slika 11. SN sklopni blok s izolatorom u kvaru

Na slici 11 prikazana je fotografija unutrašnosti ćelije upravo tog SN sklopnog bloka na kojem je nastao kvar. Sličan valni oblik napona faze u kvaru zabilježen je i na sabirnicama 110/10 kV transformatorske stanice 4TS 9 EL-TO 09.02.2020. g. pri kvaru na još jednom SN sklopnom bloku (slika 12).



Slika 12. Napon faze u kvaru kod proboja na 10 kV SN postrojenju u mreži 4TS 9 EL-TO

Kod ovakvih kvarova uočeno je da se na valnom obliku faze u kvaru pojavljuju „špice“ netom prije samog vrha sinusoide. Može se zaključiti da je takav valni oblik tipičan za proboje na izolatorima.

Oba prijašnja primjera prikazuju slične kvarove snimljene u SN mrežama uzemljenima preko otpornika. Na slici 13 prikazan je napon faze u kvaru kod istovrsnog kvara s tom razlikom da je ovaj kvar nastao u SN mreži uzemljenoj preko prigušnice za rezonantno uzemljenje. Radi se o kvaru u 20 kV mreži transformatorske stanice 110/20 kV 4TS 23 Botinec do kojeg je došlo dana 15.08.2019. g.

Ovaj se valni oblik razlikuje od prethodna dva, jer se djelovanjem prigušnice za rezonantno uzemljenje struja kvara prigušuje čime se i valni oblik napona mijenja. U rezonantno uzemljenim mrežama strujno-naponske prilike kod jednopolnih kvarova su kompliciranije nego kod kruto uzemljenih mreža, pa nije tako jednostavno izvesti zaključke.



Slika 13. Napon faze u kvaru kod proboja na 20 kV SN postrojenju u mreži 4TS 23 Botinec

Pomoću gore navedenih primjera moguće je na osnovu izgleda valnih oblika struja i napona na sabirnicama pojnog transformatora zaključiti da je kvar, koji je uzrokovao proradu uređaja relejne zaštite i isklon elementa u kvaru, nastao u rasklopnom SN postrojenju u TS 10(20)/0,4 kV, što može skratiti vrijeme traženja kvara i prekid opskrbe električnom energijom. Vrijeme traženja kvara dodatno se skraćuje ukoliko osoblje dobro poznaje SN mrežu te po tipu SN postrojenja ugrađenog u TS 10(20)/0,4 kV ili po karakteristikama TS može pretpostaviti u kojoj bi se transformatorskoj stanici moglo nalaziti kvarno mjesto.

3.4 Mala životinja

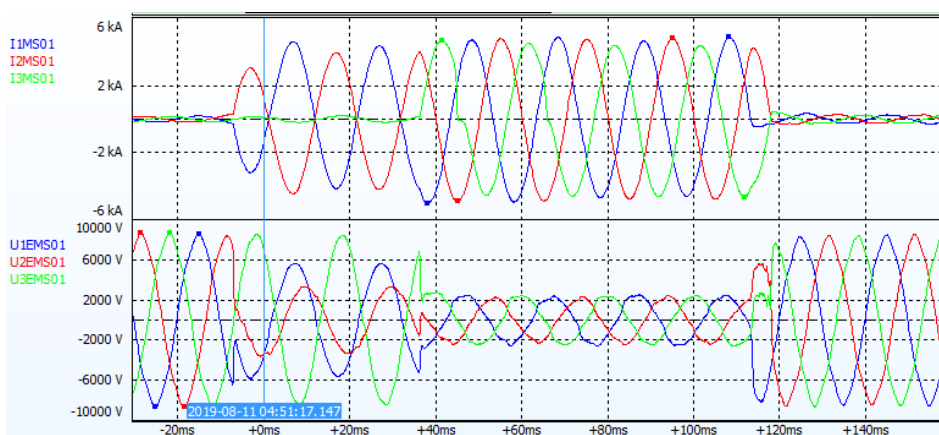
Česti kvarovi u SN mrežama su tzv. male životinje koje se zavuku u/na dijelove postrojenja i svojim tijelima premoste neizolirane dijelove postrojenja i uzrokuju kvar. Takvi su kvarovi po svom karakteru redovito složeni višepolni – uobičajeno počinju kao dvopolni kvar koji se razvije u trolpolni kvar.

Tijekom proljeća i jeseni česti su kvarovi na zračnim vodovima uzrokovani pticama koje premoste faze krilima, a tijekom zime i ljeta kvarove uglavnom uzrokuju mali sisavci (slika 14), koji se zavlaze u transformatorske stanice tražeći toplinu/hlad.



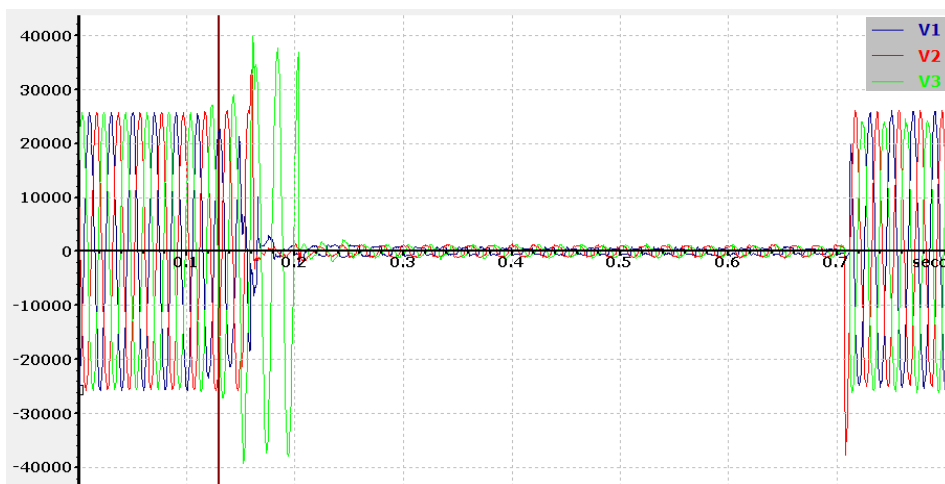
Slika 14. Kuna nakon pogibije na transformatoru

Na slici 15 prikazane su struje i naponi zabilježeni na transformatoru u transformatorskoj stanici 30/10 kV 3TS 3 Ružmarinka tijekom kvara 11.08.2019. g. uzrokovanog zavlacenjem kune na transformatorske sabirnice u jednoj 10/0,4 kV transformatorskoj stanici u mreži.



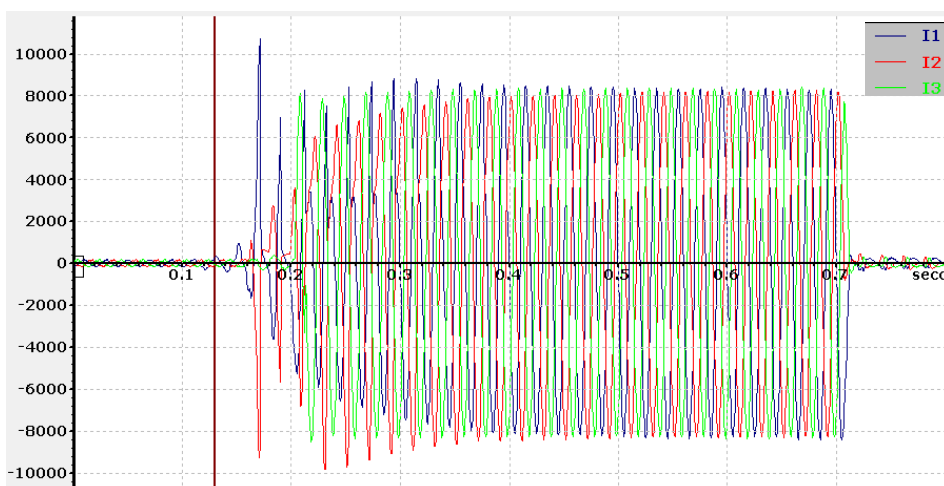
Slika 15. Struje i naponi na transformatoru u 3TS 3 tijekom kvara koji je uzrokovala kuna

Na slikama 16 i 17 prikazani su naponi i struje na 30 kV strani transformatora u TS 110/30 kV 4TS 19 Jarun prilikom kvara 05.02.2020. g. kojeg je uzrokovala mačka koja se zavukla u 30 kV kabelske kanale u podrumu navedene TS i svojim tijelom premostila neizolirani bakreni spoj kabela na sabirnice.



Slika 16. Naponi na 30 kV sabirnicama transformatora u 4TS 19 Jarun (mačka u vodnom polju)

Ovakvi višepolni kvarovi su po svojem karakteru prolazni – kada nastupi isključenje napona, mrtva životinja pada na tlo (ispod zračnog voda, u kabelski kanal, na kotao transformatora i sl.), te pri tome nestaje „kratkospojnik“. Ponovnim uključenjem elementa na kojem je kvar zabilježen, uspostavljaju se normalne naponske prilike u mreži.



Slika 17. Struje na 30 kV strani transformatora u 4TS 19 Jarun (mačka u vodnom polju)

Ukoliko se na temelju valnih oblika struja i napona može sa određenom sigurnošću reći da je kvar uzrokovan malom životinjom, beznaponsko stanje i prekid opskrbe električnom energijom korisnika mreže se može minimizirati na način da se vod uklopi, te se nakon toga šalju ekipe na teren u lociranje mjesta kvara, i po potrebi uklanjanje mrtve životinje. A ne obratno, kako bi to inače bio slučaj.

Kod ovakvih i sličnih kvarova se može primijeniti proračun mjesta kvara pomoću podataka o struji i impedanciji mreže. Ta se procedura, primjenjena na nekoliko trolejnih kvarova u SN mreži Elektro Zagreb, pokazala kao poprilično točna, jer su rezultati proračuna utvrđivali lokaciju kvara na dijelu mreže dugom otprilike 1 km. Pregledom transformatorskih stanica na tom potezu uvijek je pronađeno mjesto kvara.

U Elektro Zagreb je kreiran „katalog kvarova“ u koji se pohranjuju snimke kvarova s uređaja za mjerenje KEE, zaštitnih releja (ukoliko su dostupne) i fotografije stvarnih kvarnih mjesta s opisom kvara. Analizom tih podataka želi se stvoriti baza znanja koja bi pomogla otkrivanju uzroka kvarova nekih budućih poremećaja.

4. ZAKLJUČAK

Kvaliteta opskrbe električnom energijom je od velike važnosti za poslovanje HEP ODS-a. Njeno povećanje se vrlo jednostavno može dobiti skraćivanjem vremena i učestalosti prekida opskrbe korisnicima mreže, a što se postiže brzim lociranjem mjesta kvara ili izoliranjem mjesta na kojem se očekuje kvar.

Rekonfiguracija mreže u svrhu izoliranja mjesta kvara je funkcija koju bi trebala automatski odraditi SCADA-e pomoću daljinski upravljivih elemenata mreže. Određivanje mjesta kvara automatskim proračunima je također funkcija koju bi trebala izvršavati SCADA, no zasada te funkcije nisu osposobljene. Dok do toga ne dođe, svaka informacija koja može pridonijeti smanjenju trajanja i duljine prekida napajanja je korisna i treba je znati iskoristiti.

Redovitim pregledom zapisa o kvarovima s uređaja relejne zaštite i uređaja za mjerenje KEE i njihovim ispravnim tumačenjem, moguće je poboljšati sustav vođenja pogona mreže na način da se skрати vrijeme traženja kvara, a ponekada čak i da se izbjegne nastanak prekida napajanja, koji bi bio uzrokovan nastankom kvara u mreži.

Ukoliko su zapisi s uređaja relejne zaštite teško dostupni ili ne postoje, korisnu informaciju mogu pružiti uređaji za trajno praćenje KEE, pa ih, osim za njihovu osnovnu namjenu, koja je praćenje KEE u mreži, treba koristiti i u druge svrhe u najvećoj mogućoj mjeri.

5. LITERATURA

- [1] IEC 61000-4-30 (61000-4-30:2015)
- [2] HRN EN 50160:2012 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems"