



PREKID NEUTRALNOG PROVODNIKA KAO DIREKTNI UTICAJ NA KVALITET ISPORUČENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

INTERRUPTION OF THE NEUTRAL CONDUCTOR AS A DIRECT IMPACT ON THE QUALITY OF DELIVERED ELECTRICAL POWER

Dušan ČOMIĆ, Plamen doo, Indija, Srbija

Zoran MITROVIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

Boris ANTIĆ, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Standard SRPS EN 50160 definiše karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih distributivnih mreža. Ovaj standard daje glavne karakteristike napona na priključcima napajanja potrošača na javne niskonaponske i sredjenaponske sisteme distribucije električne energije u uslovima normalnog rada.

Ovaj rad razmatra uticaj prekida neutralnog provodnika u trofaznom sistemu javne distributivne mreže na kvalitet isporučene električne energije, učestanost ove pojave, njenu posledicu i predlog mera za zaštitu od ove pojave.

U radu je dat analitički opis uticaja prekida neutralnog provodnika na neuravnotežene trofazne potrošače.

Pokazano je da napon neutralnog pomeranja i neutralna struja zavise od vrste kvara i od težine debalansa opterećenja trofaznog prijemnika. Kada je napon na priključku prijemnika viši od nominalnog, struja u njemu će takođe biti veća od nominalne i prouzrokovati pregrevanje. Paljenja električnih prijemnika i požari u ovakvim okolnostima su česte pojave. Analizira se jedno elektrodistributivno područje, od oko 300.000 mernih mesta, tokom 5 godina, prate pogonski događaji na niskonaponskoj elektrodistributivnoj mreži i mernim mestima kupaca, koji su za posledicu imali prekid nultog provodnika. Da bi se sagledali finansijski efekti ove pojave tokom istog perioda, prikazani su troškovi otklanjanja štete kod kupaca. Rezultati su korisni za odgovarajuće projektovanje jednog od mogućih rešenja sistema zaštite.

***Ključne reči:** prekid neutralnog provodnika.*

SUMMARY

The SRPS EN 50160 standard defines the voltage characteristics of electricity supplied from public distribution networks. The standard provides the main characteristics of the voltage at the consumer's power supply termination of the public low-voltage and medium-voltage power distribution systems under normal operating conditions. This paper considers the impact of interruption of the neutral conductor in the three-phase system of the public distribution network on the quality of delivered electricity, the incidence of this phenomenon and its consequences, and it proposes protection measures. The paper presents an analytical description of the impact of neutral conductor interruption on unbalanced three-phase consumers. It has been shown that the neutral bias voltage and the neutral current depend on the type of fault and the severity of the load imbalance of the three-phase receiver. When the voltage at the terminal of the receiver is higher than nominal, the current in the receiver will also be higher than the nominal one and it will cause overheating. Ignition of consumer's equipment and fires in these circumstances are quite common. An electricity distribution area with cca 300,000 metering points was analyzed, over the span of 5 years, followed by operating events in the low-voltage distribution network and metering points of the customers that caused interruptions of the neutral conductor. In order to consider the financial effects of the phenomena during the same period, the costs of repairing the damage at customers are shown. The results are useful for an adequate design of one possible version of the protection system.

Keywords: neutral conductor termination.

25
godina

13. SAVETOVANJE O ELEKTRODISTRIBUTIVNIM MREŽAMA sa regionalnim učešćem
13th CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION with regional participation

12-16 / 09 / 2022, Kopaonik, Srbija



ZBORNİK RADOVA | PROCEEDINGS



Zoran Mitrović: zoranmit@uns.ac.rs, 064/ 113 5095,

Boris Antić: antic@uns.ac.rs, 063/ 842 8551,

UVOD

Značaj kvaliteta isporučene električne energije je odavno poznat, a njegov uticaj na rad svih električnih uređaja i njihov životni vek je poznat kupcima. Važnost održavanja kvaliteta isporučene električne energije raste u otvorenim tržištima, gde postaje važan faktor u oceni tehničkih i finansijskih parametara.

Kriterijumi značajni za kvalitet isporučene električne energije za niskonaponsku stranu napojne mreže mogu se videti iz SRPS EN 50160:2012.

Praktični zaključci koji se mogu dobiti uvidom u SRPS EN 50160:2012 su:

- Prihvatljive granice varijacije napona su široke, ali su determinisane vremenom trajanja;
- Oprema (prijemnici) koja je osetljiva na napon treba da se koristi sa pažnjom jer dozvoljeno odstupanje napona može da bude van granica $\pm 10\%$ za 5% vremena standardom posmatranog vremena;
- Ovaj standard daje glavne karakteristike napona na priključcima napajanja potrošača na javne niskonaponske i sredjenaponske sisteme distribucije električne energije u uslovima normalnog rada.

U havarijskom stanju nisu predviđene granice odstupanja napona niti njegovog trajanja i prema tome treba pažljivo odabrati uređaje za zaštitu od prenapona, posebno kod dugotrajnog prenapona, naročito u slučajevima korišćenja skupe opreme.

Kao što je to već navedeno, tehnološki napredak je proizveo jednu grupu novih potrošača električne energije čiji je rad zasnovan na mikroprocesorima, elektronskoj i procesnoj opremi koja je veoma osetljiva na kvalitet isporučene električne energije, to jest njegovog reprezentativnog napona.

Posebno je po njihov rad opasan prenapon.

U ovom radu će se opisati jedan realan i čest slučaj, koji je moguć u trofaznoj javnoj niskonaponskoj mreži distribucije električne energije u uslovima nenormalnog rada, to jest prekida neutralnog provodnika.

Ova pojava često, ili skoro uvek, ima za posledicu uništenje prijemnika, čak i požar u prostorijama kupca. To je slučaj kada se neutralni provodnik otvori, pokvari ili olabavi na jednoj ili više lokacija, od generatora ili distributivnog transformatora do prostorija kupca.

Posledice su razmatrane od više autora, navešćemo jedan konkretan, Effect of neutral loss in 3-Phase LV networks, objavljen u Technical Journal, novembar 2012, koji je objavio ABB gde se nalazi i tehničko rešenje, koje počiva na sasvim drugim principima koji je u ovom radu predložen.

UZROCI PREKIDA NEUTRALNOG PROVODNIKA

Šta je uzročnik prekida neutralnog provodnika u trofaznoj niskonaponskoj distributivnoj mreži zaključno sa pomoćnom razvodnom tablom u stanu kupca?

Navešćemo najčešće uzročnike prekida neutralnog provodnika:

- Dovodna klema na neutralnom provodniku, takozvana "nula", (N) ima loš kontakt ili je izgoreo sam provodnik;
- Usled asimetrije opterećenja, dolazi do prolaska struje kroz neutralni provodnik i vremenom sam spoj biva termički razaran, zbog čega može doći do prekida neutralnog provodnika ili gubljenja kontakta;
- Usled atmosferskih uticaja neutralni provodnik patinira, što ima za posledicu gubljenja kontakta;
- Loše vremenske prilike, kao što su oluje i munje, mogu izazvati prekid;
- Nepredvidive nezgode, kao što je pad drveta ili grane na provodnik ili udar automobila u stub nadzemnog NN voda, mogu dovesti do prekida neutralnog provodnika;
- Rad tehničke ekipe Elektrodistribucije na poslovima održavanja niskonaponske mreže;
- Kod radova na brojilu, kao što je njegova zamena, kontrola ili isključenje-uključenje kupca kada elektromonteri prvo demontiraju napojni neutralni provodnik ili kod montaže prvo povezuju fazne provodnike pa onda neutralni provodnik;
- Nadzemni provodnici ne samo da se lako oštećuju, već su i lako dostupni za krađu, a posebno bakarni koji imaju veću vrednost na tržištu otpadnih sirovina;
- Prekid zbog loše veze na električnim stubovima;
- Loše održavanje.

Šta se dešava kada se neutralni provodnik prekine, izgori ili olabavi njegov spoj, na jednoj ili više lokacija, od distributivnog transformatora do prostorija kupca, kao i uzroci i posledice kvara neutralnog provodnika biće detaljnije opisani u narednim poglavljima.

NAPAJANJE PRIJEMNIKA KUPACA U TROFAZNOJ ČETVOROŽIČNOJ NISKONAPONSKOJ DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

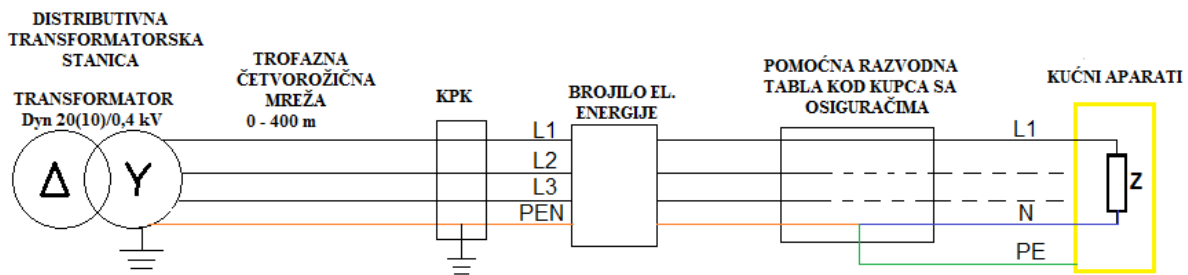
Niskonaponske mreže čine završni deo elektrodistributivnog sistema, prenoseći električnu energiju od distributivnih transformatora do krajnjih korisnika. Zadatak niskonaponskih mreža je da nadzemnim ili podzemnim vodovima bezbedno prenesu električnu energiju do kupaca, uvažavajući princip kvalitetno isporučene električne energije.

Na konzumnom području Elektrodistribucije Srbije se koristi fazni napon 230 V i međufazni 400 V.

Obično kupci koriste trofazne niskonaponske mreže i priključke za napajanje svojih objekata, mada još uvek ima i monofaznih priključaka.

Broj korišćenih provodnika u niskonaponskoj trofaznoj mreži je obično četiri, mada u takozvanom TN-S načinu izvođenja postoji i pet provodnika.

U Elektrodistribuciji Srbije niskonaponske distributivne mreže su uglavnom radijalne. Šematski prikaz jedne ovakve mreže je prikazan na slici 1.



Slika 1. Šematski prikaz niskonaponske distributivne radijalne mreže od DTS do prijemnika kupca

Od više mogućih sistema razvoda električne energije u distributivnoj trofaznoj niskonaponskoj mreži najviše se koriste:

- TN-C-S sistem razvoda, za podzemnu (kablovsku) niskonaponsku mrežu i
- TT sistem razvoda, za nadzemnu niskonaponsku mrežu.

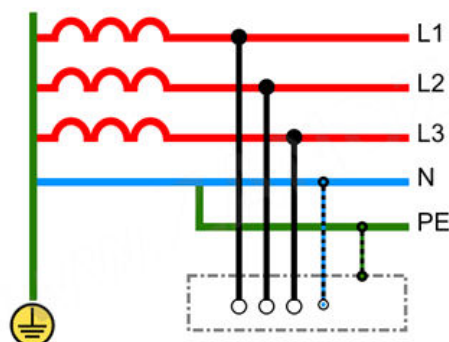
Samo ilustrativno će biti prikazani ovi dominantni sistemi razvoda električne energije do prijemnika kupaca.

TN-C-S sistem razvoda

Kod TN-C-S sistema razvoda je neutralna tačka izvora napajanja (zvezdište sekundarne strane transformatora) povezana sa pogonskim uzemljenjem, dok su metalna kućišta električnih prijemnika u objektu preko zaštitno-neutralnog PEN provodnika povezana sa neutralnom tačkom izvora napajanja, pošto su u mernom ormaru MO (ili u pomoćnoj razvodnoj tabli PRT) zaštitna i neutralna sabirnica kratko spojene.

Iz zvezdišta sekundarne strane transformatora izveden je zaštitno-neutralni PEN provodnik, tako da se od transformatorske stanice do objekta vode četiri provodnika, pa je napajanje objekta zasnovano na trofaznom sistemu sa četiri provodnika, tri su fazna, a četvrti je zaštitno-neutralni PEN provodnik.

U TN-C-S sistemu razvoda samo u jednom delu sistema (u niskonaponskoj distributivnoj mreži) funkciju zaštitnog PE i neutralnog N provodnika obavlja jedan zaštitno-neutralni PEN provodnik, dok u električnoj instalaciji objekta te funkcije obavljaju dva zasebna provodnika, neutralni N i zaštitni PE provodnik. Ovaj tip razvoda omogućava upotrebu RCD uređaja na diferencijalnu struju, odnosno FID sklopke, na pomoćnoj



razvodnoj tabli kod kupca.

Slika 2. TN-C-S sistem razvoda električne instalacije

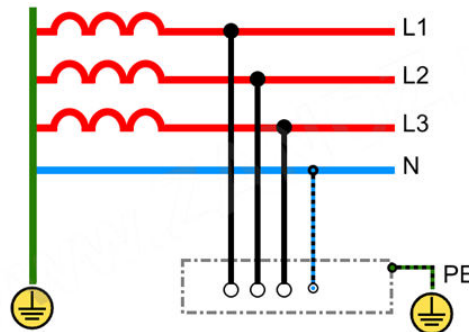
TT sistem razvoda

TT sistem je karakterističan po tome što mu je neutralna tačka sistema uzemljena posredstvom jednog uzemljivača, a kućišta prijemnika su uzemljena preko drugih uzemljivača, električno nezavisnih od uzemljenja neutralne tačke sistema.

Ovo je tip napajanja koja se koristi u posebnim uslovima, a to je kada je isporuka električne energije realizovana faznim provodnicima iz izvora sa uzemljenim neutralnim provodnikom, a uzemljenje se vrši direktno kod kupca. Na ovaj način se povezuju mobilne kućice i privremeni objekti.

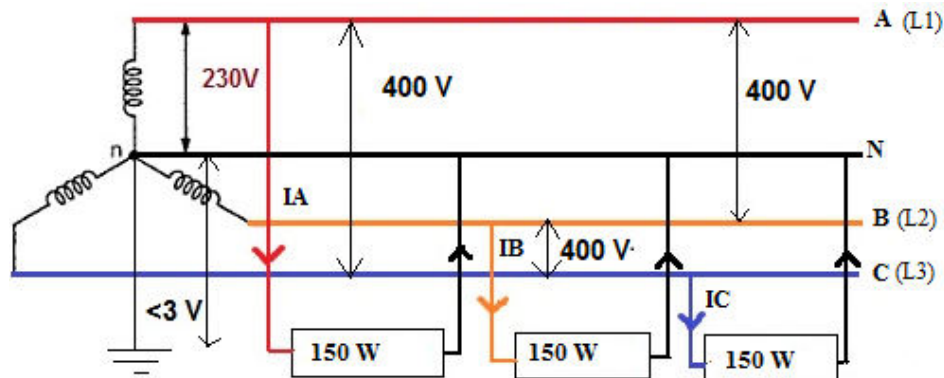
Ovaj tip zahteva obaveznu upotrebu RCD uređaja, odnosno FID sklopke, na diferencijalnu struju.

Područja primene TT sistema razvoda su u poljoprivredi, na gradilištima, domaćinstvima, poslovnim i sličnim zgradama. U ovaj sistem ubraja se naprimer zaštitno uzemljenje s pojedinačnim uzemljivačem.



Slika 3. TT sistem razvoda električne instalacije

TROFAZNO ČETVOROŽIČNO NAPAJANJE SIMETRIČNO OPTEREĆENIH PRIJEMNIKA



Slika 4. Simetrično opterećeni prijemnici bez prekida neutralnog provodnika

Kod nas je nominalni linearni (međufazni) napon mreže 400 V, a fazni napon (između faznog i neutralnog provodnika) 230 V.

U praksi se takve idealne vrednosti retko sreću iz nekoliko razloga.

Jedan od razloga je da u početku, do transformatora može doći visoki napon napajanja sa neidealnim mrežnim naponima, koji se takođe pretvara u niski napon sa određenom razlikom.

Pored toga, sam transformator može imati različita opterećenja po fazama, tako da će kod opterećenijih faza napon biti niži u odnosu na druge.

Kada se trofazno opterećenje prijemnika uravnoteži, kao što je to prikazano na slici 4, tada su apsolutne vrednosti linijske struje I_A , I_B i I_C jednake.

$$|I_A| = |I_B| = |I_C| \quad (1)$$

Vektorski zbir linijskih struja daje struju kroz neutralni provodnik koja je nula:

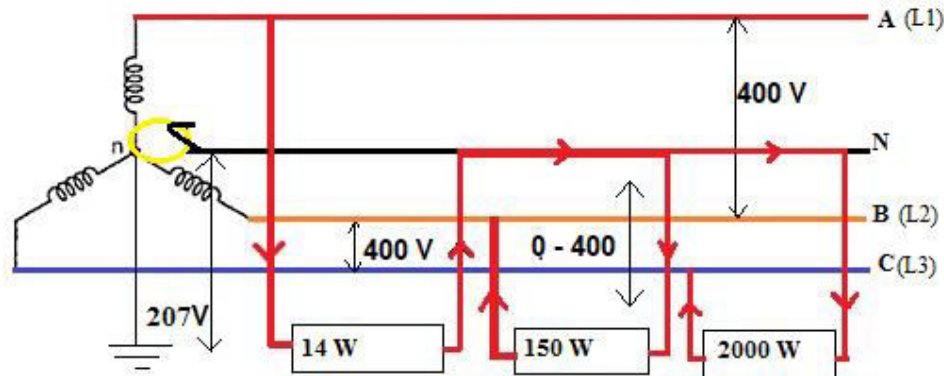
$$\overline{I_A} + \overline{I_B} + \overline{I_C} = \overline{I_N} = 0 \quad (2)$$

Isto bi se desilo u slučaju simetričnog opterećenja kao na slici 4 i kada bi neutralni provodnik N bio u prekidu (pre priključka koji napaja ove prijemnike).

TROFAZNO ČETVOROŽIČNO NAPAJANJE NESIMETRIČNO OPTEREĆENIH PRIJEMNIKA

Kod asimetričnog zvezdastog opterećenja bez neutralnog provodnika (neutralni provodnik je prekinut) otpori svih faza nisu isti: $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$.

PRIMER 1: U trofaznoj četvorožično napajanoj niskonaponskoj mreži su priključeni prijemnici: adapter 14 W, sijalica sa užarenim vlaknom 150 W i kalorifer 2000 W. Sema veze je prikazana na slici 5.



Slika 5. Nesimetrično opterećeni prijemnici sa prekidom neutralnog provodnika

Kao rezultat, pojavljuje se napon U_{nN} između neutralne tačke izvora i neutralnog provodnika N, određen formulom dva čvora:

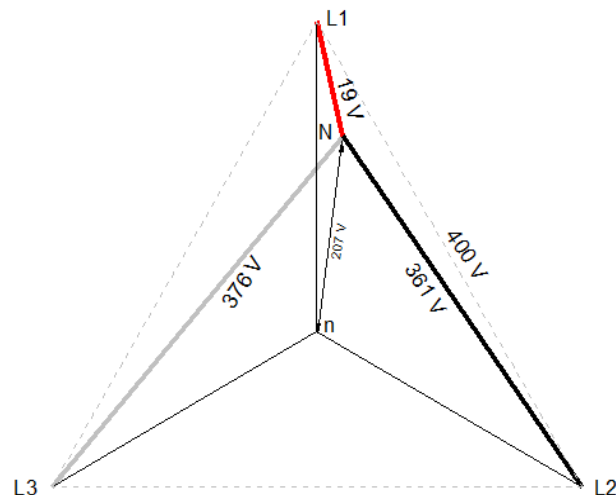
$$\overline{U_{nN}} = \frac{\overline{U_{An}} \cdot \underline{Y_A} + \overline{U_{Bn}} \cdot \underline{Y_B} + \overline{U_{Cn}} \cdot \underline{Y_C}}{\underline{Y_A} + \underline{Y_B} + \underline{Y_C}} \quad (3)$$

Za konkretan primer mereni su naponi u trenutku prekida neutralnog provodnika i dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Fazni naponi - prekid neutralnog provodnika i nesimetrično opterećenje

Faza	Napon sa neutralnim provodnikom i opterećenjem (V)	Opterećenje u (W)	Fazni naponi bez neutralnog provodnika i sa opterećenjem (V)
U_A (L1)	230	2000 (Kalorifer)	19
U_B (L2)	230	150 (Sijalica)	361
U_C (L3)	231	14 (Adapter)	376

Napon U_{nN} , koji deluje između tačaka n i N, iznosi 215 V, prikazan je na vektorskom dijagramu napona (L1, L2 i L3), na slici 6.

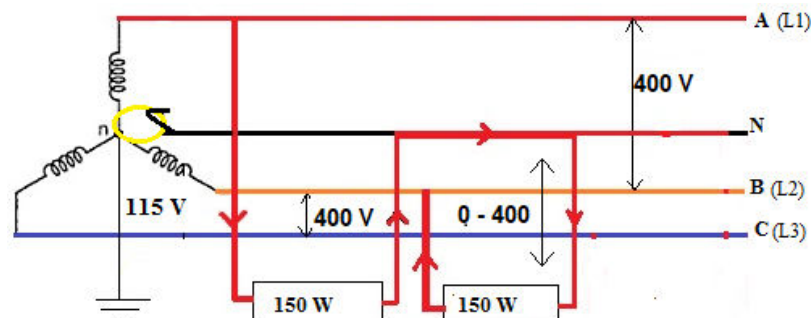


Slika 6. Vektorski dijagram za nesimetrično opterećenje, sa slike 5, sa prekidom neutralnog provodnika. Sa slike 2 i 3, može se primetiti da je neutralni provodnik u TN i TT električnim distributivnim sistemima uzemljen na strani napajanja (transformator). Dakle, potencijal zemlje se postavlja kao referentna tačka napona za neutralni provodnik. U nedostatku ove reference, neutralna tačka će se pomeriti sa svoje prethodne tačke, u zavisnosti od raspodele opterećenja između tri faze (nivo neuravnoteženosti) kao i veličine opterećenja u tom trenutku.

Na slici 6, pomeranje napona neutralnog provodnika, koja proizilazi iz prekida neutralnog provodnika, prikazano je grafički korišćenjem naponskog trougla (pomeranje od n do N i iznosi 207 V).

Kada se referentna tačka napona (neutralno) pomeri na N, napon u nekoj fazi ili fazama može da se smanji ili poveća. Teoretski, najbolji indikator za detekciju prekinutog neutralnog provodnika bio bi merenje napona između nultog provodnika i uzemljenja. Nivo napona neutralni provodnik-uzemljenje tokom normalnog rada je oko 3 do 5 V, ali u uslovima prekinutog neutralnog provodnika ova vrednost može biti viša.

PRIMER 2: Primer sa prekidom neutralnog provodnika i nesimetričnim opterećenjem (simetrično opterećenje, u dve faze po 150 W i treća faza neopterećena). Šema veze je prikazana na slici 7.



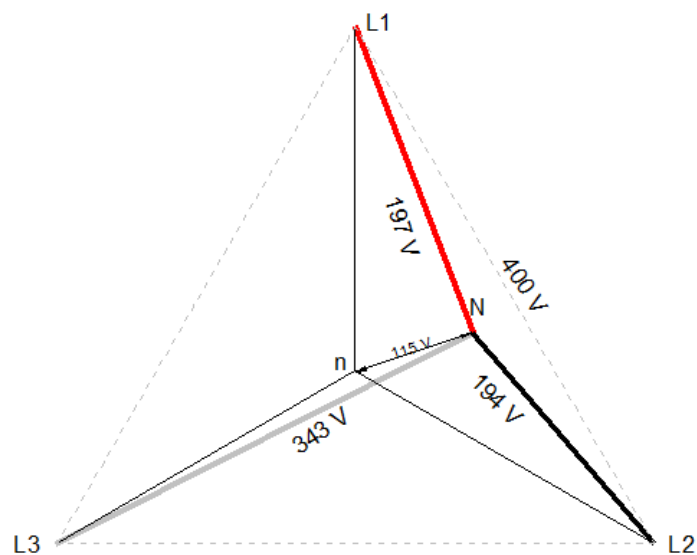
Slika 7. Primer 2 nesimetrično opterećeni prijemnici sa prekidom neutralnog provodnika

Za konkretan primer mereni su naponi u slučaju prekida neutralnog provodnika i dati su u tabeli 2.

Tabela 2. Primer 2 - Fazni naponi, prekid neutralnog provodnika i nesimetričnog opterećenja

Faza	Napon sa neutralnim provodnikom i opterećenjem (V)	Opterećenje u (W)	Fazni naponi bez neutralnog provodnika i sa opterećenjem (V)
$U_A (L1)$	230	150 (Sijalica)	197
$U_B (L2)$	230	150 (Sijalica)	194
$U_C (L3)$	229		343

U ovom slučaju napon između neutralne tačke n i pomerene neutralne tačke N iznosi $U_{nN}=115$ (V)



Slika 8. Vektorski dijagram za nesimetrično opterećenje, sa slike 7, sa prekidom neutralnog provodnika

U idealnim uslovima, sa idealnim generatorima i transformatorskim stanicama, savršeno raspoređenom opterećenju potrošača po fazama, (što nikada nije ostvareno u realnoj mreži), zbir vektora napona sve tri faze, koji su pomereni za 120° , treba da bude jednak nuli.

Sa velikim brojem prijemnika na napojnoj niskonaponskoj mreži, obezbeđuje se približno isto fazno opterećenje, uprkos uključivanju i isključivanju pojedinih potrošača, neutralni pomak je mali.

Kada se prijemnici uključuju i isključuju, provodnost faza I_A , I_B i I_C se proizvoljno menja, što dovodi do promene neutralnog napona U_{nN} , uzrokujući proizvoljne promene napona na fazama opterećenja.

Ogromna većina prijemnika električne energije radi samo na nazivnom naponu napajanja. Zbog toga se veza u zvezdu bez neutralnog provodnika, za neuravnoteženo ili promenljivo opterećenje, praktično ne koristi zbog nemogućnosti obezbeđivanja nazivnog napona napajanja.

Ponašanje mreže u uslovima kvara na neutralnom provodniku značajno varira u zavisnosti od neravnoteže opterećenja između tri faze i veličine opterećenja svake faze.

Međutim, postoje i drugi parametri koji mogu uticati na ponašanje mreže, kao što su lokacija kvara i vrsta povezanih uređaja (jednofazni ili trofazni).

ŠTETE NA PRIJEMNICIMA KUPACA ZBOG PREKIDA NEUTRALNOG PROVODNIKA

U slučaju prekida neutralnog provodnika mnogi električni uređaji, osetljivi na povećanje napona, će "pregoreti". Najčešće će "pregoreti": napajanje za televizore, automatika za gasne kotlove, punjači (za računare, tablete, fiksne i mobilne telefone i svi ispravljači), sijalice, motori na frižiderima i/ili zamrzivačima, itd.

Radi uvida u značaj suzbijanja posledica prekida neutralnog provodnika u trofaznoj četvorožičnoj niskonaponskoj mreži posmatrano je elektrodistributivno područje od oko 300.000 mernih mesta tokom 5 godina uz praćenje pogonskih događaja na niskonaponskoj elektrodistributivnoj mreži i mernim mestima kupaca, koji su za posledicu imali prekid nultog provodnika.

Broj brojila trofaznih priključaka, broj prekida neutralnog provodnika i štete zbog prekida neutralnog provodnika, tokom istog perioda, odnosno otklanjanje direktne štete kod kupaca, kao posledice ovog pogonskog događaja, prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Tabela pregled šteta uzrokovanih prekidom neutralnog provodnika

GODINA	2017	2018	2019	2020	2021
BROJ BROJILA TROFAZNIH PRIKLJUČAKA	247060	250239	254833	258670	268241
BROJ PREKIDA NEUTRALNOG PROVODNIKA DO KUPCA	88	58	74	85	88

ŠTETA OD PREKIDA NEUTRALNOG PROVODNIKA (Dinara)	3.999.140	1.164.563	2.256.593	5.080.933	5.670.153
--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

U tabeli 3 su navedene samo direktno, grubo uočene štete napravljene kod kupaca.

Jako je važno navesti da, pored direktne štete na oštećenju ili pregorevanju prijemnika kupaca, postoji i šteta zbog neisporučene električne energije.

Ako u proseku računamo vreme potrebno da se uništene uređaji poprave, idealno, dva dana i da za to vreme kupac nije imao na raspolaganju ove uređaje, onda je šteta mnogostruko veća.

Stoga je potrebno kreirati dodatne zaštitne uređaje koji bi otkrili i eliminisali posledice prekida neutralnog provodnika u niskonaponskim distributivnim mrežama.

DODATNI ZAŠTITNI UREĐAJI NN PRIJEMNIKA ZA SLUČAJ PREKIDA NEUTRALNOG PROVODNIKA

Jedno od mogućih rešenja je, za najčešće korišćeni sistem razvoda električnih instalacija u elektrodistributivnoj mreži (TN-C-S I TT), iskoristiti postojanje "Residual current device" (RCD) ili FID sklopke.

Zadatak ovakve dodatne zaštite od prekida neutralnog provodnika je, da ako ispred RCD ili FID sklopke dođe do prekida neutralnog provodnika, odmah isključi FID sklopku, koristeći njen princip rada, to jest njen prekidač, i ne dozvoli uključenje FID sklopke dok se kvar ne otkloni.

Na ovaj način se omogućava:

- Veoma velika brzina reagovanja tako da do štete na instalacijama instalacionim uređajima iza FID sklopke ne može doći;
- Jednostavna i brza nadogradnja dodatne zaštite od prekida neutralnog provodnika na sve razvodne table koje već imaju ugrađene FID sklopke;
- Protivpožarna zaštita prijemnika i stana kupaca, koji su vrlo često odsutni iz stana;
- Višestruka korist korisnika zbog povoljnog odnosa cene i vrednosti koju dodatna zaštita štiti.

Uslov za pouzdano delovanje dodatne zaštite FID ili RCD sklopki, a koja će štititi od posledice prekida neutralnog provodnika je:

- da je FID sklopka ispravna,
- da je uzemljenje ispravno i
- da je vezana iza FID sklopke, između sabirnice neutralnog provodnika (N) i sabirnice za uzemljenje (PEN), ka instalaciji.

ZAKLJUČAK

Rezultati istraživanja su više praktičnog nego teorijskog značaja.

Istraživanja su ukazala na štetne posledice prekida neutralnog provodnika u četvorožičnoj trofaznoj niskonaponskoj mreži.

Takođe su ukazala na potrebu zaštite prijemnika kupaca od ovakvog neregularnog rada četvorožične trofazne mreže sa nesimetričnim opterećenjem prijemnika.

Elektroprivredi je ukazano na značaj praćenja realnog kvaliteta električne energije, po standardu EN 50160, kao i šta bi mogli sadržati uslovi za priključenje na niskonaponsku mrežu.

LITERATURA

- [1] D. Čomić: "Kvalitet isporučene električne energije kao zajednički interes Elektrodistribucije i potrošača", Cired-Juko Cired, Herceg Novi, septembar 2000.
- [2] V. Katić, A. Tokić i T. Konjić: Kvalitet Električne energije, COST EFFECTIVE AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY ENERGY SYSTEMS – CEFES, Novi Sad, jun 2007.
- [3] European standard EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, CENELEC TC 8X, 2006.
- [4] SRPS EN 50160:2012.
- [5] Tehnical Journal, Effect of neutral loss in 3-Phase LV networks, novembar 2012, izdavač ABB.