

Goran Šagovac, dipl. ing.  
HEP-ODS d.o.o. Elektra Zagreb  
[goran.sagovac@hep.hr](mailto:goran.sagovac@hep.hr)

## UZEMLJENJE NEUTRALNE TOČKE SN DISTRIBUTIVNIH MREŽA

### SAŽETAK

Uzemljenje neutralne točke SN distributivnih mreža uvijek je aktualno te zahtijeva znatnu pažnju pri izgradnji, održavanju i pogonu distributivnih mreža. Članak će obraditi postojeće stanje kao i preporuke kako graditi i rekonstruirati distributivne mreže u segmentu uzemljenja neutralne točke. U članku će biti i osvrt na odnos nazivne snage transformatora s odabirom načina tretmana neutralne točke.

Sadašnja stanje izvedbe i rekonstrukcija SN distributivnih mreža ide u smjeru sve veće zastupljenosti kableske mreže. Stanje sve veće zastupljenosti kableske mreže zahtijeva i promišljanje o načinu izvedbe uzemljenja neutralne točke kao funkcije zadovoljenja postojećih propisa, sigurnosti vođenje pogona kao i sigurnosti pri pojavi kvarova u SN mreži.

**Ključne riječi:** uzemljenje neutralne točke, SN distributivna mreža

## NEUTRAL POINT EARTHING IN MV DISTRIBUTION NETWORKS

### SUMMARY

Neutral point earthing in MV distribution networks is always an important issue and requires much attention during construction, maintenance and operating distribution network. This paper will elaborate present state as well as recommendations on how to construct and reconstruct distribution networks considering neutral point earthing. It will also give an review of relation between power transformers rating and the way neutral point is earthed.

Today's trend while constructing and reconstructing MV networks is implementing ever more cables in the network. Growing share of cable networks requires consideration of the way the neutral point is being treated in order to ensure that conditions from relevant standards are met, safety while operating as well as safety during faults in MV distribution networks are achieved.

**Key words:** neutral point earthing, MV distribution network

## 1. UVOD

Kvarovi u distribucijskim mrežama su pojave koje se događaju i teško se mogu svesti na relativno zanemariv broj. Oni su uzrokovani električkim i mehaničkim uzrocima. Na mehaničke uzroke kvarova je vrlo teško i skupo utjecati, dok se na električke uzroke mora utjecati radi velikih šteta i opasnosti za ljude i materijalna dobra.

Kada se govori o kvarovima u distribucijskim mrežama, tada se misli na kratke spojeve od kojih su većina jednopolni kvarovi, odnosno kvarovi prema zemlji - zemljospojevi.

Prema statistikama kvarova, većina kvarova u distribucijskim mrežama su zemljospojevi. Njihov udio u ukupnom broju kvarova tipično prelazi 50 %. Prema studijama provedenima u nordijskim zemljama udio takvih zemljospojeva je čak oko 80 %. Prema statistikama vođenima u HEP-ODS-u u Elektri Zagreb udio jednopolnih kvarova (zemljospojeva) kreće se i do 85 %.

Budući da način uzemljenja neutralne točke određuje utjecaje zemljospojeva, pristup uzemljenju neutralne točke srednjenaponske mreže zaslužuje ozbiljno razmatranje.

Mogući utjecaji uzrokovani zemljospojem su:

- opasnost za sigurnost ljudi,
- toplinska naprezanja uslijed struje kvara,
- naponska naprezanja (prolazni i stacionarni prenaponi),
- interferencija s telekomunikacijskim vodovima,
- prekid napajanja.

Idealno rješenje bilo bi da zemljospoj ne izaziva nikakav negativni utjecaj na mrežu, kao što je npr. prekid opskrbe potrošača električnom energijom, ali i da je pri tome rizik za osobe u blizini kvara minimalan.

Kod jednopolnih kvarova su izraženi naponski, ali i strujni poremećaji. Za postizanje smanjenja šteta i opasnosti pri jednopolnim kvarovima pristupa se uzemljenju neutralne točke pojmih transformatora pripadnih mreža. Način uzemljenja neutralne točke utječe na uvjete pogona mreže, stalnost napajanja, kvalitetu isporučene energije, sigurnost ljudi, vrstu i cijenu ugrađene opreme, te izbor konfiguracije mreže, zaštite i automatike.

U srednjenaponskim mrežama je izbor optimalnog načina uzemljenja neutralne točke težak. Potrebno je uvažiti veliki broj čimbenika približno jednakog značaja, koji se ne mogu svi istovremeno zadovoljiti izborom jednog načina uzemljenja. Uštede koje bi se ostvarile snižavanjem izolacijskih razina u mrežama srednjeg napona (10, 20 i 30(35) kV) nisu velike kao u mrežama visokog napona, koje se uglavnom uzemljuju izravno, kako bi se snizila razina izolacije ugrađene opreme. Srednjenaponske mreže često su u blizini telekomunikacijskih vodova, vodovoda, toplovoda, armiranobetonskih konstrukcija te drugih instalacija i objekata. Iz tog razloga treba posebno brinuti o opasnostima i smetnjama koje mogu uzrokovati struje zemljospoja i naponi koje oni induciraju. To ukazuje na potrebu poduzimanja posebnih mjera zaštite i ograničenja struja zemljospoja i njihovog trajanja. U distribucijskim mrežama zbog ekonomskih razloga često nije osigurano redundantno napajanje korisnika u slučaju isključenja vodova zbog kvarova. Osim toga, troškovi otkrivanja i popravka kvarova nisu mali. Iz navedenih razloga se teži smanjenju broja isključenja i kvarova, te uvođenju zaštite i automatike za brzo otkrivanje kvarova. Zbog složenosti i cijene nekih rješenja, koja omogućuju smanjenje broja ispada, i samim time poboljšavaju stalnost napajanja korisnika, često se koriste jednostavnija, pouzdanija i jeftinija rješenja, koja ostvaruju manju stalnost napajanja, ali i lakše upravljanje, nadzor i održavanje mreže.

Ovakvi složeni uvjeti rada distribucijskih mreža mogu se u manjoj ili većoj mjeri zadovoljiti različitim načinima uzemljenja neutralne točke i dodatnim tehničkim rješenjima. Način uzemljenja odabire se prema konkretnim specifičnostima određene mreže kako bi se zadovoljili svi neophodni tehnički kriteriji za normalan i siguran pogon, uzimajući u obzir raspoloživa znanja, tehniku i sredstva. Dobro poznavanje osobitosti svakog od mogućih rješenja znatno olakšava odabir. Međutim, pri odabiru jednog od zadovoljavajućih rješenja često su odlučujući postojeće iskustvo, tradicija i navike. Objektivna procjena svih prednosti i nedostataka pojedinih rješenja dobivena tehno-ekonomskim analizama ukupnih troškova i dobiti tijekom životnog vijeka, također bi trebala biti jedan od odlučujućih čimbenika pri odabiru najpovoljnijeg rješenja.

Cilj ovog rada je prikazati načine uzemljenja neutralne točke te posebice uzemljenje neutralne točke putem prigušnice kao danas prihvatljivim rješenjem.

## 2. ZAKONSKA REGULATIVA

Važeća regulativa koja govori o načinu uzemljenja neutralne točke je „Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV“ [1]. U tom pravilniku se, između ostalog, opisuju načini postupanja s neutralnom točkom. U točki 10. spomenutog pravilnika piše:

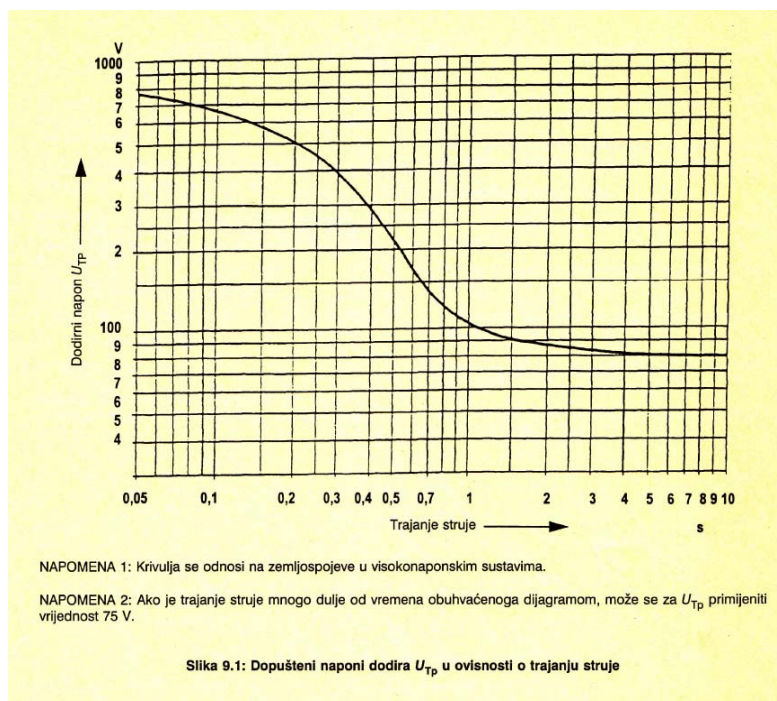
“Članak 10.

(1) Elektroenergetsko postrojenje može se projektirati, izvoditi, biti u pogonu i održavati kao:

- sustav s neuzemljenom (izoliranom) neutralnom točkom,
- sustav s rezonantno uzemljenom neutralnom točkom,
- sustav s neutralnom točkom uzemljenom preko velikog otpora,
- sustav s kruto uzemljenom neutralnom točkom ili neutralnom točkom uzemljenom preko male impedancije.

(2) **Metoda uzemljivanja neutralne točke elektroenergetskog postrojenja odnosno sustava mora biti sukladna odredbama norme HRN HD 637 S1.**”

U pravilniku su navedeni načini izvedbe uzemljenja neutralne točke koji su dozvoljeni, no nije navedeno da je moguća i izvedba kao kombinacija gore navedenog. Dakle, za odabir načina uzemljenja mjerodavna je odredba norme HRN HD 637 S1 [2]. Na slici 1 koja je sastavni dio norme [2], prikazana je ovisnost dopuštenog dodirnog napona  $U_{TP}$  o trajanju kvara.



Slika 1. Dopusćeni naponi dodira  $U_{TP}$  u ovisnosti o trajanju struje kvara

Donošenjem pravilnika [1] više ne važe dosadašnji propisi [4, točka 5.86] za dozvoljene iznose kapacitivnih struja postrojenja po naponskim razinama što je prikazano u tablici I.

Tablica I. Dozvoljeni iznosi kapacitivnih struja po naponskim razinama

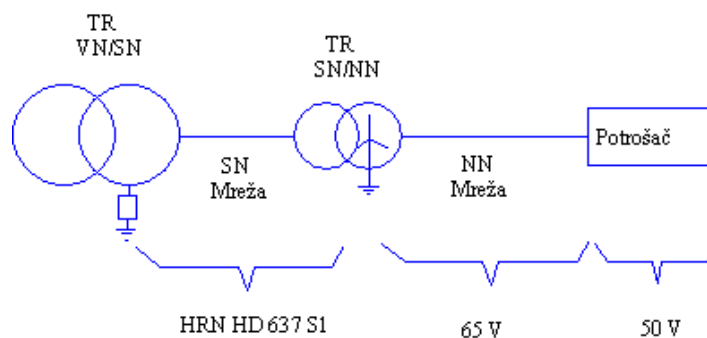
| Nazivni napon mreže<br>[ kV ] | Kapacitivna struja $I_c$ mreže pri<br>zemljospoju [ A ] |
|-------------------------------|---|
| 6                             | 30  |
| 10                            | 20  |
| 20                            | 15  |
| 35                            | 10  |

Kada vrijednost kapacitivne struje  $I_c$  pređe navedene vrijednosti trebalo bi uzemljiti neutralnu točku ili razdvojiti mrežu!

Uzemljivači trebaju biti tako dimenzionirani da pojava napona na njima uslijed jednopolnog kvara bude u propisanim granicama.

Može se reći da je norma HRN HD 637 S1 [2] prihvatljivija za distributere jer prema starim propisima navedene vrijednosti u tablici 1. gotova sva postrojenja bi trebala biti tretirana s uzemljenom neutralnom točkom.

Na slici 2. su prikazani dozvoljeni naponi dodira za distributivno postrojenje od SN do NN strane zaključno s potrošačem.



Slika 2. Dozvoljeni naponi dodira

## 2. IZVEDBA UZEMLJENJA NEUTRALNE TOČKE

U svijetu postoji mnogo načina uzemljenja neutralne točke: od izolirane neutralne točke, preko izravnog uzemljenja, do uzemljenja pomoću stalne impedancije ili promjenljive impedancije.

Različiti načini uzemljenja neutralne točke postoje radi ustupaka između dva glavna i međusobno suprotna zahtjeva:

- smanjivanje amplitude struje zemljospoja, što može uzrokovati teškoće pri otkrivanju kvarova,
- dopuštanje većih amplituda struja zemljospoja, što olakšava otkrivanje kvarova, ali može uzrokovati opasne napone pri odvođenju velikih struja kroz tlo, a smanjuje se i stalnost napajanja.

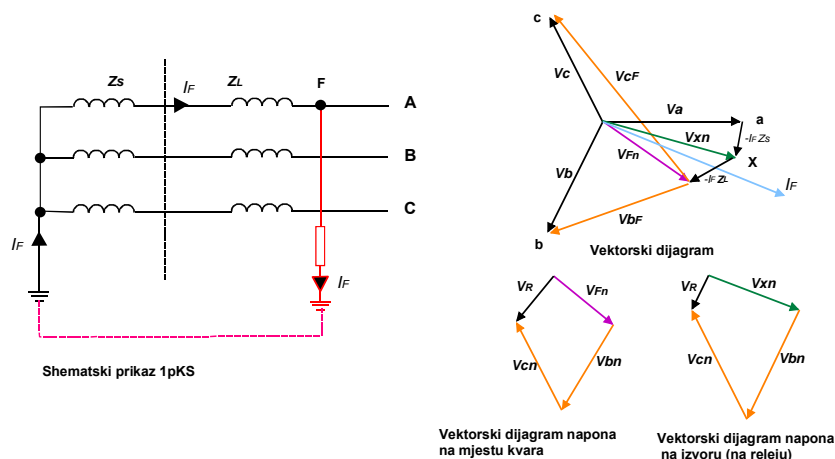
Danas možemo govoriti da odabir uzemljenja neutralne točke ovisi i o osiguranju željene kvalitete električne energije u najširem smislu. U osnovi, ispravan odabir načina uzemljenja ovisi o fizičkim karakteristikama mreže (nadzemna ili kabelska, kratka ili duga), gustoći i prirodi opterećenja, kao i o kvaliteti ugrađenog sustava uzemljenja.

Tehnološki razvoj pridružen pojedinom načinu uzemljenja može biti takav da utječe na izbor. Danas su u Europi zastupljeni svi načini tretiranja neutralne točke od izolirane do kruto uzemljene.

Svaka metoda ima više ili manje mogućnost za razvoj, koji može, do neke mjere, kompenzirati moguće slabe točke. U nastavku će se opisati osnovne značajke vezane za sigurnost i kvalitetu napajanja korisnika, dok se ekonomski pokazatelji neće opisivati.

### 2.1. Kruto uzemljena neutralna točka ili izravno uzemljenje

U ovom slučaju se fazni napon u punom iznosu postavlja na kvar. Nulta impedancija je približno nula i vrlo je mala u odnosu na impedanciju kvara. Prijelazna impedancija na mjestu kvara u pravilu ima radni karakter. Potencijal neutralne točke ostaje praktički jednak potencijalu zemlje, dok se fazni naponi neznatno mijenjaju. Na mjestu kvara se oslobađa veliki iznos energije. Na slici 3 prikazan je shematski 1pKS te pripadajući vektorski dijagram.



Slika 3. Shema i vektorski dijagram pri jednopolnom kratkom spoju

Tehničke granice pogona mreža s izravno uzemljenom neutralnom točkom predstavljaju uvjeti bezopasnosti u sustavu uzemljenja, te magnetski i galvanski utjecaji na telekomunikacijske instalacije. U mrežama koje su u naseljenim područjima teško je zadovoljiti oba spomenuta uvjeta.

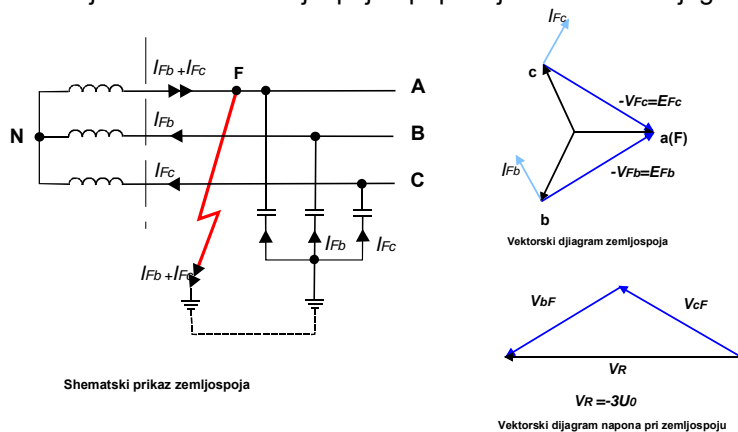
Maksimalni faktor prenapona pri nastanku zemljospoja u pravilu je manji od 2, a faktor stacionarnih prenapona nije veći od  $0,8\sqrt{3} = 1,38$ . [3]

Zbog velike energije koja se oslobađa na mjestu kvara, oštećenja na mjestu 1pKS mogu biti velika.

Pogon i održavanje ovakve mreže su jednostavni. Zaštita je jednostavna i može se izvesti i kao fazna. Zbog velikih struja 1pKS kod izravnih uzemljenja, kao i kod uzemljenja preko male impedancije, uglavnom se upotrebljava termin jednofazni (jednopolni) kratki spoj. Velik broj prolaznih kvarova prelazi u trajne, tako da se uvođenjem APU-a *ne mogu* očekivati znatni pozitivni efekti.

## 2.2. Izolirana neutralna točka

Pogon SN mreža s izoliranom neutralnom točkom koristi se kod nas te u Italiji i Japanu, iako Italija sada prelazi na uzemljenje neutralne točke Petersenovom prigušnicom. U slučaju zemljospoja u ovakvim mrežama samo dozemni kapaciteti omogućuju prolazak struje kroz mjesto kvara. Pri malim vrijednostima otpora na mjestu kvara, napon neutralne točke prema zemlji  $U_N$  je približno jednak faznom naponu, dok naponi zdravih faza dolaze na međufazni (linijski) napon prema zemlji. Otkrivanje kvarova u ovim mrežama je otežano zbog malih struja zemljospoja, ali se iz istog razloga može dopustiti pogon i u slučaju kvara kroz duže vrijeme. Ovaj način uzemljenja neutralne točke prihvatljiv je uglavnom u manjim mrežama, posebno nadzemnim. U mrežama koje imaju kabelske sekcije značajnije duljine, struje injektirane kroz dozemne kapacitete postaju previsoke. Za vrijednosti struja iznad 30 A kontrola prenapona je složenija. Razina izolacije između faza i zemlje mora biti dimenzionirana na razinu linijskog napona. Na slici 4. Prikazan je shematski zemljospoj te pripadajući vektorski dijagram.

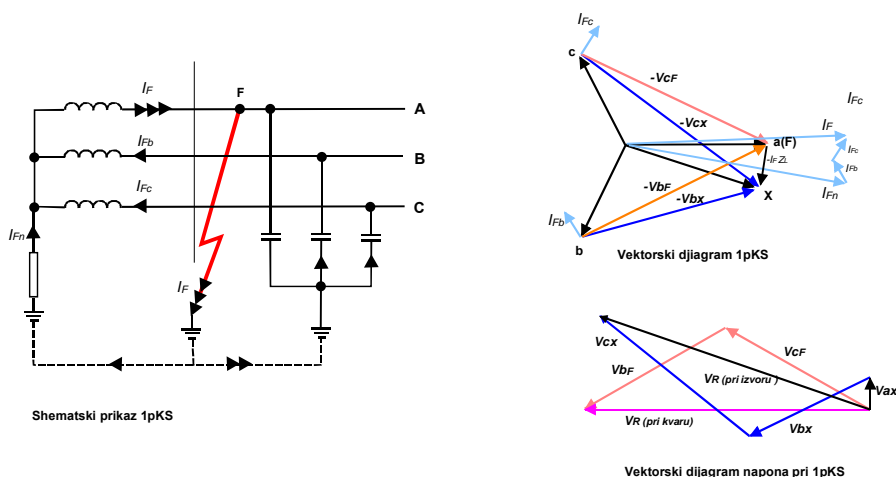


Slika 4. Shema i vektorski dijagram pri zemljospoju

## 2.3. Uzemljenje preko male impedancije

Uzemljenje neutralne točke preko male impedancije, koje se koristi kod nas, u Francuskoj i Španjolskoj, radi se zbog ograničenja struja jednopolnog kvara. Svrha je omogućavanje sigurnog i brzog otkrivanja zemljospoja, ali i ostajanje unutar granica dopuštenih prenapona. Razina izolacije između faza i zemlje mora biti dimenzionirana na razinu linijskog napona.

Zanemarenje dozemnih kapaciteta je uglavnom moguće u ruralnim mrežama (nadmrežne mreže i mreže s većim udjelom nadzemnih sekcija). Kod nas se u takvim mrežama otpor odabire tako da ograničava struju zemljospoja na 150 A. Za gradske mreže se odabire se otpornik za ograničenje struje zemljospoja od 300 A, ukoliko uzemljivački sustavi to dozvoljavaju. U mrežama s većim ukupnim dozemnim kapacitetom, potrebno je osigurati da je radna komponenta struje kvara do 3 puta veća od kapacitivne komponente. Takve mreže su mreže s većim udjelom kabelskih sekcija kakve su uglavnom urbane mreže. Na slici 5. Prikazan je shematski 1pKS te pripadajući vektorski dijagram.



Slika 5. Shema i vektorski dijagram pri jednopolnom kratkom spoju

Maksimalni faktor prenapona ovisi o usvojenoj impedanciji i karakterističnim parametrima mreže i u praksi je između 1,7 i 2,5. Faktor stacionarnog prenapona u mrežama uzemljenima preko otpornika može biti do 1,73.

Stalnost isporuke manja je nego kod izoliranih ili kompenziranih mreža, jer se isključuju i prolazni kvarovi, pa su i štete uslijed neisporučene energije i prekida napajanja veće. Ove nepoželjne pojave umanjuju se primjenom APU-a posebno u zračnim mrežama koje imaju veliki postotak prolaznih jednopolnih kvarova u odnosu na ostale kvarove. Uz APU u nekim zemljama se primjenjuju i druga rješenja. To su npr. poprečni (eng. shunt) prekidači koji pri nastanku zemljospoja, a prije prorade prekidača izvoda u kvaru, na kratko uzemljuju sabirnicu faze u kvaru, i linijski prekidači, koji se nalaze na vodu, i pri zemljospoju isključuju samo dio voda, ako je kvar iza njih.

## 2.4. Uzemljenje preko kompenzacijske zavojnice ili rezonantno uzemljenje

Uzemljenje neutralne točke preko kompenzacijske zavojnice koristi se kod nas te u Njemačkoj, Austriji, zemljama sjeverne i istočne Europe. Cilj je odabrati reaktanciju zavojnice  $jX_N = j\omega L_N$  tako da

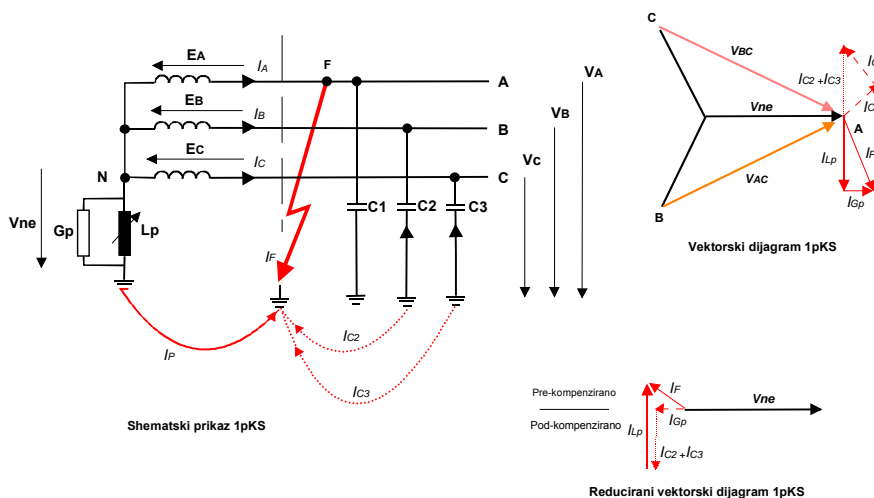
ona "kompenzira" reaktanciju  $-jX_c = \frac{1}{3\omega C_z}$ , koja je posljedica ukupnog dozemnog kapaciteta. U ovom

slučaju je reaktivni dio nulte impedancije jednak  $j(X_N - X_c)$ . U literaturi se osim izraza kompenzacijska zavojnica koriste još i nazivi: zavojnica za samogašenje luka, neutralizator zemljospoja i Petersenova prigušnica, nazvana po W. Petersenu, koji ju je izumio 1916. godine.

U slučaju potpune kompenzacije kaže se da je mreža podešena i struja je posljedica samo radnih gubitaka u zavojnici i odvodu mreže prema zemlji, koje se najčešće mogu zanemariti.

Reaktancija  $X_c$  se mijenja svakom promjenom konfiguracije mreže. Prema tome, za održavanje ispravnog podešenja nužno je mijenjati i reaktanciju zavojnice.

Potrebna razina naponske izolacije u mrežama uzemljenim preko kompenzacijske zavojnice je visine međufaznog (linijskog) napona. Prenaponi se dobro kontroliraju ako je odstupanje od podešenja malo, što često zahtijeva automatsko podešavanje. Sustav automatskog podešavanja omogućava stalno prilagođavanje. Na slici 6. Prikazan je shematski zemljospoj te pripadajući vektorski dijagram.



Slika 6. Shema vektorski dijagram pri jednopolnom kratkom spoju

Otkrivanje zemljospojeva je teže jer se ne može izvesti samo na kriteriju mjerenja nulte struje. Pri zemljospoju svaki vod vodi kapacitivnu struju proporcionalnu vlastitom dozemnom kapacitetu. Vod u kvaru vodi radnu komponentu struje kvara i ukupnu reaktivnu struju, koja je razlika induktivne struje zavojnice i kumulativne sume kapacitivnih struja svih vodova. Pri ovakvim uvjetima, vod u kvaru ne mora nužno voditi najveću nultu struju. Zbog toga se otkrivanje mora zasnivati na činjenici da samo vod u kvaru, ako se zanemare odvodnosti prema zemlji što je uglavnom opravdano, vodi nultu struju koja ima radnu komponentu i koja je u fazi s nultim naponom (watmetarski kriterij).

Stalnost napajanja kod ovakvog načina uzemljenja je jako dobra jer omogućava samogašenje zemljospojeva i pogon mreže i uz prisutnost zemljospoja u onoj mjeri u kojoj to propisi pojedinih zemlja dopuštaju.

Ograničenje za primjenu ovakvog načina uzemljenja može predstavljati vjerojatnost pojave dvostrukih zemljospojeva.

Faktori prenapona pri zemljospojevima su nešto manji ili isti kao i kod izoliranih mreža. Opasnost od većih prenapona postoji pri isključivanju zemljospojeva u mrežama s većim nesimetrijama i pri drugim sklopnim operacijama, ako se ove radnje događaju pri nepovoljnim konfiguracijama mreže.

Utjecaji na telekomunikacijske vodove uslijed magnetske indukcije i struja kroz zemlju su zanemarivi.

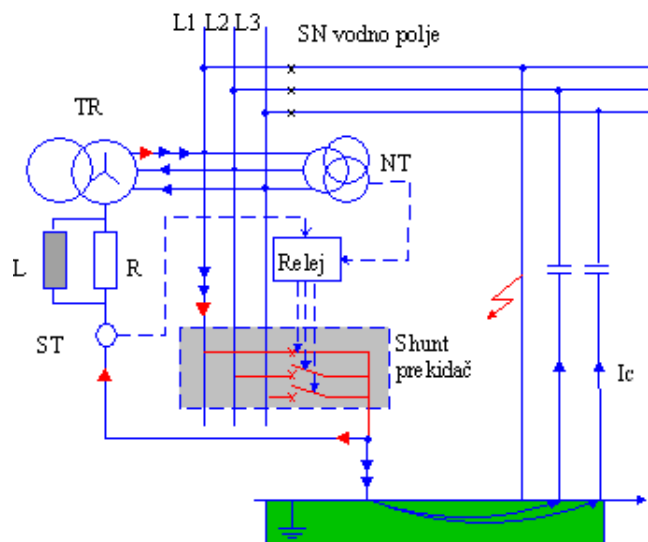
## 2.5. Rješenje sa shunt prekidačem

Rješenje sa shunt prekidačem je inačica postojećih načina uzemljenja neutralne točke, ali s primjenom poprečnog prekidača. Takvo rješenje ima raznih varijacija no osnovni princip je osigurati uvjete za samogašenje jednopolnog kvara. Tri jednopolna prekidača upravljaju se automatikom za detekciju faze u kvaru, te kratko spajaju fazu u kvaru, i na taj način ostvaruju stanje da se eventualni kvar ugasi, pa njegovim isključenjem imamo normalno stanje pogona.

Osnovni kriteriji za upotrebu shunt prekidača kao rješenja za uzemljenje neutralne točke trebali bi biti:

- prisutnost prolaznih kvarova u pripadnoj SN mreži,
- u mješovitoj mreži izolacijska razina kablenskog dijela mora biti zadovoljavajuća,
- neutralna točka SN mreže uzemljena preko otpornika ili djelomično kompenzirana,
- viši zahtjevi za kvalitetom opskrbe električnom energijom.





Slika 7. Shema izvedbe sa shunt prekidačem

Rješenje sa shunt prekidačem je naizgled vrlo dobro, no dosta korisnika tih sustava odustaje od takve izvedbe uzemljenja neutralne točke iz autoru nepoznatih razloga. U HEP-ODS-u ovakvo rješenje koristi DP Elektroprimorje Rijeka te su sa njime zadovoljni.

U Irskoj koriste rješenje uzemljenja neutralne točke preko rezonantne prigušnice i shunt prekidača koji uzemljuje fazu u kvaru preko otpornika. Primijenjeno rješenje po izjavama korisnika je vrlo dobro, a koeficijenti koji pokazuju stalnost isporuke su poboljšani.

Kod ovakvih rješenja s jednopolnim manipulacijama prekidača dolazimo do rješenja koje bi podržavalo jednopolni isključivanje faze voda u kvaru. To rješenje je danas tehnički izvedivo no posljedice takvih manevara bi trebalo podrobnije proanalizirati te provjeriti i ispitati u živom pogonu.

### 3. ZNAČAJKE NAČINA UZEMLJENJA NEUTRALNE TOČKE

Bitne značajke načina uzemljenja neutralne točke su ovisne o karakteru mreže te o nakani za postizanje određenih ciljeva pri pogonu SN mreže. Kako u HEP-ODS-u ne postoji decidirano tehničko rješenje izvedbe načina uzemljenja neutralne točke, nužno je istaknuti zahtjeve koji trebaju biti ispunjeni:

- smanjenje unutarnjih prenapona,
- povećanje sigurnosti pogona,
- povećanje kvalitete električne energije,
- pridržavanje regulative.

Naravno, odluka može biti samo pridržavanje regulative, no to u sadašnje vrijeme otvorenog tržišta i pridržavanja europskih normi neće biti dovoljno. Pitanje tretiranja neutralne točke je izuzetno važno i treba mu pristupiti s velikom pažnjom i odgovornošću.

Ono što danas postoji u hrvatskoj distributivnoj mreži je:

- izolirana neutralna točka – ima za posljedicu „visok“ unutarnji prenapon;
- uzemljenje preko otpornika – velika struja 1pKS, „mali“ unutarnji prenapon;
- uzemljenje preko prigušnice – mala struja 1pKS, „srednji“ unutarnji prenapon;
- neko drugo rješenje – neke druge vrijednosti.

Za buduće planiranje SN mreža treba voditi računa o sljedećim aspektima načina uzemljenja neutralne točke: ograničenje veličine SN mreže i kvaliteta električne energije.

Ograničenje veličine SN mreže s aspekta uzemljenja neutralne točke je izuzetno važno. Današnje mreže su dominantno zastupljene kabelskom mrežom što za uzemljenje neutralne točke predstavlja velik problem, a i neka ograničenja. Preporuka je da pojna točka ne smije imati više od 650 A kapacitivnog doprinosa mreže. Ova preporuka je donesena u Njemačkoj, pa ju treba respektirati.



Na žalost, kod nas postoje mreže s bitno većom kapacitivnom strujom (850 A) s tendencijom rasta. To je posljedica, između ostalog, i slabe investicijske aktivnosti. Osim za aspekt uzemljenja neutralne točke, ovaj fenomen rasta mreža vezan je i za samu pouzdanost mreže. Jedan od načina na koji bi se ova pojava mogla reducirati je i promjena nazivnih snaga transformatora na maksimalnu vrijednost od 40 MVA (danas 63 MVA).

Kvaliteta električne energije je danas normirana i potrebno ju je držati u zadanim parametrima. Stalnost opskrbe je preduvjet za dobro vođenje SN mreže, kako iz komercijalnih, tako i iz tehničkih razloga. Buduće penaliziranje nepridržavanja zadanih parametara kvalitete biti će važan čimbenik pri odabiru načina uzemljenja neutralne točke.

U današnjim novim mrežama prevladava direktna transformacija 110/10(20) kV u kojima se većinom susrećemo s uzemljenjem neutralne točke preko otpornika ili preko prigušnice (rezonantne).

Za takve mreže uzemljene preko otpornika može se reći da imaju sljedeće karakteristike:

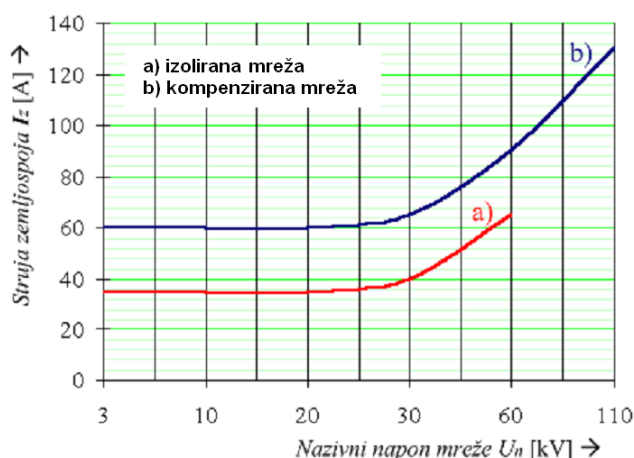
- visoka struja kvara,
- smanjen nivo prenapona,
- slabo samogašenje kvara,
- jednostavna manipulacija,
- jednostavna zaštita,
- velik broj ispada,
- značajna ne isporuka električne energije (smanjenje PQ).

Mreže uzemljene preko rezonantne prigušnice imaju karakteristike:

- mala struja kvara,
- dobro samogašenje kvara,
- smanjenje broja ispada,
- smanjenje naprezanje uzemljivača,
- povećanje sigurnosti ljudi i reduciranje štete,
- zahtjevniji uvjeti na zaštitu,
- značajno povećanje PQ.

Iz navedenog se vidi da je uzemljenje izvedeno preko prigušnice tehnički bolje rješenje. Takvo rješenje je bolje i iz razloga statističkih pokazatelja. Većina kvarova u SN mreži je jednopolnog karaktera (oko 85 %) od toga oko 80 % čine potencijalno prolazni kvarovi.

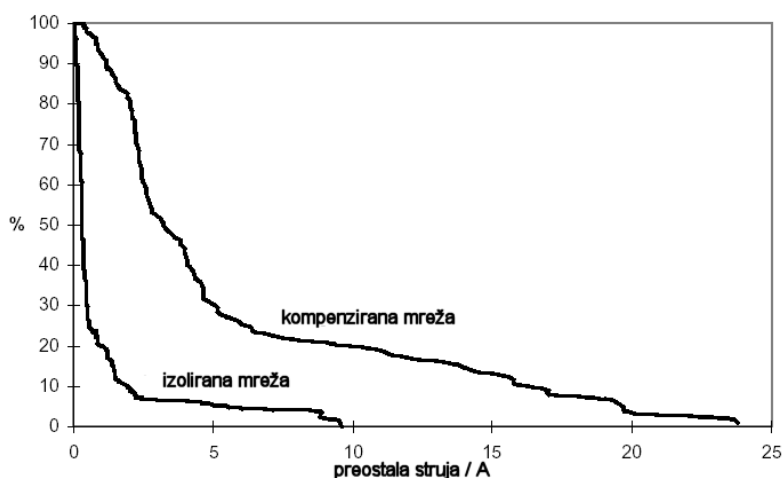
Potencijalno prolazni kvarovi imaju mogućnost samogašenja ukoliko im se osiguraju uvjeti. Vjerojatnost samogašenja je u direktnoj ovisnosti o visini struje jednopolnog kvara, pa se kaže da se uz manju struju jednopolnog kvara mogućnost samogašenja povećava. Tako je norma DIN VDE 028 dala dijagram prikazan na slici 8. iz kojeg je su vidljive vrijednosti za samogašenje kvara.



Slika 8. Maksimalne vrijednosti struja jednopolnog kvara pri kojima je još moguće samogašenje prema DIN VDE 028

Iskustva u korištenju i obavljenim primarnim probama ukazuju da su vrijednosti dane u normi DIN VDE 028 znatno veće nego što su naša iskustva.

Na slici 9. dan prikaz izmjerenih vrijednosti samogašućih kvarova u kumulativnom obliku, koje su prikupljene na temelju mjerenja stvarnih zemljospojeva u distributivnoj mreži Finske [3].



Slika 9. Kumulativan prikaz vrijednosti struja jednopolnih kvarova u distributivnoj mreži Finske

Vrijednosti sa slike 9. u velikoj mjeri odgovaraju iskustvima iz Elektre Zagreb. Iz gornjih podataka se može sa sigurnošću reći da je vjerojatnost za samogašenje to veća što je struja jednopolnog kvara manja. Također se iz obje slike vidi da je struja jednopolnog kvara za koju je moguće samogašenje za neuzemljene mreže manja, što je otežavajuća okolnost, jer ona direktno ovisi o kapacitetu mreže.

#### 4. ZAKLJUČAK

Način uzemljenja neutralne točke srednjenaponskih mreža značajno utječe na prilike u mreži tijekom zemljospoja, kao i na sigurnost ljudi, te kvalitetu napajanja korisnika. Stoga izbor načina uzemljenja neutralne točke zahtijeva ozbiljno razmatranje. Ova tvrdnja dobiva na značaju ako se u obzir uzme činjenica da je udio zemljospojeva u ukupnom broju kvarova u mreži tipično puno veći od 50 %.

Porastom ukupnih duljina mreža i sve većim udjelom kabela, struje zemljospojeva postaju sve veće te ne zadovoljavaju ni novije, znatno blaže, norme o dopuštenim porastima potencijala uzemljivača i naponima dodira. Također, zahtjevi za povećanom kvalitetom napajanja su sve veći.

Problemi s previsokim porastima potencijala uzemljivača mogu se rješavati smanjivanjem otpora uzemljenja i razdvajanjem zaštitnog srednjenaponskog i pogonskog niskonaponskog uzemljenja, ali su ta djelovanja skupa, djelomično efikasna i nisu uvijek provediva. Osim toga, smanjivanjem otpora uzemljenja ne rješavaju se problemi vezani uz kvalitetu napajanja. Smanjivanje struje zemljospoja ugradnjom kompenzacijske prigušnice između neutralne točke i zemlje je rješenje koje zadovoljava oba navedena problema. Iskustva s rezonantnim uzemljenjem u zemljama u kojima se donedavno nije koristio ovaj način uzemljenja neutralne točke potvrđuju ovu tvrdnju.

Kod razmatranja načina uzemljenja neutralne točke moramo se rukovoditi kriterijima kao što su:

- sigurnost ljudi i materijalnih sredstava,
- zakonska regulativa,
- kvaliteta električne energije,
- ekonomska opravdanost,
- iskustva ostalih.

Koji je kriterij najvažniji teško je reći, no najbolji je pristup podjednako uvažavati sve kriterije s iznimkom da kriterij sigurnosti ljudi i materijalnih sredstava ima apsolutnu prednost. Sigurnost ljudi i materijalnih sredstava **mora** biti ostvarena, jer bez tog uvjeta tehničko rješenje cijele mreže gubi smisao.

Zakonska regulativa je tu da nam pomogne usuglasiti tehnička rješenja. Kako se mijenja i napreduje distributivna mreža, tako se očekuje da i zakonska regulativa prati sva tehnička dostignuća i mogućnosti novih tehnologija.

Da bi se ispravno ocijenilo neko tehničko rješenje, trebalo bi vidjeti koje su uzročno-posljedične veze s kvalitetom električne energije. Stalnost isporuke električne energije je jedan od ključnih zahtjeva. Način uzemljenja neutralne točke je vrlo važan faktor ostvarenja kvalitete na zahtijevanom nivou. Danas se u Europi distributeri moraju pridržavati nekih unaprijed definiranih zahtjeva na kvalitetu isporučene energije.

Isplativost pojedinog tehničkog rješenja treba biti osnovna ideja kod promišljanja i ostvarenje pojedinih projekata. Naravno, tako da se poštuje ekonomska isplativost u tehnički korektnom rješenju, a ne smanjenje troškova na štetu svih ostalih kriterija, a naročito ne radi lošije eksploatacije postrojenja i ugrožavanja života i zdravlja operativnog osoblja. Kada se govori o ekonomskoj isplativosti primjene rezonantnog uzemljenja, mora se napomenuti da su cijene ugradnje rezonantnog uzemljenja još uvijek dosta veće od ugradnje maloomskog uzemljenja i posebno od ostavljanja neutralne točke izolirane. Sama kompenzacijska prigušnica je skuplja od maloomskog otpornika, a potrebna je i elektronika za upravljanje prigušnicom, te najčešće i dodatna zemljospojna zaštita. Stoga se prilikom ovakvog načina uzemljenja moraju znati razlozi primjene i očekivani rezultati te njihova ekonomska valorizacija.

Da bi se donosila tehnička rješenja o načinu uzemljenja neutralne točke dobro je imati kriterije po kojim se inicijalno može odabrati kvalitetno rješenje. Stoga, na temelju iskustava distributera širom Europe, a i slijedom osobnog promišljanja možemo donijeti preporuke, koje će sugerirati kako da se tretira neutralna točka prema iznosu kapacitivnih struja pojedinih distributivnih mreža. Tablica II je rezultat stranih i osobnih iskustava a dogradnja shunt prekidača, kod izvedbi uzemljenja neutralne točke, je dodatno poboljšanje ukoliko je prihvatljivo od strane distributera.

Tablica II. Kriterij za odabir načina uzemljenja neutralne točke.

| Način uzemljenja             | Kapacitivna struja mreže (A) |           |
|------------------------------|------------------------------|-----------|
|                              | Un=10 kV                     | Un=20 kV  |
| mali otpor                   | 0 - 45                       | 0 – 60    |
| fiksna prigušnica            | 45 - 150                     | 60 – 200  |
| podesiva prigušnica          | 75 - 225                     | 100 – 300 |
| podesiva + fiksna prigušnica | > 225                        | >300      |

Svakako da su vrijednosti u tablici II. podložne kritičkom osvrtu, no ipak ih treba respektabilno tretirati.

Statistika ispada vodova je ključni pokazatelj kako treba uzemljiti neutralnu točku. Ukoliko u nekoj distributivnoj mreži postoji velik broj jednopolnih kvarova, a od tih kvarova velik broj je prolaznog karaktera, tada je trenutak za angažman oko sređivanja mreže. Prvo treba riješiti eventualne evidentna slaba mjesta na mreži (raslinje, male životinje, ptice, odvodnici prenapona i općenito koordinacija izolacije). Nakon uređenja evidentnih slabih mjesta mreže treba promijeniti način uzemljenja neutralne točke.

Pri donošenju odluka o načinu uzemljenja neutralne točke dobro je uočiti što se radi u zemljama okruženja, te usporedbenom metodom prihvatiti odgovarajuće. Sukladno s time je izrađena tablica III. iz koje se vide vrlo korisne i poučne stvari.

Tablica III. Usporedba primijenjenih metoda uzemljenja neutralne točke u distributivnim mrežama

|  | Izolirano  | Kruto<br>(združeno)                         | Kruto<br>(razdvojeno)                        | Preko male<br>impedancije | Rezonantno  |
|--|--|---|--|---------------------------|---|
| zemlje koje ga<br>primjenjuju              | Italija, Japan,<br>Irska, Rusija,<br>Peru,<br>Španjolska | Velika Britanija                            | SAD, Kanada,<br>Australija, Južna<br>Amerika | Francuska,<br>Španjolska  | Sjeverna i<br>istočna Europa,<br>Italija, Kina,<br>Izrael |
| dopušten<br>priključak tereta              | međufazno  | međufazno (3<br>žice) ili fazno<br>(4 žice) | međufazno i<br>fazno                         | međufazno                 | međufazno   |
| zahtijevani<br>izolacijski nivo            | međufazno  | fazno                                       | fazno  | fazno                     | međufazno   |
| ograničenje<br>prolaznih<br>prenapona      | loše   | dobro                                       | dobro  | dobro                     | prosječno   |
| moгуće operacije<br>tijekom<br>zemljospoja | ne uvijek  | ne  | ne   | ne                        | skoro uvijek  |
| samogašenje<br>zemljospoja                 | ne uvijek  | ne  | ne   | ne                        | skoro uvijek  |
| ljudska sigurnost                          | srednja  | dobra                                       | loša   | dobra                     | dobra   |
| termičko<br>opterećenje<br>opreme          | nisko  | visoko                                      | visoko                                       | visoko                    | najniže   |
| smetanje telekom.<br>linijama              | srednje  | visoko                                      | visoko                                       | visoko                    | najniže   |
| osjetljivost<br>zemljospojne<br>zaštite    | srednje  | dobro                                       | loše   | dobro                     | srednje   |

Ova tablica pokazuje da je tehnički najbolje rješenje rezonantna prigušnica.

Dosadašnja iskustva s primjenom Petersenove prigušnice su vrlo dobra. Prigušnica, kao postrojenje preko kojeg je uzemljena neutralna točka, ugrađena je na području Rijeke, te rezonantna prigušnica na području Zagreba, Splita, Zaboka i drugdje.

Najbolji efekti se mogu očekivati na 110/10(20) kV transformatorskim stanicama s razgranatom mrežom miješanog karaktera.

Prije postupka ugradnje novog tehničkog rješenja za uzemljenje neutralne točke, potrebno je napraviti odgovarajuću pripremu. To znači napraviti stručnu analizu priključene mreže, odgovarajuće proračune te dobivene rezultate provjeriti ispitivanjem i mjerenjem. Ovakav pristup tretmanu uzemljenja neutralne točke osigurati će kvalitetniji pogon i kvalitetniju isporuku električne energije.

## 6. LITERATURA

- [1] „Pravilnik o tehničkim zahtjevima za elektroenergetska postrojenja nazivnih izmjeničnih napona iznad 1 kV“, 2010. g.
- [2] „HRN HD 637 S1“
- [3] „Tipizacija rješenja za provedbu uzemljenja neutralne točke mreže srednjeg napona“, I.G.Kuliš 2010.g.
- [4] Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (sl.l. 019/1968)