

SISTEM UZEMLJENJA U USLOVIMA EFIKASNOG TRETIRANJA NEUTRALNE TAČKE

GROUNDING PLANT IN CONDITIONS OF EFFECTIVELY TREATED NEUTRAL POINT

Z. Salkić, JP Elektroprivreda BiH, Elektrodistribucija Tuzla
S. Salkić, Elektroprenos BiH, Operativno područje Tuzla
H. Salkić, JP Elektroprivreda BiH, Elektrodistribucija Tuzla

Abstract: In this paper has been analysed grounding plant middling voltage electroenergetics networks with effectively treated neutral point, in conditions high specific ground resistivity. The way of grounding have influence on network work conditions, character and price build equipment, choice of network form, protection and automatic, value of current and tension in different damages caused of followed by contact phase transmitter with ground or grounded parts. Appearance in such damages must be estimated in projecting construction and exploitation of networks, and they have big influence on comitment of neutral point grounding plant way.

1. UVOD

Način uzemljenja neutralne tačke mreže utiče na uslove rada mreže, vrstu i cijenu ugrađene opreme, izbor oblika mreže, zaštite i automatike, na vrijednost struja i napona kod različitih kvarova prouzrokovanih ili praćenih kontaktom faznih provodnika sa zemljom ili uzemljenim dijelovima. Pojave pri ovakvim kvarovima–zemljospojevima moraju se uvažavati pri projektovanju, izgradnji i eksploataciji mreže i bitno utiču i kod opredjeljenja za način uzemljenja neutralne tačke.

U ovom radu je analiziran način tretiranja neutralne tačke s aspekta tehno-ekonomske prihvatljivosti uzemljivačkog sistema u uslovima koje nameće teren sa velikim specifičnim otporom tla, kao i uticaj koji on ima na koncepciju projektovanja, izgradnje, pogona i održavanja mreže, s obzirom na to da su u njihov uzemljivački sistem, pored uzemljivačkih instalacija pojedinih objekata, aktivno uključeni ekrani i zaštitne armature podzemnih vodova, zaštitni vodiči nadzemnih vodova te nadstrujni releji. Ova analiza ograničena je na sistem uzemljenja podzemno-nadzemnih SN-mreža sa nadzemnim NN-mrežama u kojima se kao zaštitna mjera od opasnog napona dodira, gotovo isključivo, primjenjuje nulovanje.

Pod velikim specifičnim otporom tla obično se podrazumijeva otpor čija vrijednost prelazi vrijednost 500 Ω m, ali u nepovoljnim okolnostima i manji specifični otpori tla mogu se smatrati velikim. Kod mreža visokih napona (110 kV i više) radi režima rada i svojih karakteristika neutralna tačka je, po pravilu, direktno (efikasno) uzemljena. U niskonaponskim (0,4 kV) distributivnim mrežama neutralna tačka je takođe zbog sigurnosti i drugih pogonskih razloga direktno (efikasno) uzemljena.

Kod sredjenaponskih (distributivnih) mreža uslovi za izbor načina uzemljenja neutralne tačke su složeniji. Naime, ovdje se susrećemo sa velikim brojem različitih faktora približno jednake važnosti koje je nemoguće zadovoljiti ni u jednom od mogućih rješenja (izolacioni nivo, blizina drugih instalacija kao što su vodovod, toplovod, PTT vodovi, konstrukcije zgrada, napon dodira, rezervno napajanje i sl.). Način uzemljenja bira se prema konkretnim specifičnostima određene mreže, a u cilju

zadovoljavanja svih neophodnih kriterija za normalan rad i bezbjedan pogon. Analiza svih mana i prednosti pojedinih rješenja, preko ukupnih troškova u toku eksploatacije, uz istovremeno sagledavanje šteta usljed poremećaja u isporuci električne energije, sigurno da pomaže u izboru najpovoljnijeg rješenja.

Karakteristično za zemljospoj u izoliranoj mreži je da je praćen je velikim strujama kvara koje su ovisne od konfiguracije i veličine mreže, da prelaze teoretske granice gašenja luka tako da se luk ne gasi sam, pojavom prenapona u zdravim fazama i opasnošću povećanja napona zbog intermitirajućih zemljospojeva. Posljedice po ugrađenu opremu se ogledaju u probodu prenaponskih odvodnika, opterećenju kablovske izolacije, opterećenju izolacije naponskih i strujnih transformatora itd.

Preporučuje se da srednjenaponske mreže (SN-mreže), čija struja pražnjenja dozemnih kapaciteta prelazi vrijednost koja garantuje sigurno samogašenje luka na mjestu prolaznih zemnih spojeva, pređu na pogon sa efikasno tretiranom neutralnom tačkom putem maloomskog otpornika za ograničenje struje jednofaznog kratkog spoja (1pKs). Pod efikasnim tretiranjem neutralne tačke u smislu redukcije amplitude unutrašnjih prenapona, podrazumijeva se da iznos ograničene struje 1pKs nije manji od trostrukog iznosa struje pražnjenja dozemnih kapaciteta. Pri tome se predlažu, zavisno od strukture mreže, standardna ograničenja struje 1pKs na iznos od 300 A, odnosno 150 A.

2. OPŠTA RAZMATRANJA

Proboj izolacije jednog od provodnika prema uzemljenim dijelovima je najčešći kvar u trofaznim mrežama i postrojenjima svih naponskih nivoa. U distributivnim elektroenergetskim mrežama zemljospojevi čine 70-80% svih kvarova na linijama, od kojih je 60-70% prolaznih ili intermitiranih.

Distributivne srednjonaponske mreže rade u režimu izolirane neutralne tačke (NT). Zakonska regulativa u mnogim zemljama, pa i kod nas (Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja iz 1969) dopušta rad sa izoliranom neutralnom tačkom, ako kapacitivne struje zemljospoja ne prelaze vrijednost 20A za 6 kV, 15 A za 10 kV i 10 A za 35 kV naponski nivo. Kako je od ranije poznato, u izoliranim srednjenaponskim mrežama sa manjim jačinama struje zemljospoja, može doći do višestrukog uzastopnog paljenja i gašenja električnog luka na mjestu kvara. To dovodi do znatnih prenapona, kako na ispravnim fazama, isto tako i na fazi pogođenoj kvarom. Ovi prenaponi su reda $(2,6-3,5)\sqrt{2}U_{nf}$, a posljedica su superpozicije naizmjeničnih komponenti napona normalne pogonske i povišenih učestanosti i jednosmjernje komponente zaostale (zapamćene na kapacitetu) od predhodnog gašenja električnog luka, što se ima pri isključivanju jednofaznih zemljospojeva, naročito ako prekidač relativno sporo uspostavlja dielektričnu čvrstoću. Prevazilaženjem limitiranih ili prirodnih vrijednosti struja jednofaznog zemljospoja izoliranog sistema, neminovan je prelaz na jedan od načina uzemljavanja neutralne tačke.

Kriteriji za napuštanje pogona sa izoliranom neutralnom tačkom, tradicionalno su bile jačine struja samogašenja električnog luka. Ako je struja jednofaznog zemljospoja veća od tih graničnih vrijednosti, može se očekivati prelazak jednofaznog zemljospoja u složeniji kvar. Naročito je opasna pojava dvostrukog zemljospoja, koji može biti praćen vrlo velikim strujama reda $(0,8-0,9)I_{3ks}$, i koji izazivaju pojavu opasnih napona na uzemljenjima distributivnih objekata, naročito na mjestu zemljospoja. Pri tome se ovi prenaponi mogu prenijeti na niskonaponsku mrežu kao i na druge instalacije koje su u blizini ili učestvuju u konturi kojom se zatvara struja dvostrukog zemljospoja. Pored toga, ove struje toplotno opterećuju uzemljivač i plašteve kablova distributivnih mreža. Pomenuti kvarovi su naročito nepoželjni u gradskim mrežama gdje je skoro nemoguće razdvojiti zaštitno uzemljenje TS SN/NN od radnog uzemljenja pripadajuće mreže niskog napona.

Rad mreže uzemljene preko otpora za ograničavanje struje jednofaznog kratkog spoja, ima manji nivo prenapona, ali se javlja problem identificiranja visokoomskih kvarova, zbog čega se rješenju zaštite samog otpornika ugrađenog u NT posvećuje velika pažnja.

Uzemljavanjem neutralne tačke preko male impedanse zbog povećane struje kvara, električni luk na mjestu jednofaznog zemljospoja je stabilan, tako da ne može doći do intermitiranih prenapona, kao ni do opasnih prenapona koji su evidentni kod izolovanih i kompenzovanih mreža. Bitan uticaj na visinu prenapona ima izabrana vrijednost otpora za uzemljenje neutralne tačke. Njegovim pravilnim izborom, faktor prenapona se može držati u granicama $(1,8-2,3)U_{nf}$.

Naši standardi predviđaju izolacione nivoe mreže određenog naponskog nivoa i definiraju izdržljivost opreme preko jednominutnog podnosivog napona 50 Hz prema zemlji. Ove granice, obzirom na prelazne prenapone, mogu poslužiti kao orijentacija dozvoljenih prenapona jer su učestanosti prelaznih prenapona mnogo veće. Pri tome treba imati u vidu da su razne izolacione konstrukcije opreme različito osjetljive na brzinu promjene i dužinu trajanja prenapona.

Pri izboru ventilskih odvodnika prenapona, pored ovih pojava, treba voditi računa i o naponu gašenja odvodnika kako se on sam ne bi toplotno razorio. Iako je napon reagiranja odvodnika nešto viši od realno očekivanih prenapona pri zemljospojevima, zabilježeno je njihovo često djelovanje, što nije poželjno, naročito ako nastupa sa višestrukim uzastopnim ponavljanjem. Navedeni aspekti, neovisno

o tome kakav je tretman neutralne tačke, kazuju da je zemljospoj opasan i veoma neugodan kvar. Za osiguranje pouzdanog i kvalitetnog napajanja distributivnog konzuma i sprečavanja opasnog uticaja na druge instalacije, kao i na elemente prenosnog sistema (naponsko i strujno naprezanje), potrebno je:

- detaljno analizirati postojeću mrežu srednjeg napona 35 kV i 10 kV,
- izvršiti snimanje i registraciju podataka u svrhu izrade modela i utvrđivanja kriterija za tretman neutralne tačke galvanski vezane mreže
- analizirati postojeća uzemljenja distributivnih transformatorskih stanica i objekata
- izanalizirati energetske transformatore, kablovsku i zračnu mrežu te odrediti reaktanse X_0 , X_1 i X_2
- postaviti zahtjeve za strujne i naponske mjerne transformatore i sekundarno ožičenje
- analizirati normalna i havarijska uklopna stanja mreže SN
- postaviti kriterije za izbor zaštite i izradu plana selektivnog djelovanja zaštita od zemljospoja
- izvršiti izbor zemljospojnih zaštitnih uređaja zasnovanih na principima za koje je tretman neutralne tačke irelevantan
- specificirati poduzimanje nužnih mjera za komunikaciju i funkcioniranje sistema daljinskog vođenja, upravljanja, mjerenja i signalizacije, lokalno i sa nadređenim centrom upravljanja
- specificirati potrebne radove i opremu za svaki elektroenergetski objekat TS VN/NN

Obzirom da je elektroenergetski sistem jedan živ i dinamičan sistem izložen stalnom razvoju i promjenama, ipak, pri izboru između više tehnički zadovoljavajućih rješenja, odlučujuće faktore čine postojeće iskustvo, tradicija i navike. Uzprkos bogatom i dugogodišnjem iskustvu, danas, u našim postrojenjima istovremeno postoji prisutna moderna i zastarjela oprema raznih proizvođača, iako se, na primjer, radi o istoj vrsti opreme.

Potrebno je istaći da ovako pripremljena baza podataka predstavlja osnovu za druge važne analize distributivnog sistema, kao što je:

- analiza struja i snaga višefaznih kvarova radijalnih i zamkastih mreža, te kontrolu parametara rasklopne opreme od uklopnih stanja
- analiza kretanja aktivnih i reaktivnih snaga, padova napona i gubitaka električne energije i snage
- analiza mogućnosti povećanja prenosne snage voda do granice prirodne snage
- određivanje lokacije i veličine uređaja za kompenzaciju reaktivne energije i snage
- rješavanje problema uključenja dugačkih radijalnih vodova kod kojih je $I_{ksmin} < I_{POGmax}$ te postavljanje kriterija blokade i deblokade zaštite voda na staničnom nivou.

Na kraju treba izvršiti i usporedbu naše i inostrane tehničke regulative iz ove oblasti sa prijedlogom izmjena postojećih propisa iz ove oblasti u Bosni i Hercegovini. Naime, promjenom postojećih propisa o opasnim naponima dodira u skladu sa inostranim propisima (IEC, EN, ...) provedba uzemljenja zvjezdišta 20 (10) kV mreža bi se znatno olakšala.

2.1 Opasan napon dodira

U slučaju neadekvatnog dimenzioniranog ili havarisanog sistema uzemljenja postrojenja može se vjerovatnoća strujnog udara koji potiče od pojave i održavanja opasnog napona dodira izraziti kao:

$$P = P_1 \cdot P_2 \quad (1)$$

gdje je:

P1 – vjerovatnoća nastanka jednopolnog kratkog spoja u SN napojnom postrojenju, kojeg prati opasno povišenje potencijala uzemljivačkog postrojenja

P2 - vjerovatnoća da će tokom trajanja opasnog povišenja potencijala uzemljivačkog postrojenja osobe biti izložene njegovom djelovanju

Vjerovatnoća P1 se računa na osnovu statističke raspodjele izdržljivosti ljudskih organizama tokom prolaska električne struje kroz tijelo, te statističke raspodjele visine napona dodira u elektroenergetskom postrojenju. Drugim riječima, P1 predstavlja vjerovatnoću da će izdržljivost ljudskog organizma biti premašena usljed napona dodira, koji su definisani određenom statističkom raspodjelom. Prilikom određivanja izdržljivosti ljudskog organizma tokom prolaska električne struje kroz tijelo polazi se od pretpostavke da je po život opasna ona struja koja izaziva ventrikularne fibrilacije srca. Statistička raspodjela napona dodira za razmatrano elektroenergetsko postrojenje može se odrediti na osnovu rezultata proračuna napona dodira na reprezentativnim mjestima postrojenja ili na osnovu dovoljnog broja mjernih rezultata.

Vjerovatnoća P2, da će tokom dozernog kvara u elektroenergetskom postrojenju neka osoba biti izložena naponu dodira, može se odrediti pomoću matematičkog modela. Naponu dodira su, u stvari, izloženi ljudi koji drže rukom (rukama) uzemljene metalne dijelove elektroenergetskih objekata koji u

normalnom radu nisu pod naponom. Ovakve situacije su naročito česte kod popravaka i održavanja postrojenja, ali isto tako mogu biti sasvim slučajnog karaktera.

Ako se imaju u vidu elektrotehnički propisi, a oni najveću pažnju ipak poklanjaju sigurnosti te zato zastupaju princip da dio potrošačke instalacije kojem se može slobodno pristupiti u svakom trenutku ne smije biti opasan po život i zdravlje, onda se može usvojiti da za elektroenergetska postrojenja nazivnog napona ispod 1000 V, u kojima se kao zaštitna mjera od opasnog napona dodira primjenjuje nulovanje, vrijedi da je:

$$P_2 = 1, \text{ odnosno } P = P_1 \quad (2)$$

Faktor rizika od strujnog udara je, dakle, u slučaju neadekvatno dimenzionisanog ili havariisanog uzemljivačkog postrojenja, jednak vjerovatnoći nastanka jednopolnog kratkog spoja u SN napojnom postrojenju.

Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica (Sl.list SFRJ, 1978) zahtijeva da trajni napon dodira ne prelazi 65 V efektivne vrijednosti. Pri tome se pretpostavlja:

- 1) trajni napon dodira od 65 V nastupa onda kada potencijal neutralnog vodiča prema referentnoj zemlji dostigne vrijednost od 65 V, a njegovo trajanje pri tome nije ograničeno na vrijeme kraće od 1 sekunde.
- 2) Potencijal uzemljivačke instalacije TS SN/NN bez prigušenja prenosi se na neutralni vodič NN-mreže, odnosno potencijal neutralnog vodiča jednak je potencijalu združenog uzemljenja TS SN/NN, te se on usvaja kao mjerodavan za ocjenu opasnosti od napona dodira.

Mada, na prvi pogled, obje pretpostavke djeluju nerealno strogo, one su, pogotovo sa pozicija zakonske regulative, prihvatljive. Svako odstupanje od propisane vrijednosti potencijala neutralnog vodiča prema referentnoj zemlji vezano je uz direktno izjednačavanje potencijala, i/ili uz indirektno izjednačavanje potencijala, koje je posljedica položaja i odnosa slabo i dobro vodljivih materijala u neposrednoj blizini opasnog mjesta dodira. Ako se zna da je najopasnija verzija strujnog puta kroz ljudsko tijelo ruka-ruka, da je prisutna nesistematičnost u provođenju zaštitne mjere izjednačavanja potencijala, te da je, ipak, nizak nivo tehničke kulture, onda je, i pored rezervi koje postoje, uz klasično definisan napon dodira, u pogledu izjednačenosti potencijala i prelaznih otpora, jedino sigurna garancija da napon dodira neće prijeći propisanu vrijednost-potencijal neutralnog vodiča-koji ni u jednoj tački NN-mreže izložene dodiru ne prekoračuje granične vrijednosti definisane krivuljom opasnosti, ni po amplitudi ni po trajanju. Jasno je da su korektno izvedene i savjesno kontrolisane gradske mreže i instalacije manje primjerene tako strogom tretmanu, mada i u tom slučaju on ima prednost u pogledu kontrolisanog nadzora napona dodira duž cijelog uzemljivačkog postrojenja putem nedvosmislenog ograničenja potencijala samo jednog elementa.

Ako se na jednom uzemljivačkom modelu NN-mreže (standardna TS SN/NN sa prosječno 4 NN izvoda, prosječnom dužinom izvoda od 500 m i prosječnim rasponom između stubova 50 m) provede analiza raspodjele potencijala, onda se postotak iznesenog potencijala na prvi stub NN-ogranka, za koji se pretpostavlja da nosi priključak potrošačke instalacije, može prikazati u funkciji specifičnog otpora tla, kao što je to i dato u donjoj tabeli.

Tabela 1.- Postotak iznesenog potencijala uzemljivača TS SN/NN na uzemljivač prvog stuba NN ogranaka u zavisnosti od specifičnog otpora tla.

Specifični otpor tla (Ωm)	Postotak iznesenog potencijala uzemljivača (%)
100	83
200	90
300	93
400	95
500	96
600	97
1000	98
2000	99
4000	100

Kao što se vidi, postotak iznesenog potencijala na terenima sa velikim specifičnim otporom tla je značajan i opravdava zakonsku formulaciju opasnog napona dodira, čiji je zadatak da pokrije sigurnošću sve praktične slučajeve, među koje spadaju i oni sa nepovoljnim stjecajem okolnosti. Važećoj zakonskoj formulaciji opasnog napona dodira može se dati epitet strogoće, ali je radi obezbjeđenja potrebne zaštite, uvažavajući postojeći nivo tehničke i organizacijske kulture, takva formulacija ne samo opravdana već i potrebna.

2.2 Kvarovi u elektroenergetskoj mreži

Kao što je ranije rečeno proboj izolacije jednog od provodnika prema uzemljenim dijelovima je najčešći kvar u trofaznim mrežama i postrojenjima svih naponskih nivoa. U distributivnim elektroenergetskim mrežama zemljospojevi čine 70-80% svih kvarova na linijama, od kojih je 60-70% prolaznih ili intermitiranih. Klasifikaciju kvarova (akcidentnih slučajeva) koji mogu, radi visine popratnog potencijala, ugroziti sigurnost NN-potrošača, možemo izvršiti na slijedeće vrste:

- 1pKs u TS SN/SN na strani višeg SN-napona napajanoj podzemnim vodom
- 1pKs u TS SN/SN na strani višeg SN-napona napajanoj nadzemnim vodom
- 1pKs u TS SN/NN na SN strani napajanoj podzemnim vodom
- 1pKs u TS SN/NN na SN strani napajanoj nadzemnim vodom sa združenim pogonskim i zaštitnim uzemljivačkim instalacijama
- 1pKs u TS SN/NN na SN strani napajanoj nadzemnim vodom sa galvanski efikasno razdvojenim pogonskim i zaštitnim uzemljivačkim instalacijama.

Slučaj a) i b) najizrazitije se manifestuju u NN-mreži TS SN/NN koja je prva na posmatranom ogranku iz TS SN/SN, a slučaj c) u NN-mreži TS SN/NN koja se nalazi poslednja na posmatranom ogranku. Kvarovi d) i e) manifestuju se u NN mreži svake TS SN/NN napajane nadzemnim vodovima bez zaštitnog vodiča.

Za pojedine vrste gore navedenih kvarova koje se mogu desiti u mreži za različit broj radijalnih ogranaka (n) mogu se izračunati granični specifični otpori (R_g) kod kojih se postiže granični (dozvoljeni) potencijal uzemljivačke instalacije (U_g), kao i vjerovatnoća (s) pojavljivanja specifičnih otpora tla jednakih graničnom ili većih. Ta vjerovatnoća se može interpretirati i kao relativna površina terena sa iznosom specifičnog otpora tla jednakom graničnom ili većem.

Tabela 2 - Granični specifični otpor tla R_g i vjerovatnoća pojavljivanja specifičnog otpora tla većeg od graničnog (s) u zavisnosti od broja izvoda SN mreže (n), graničnog potencijala uzemljivačke instalacije U_g , struje 1pKs i vrste kvara

Vrsta kvara	I (A)	U_g (V)	n	R_g (Ωm)	S (%)
b	300	65	6	1456	3
			5	1151	6
			4	856	9
			3	598	18
			2	396	36
			1	251	62
c	300	65	6	260	61
	150			746	12
d	150	65		148	80
e		1200		334	46

Za očekivati je da će pojedina uzemljivačka postrojenja vangradskih podzemno-nadzemnih i nadzemnih SN-NN mreža sa efikasno tretiranom neutralnom tačkom iskazati insuficijenciju u pogledu bezopasnog odvođenja struje 1pKs (nepostojanje sigurnosne rezerve u pogledu bezopasnog odvođenja struje 1pKs), te da će biti u pogonu bez potrebne sigurnosne rezerve. To očekivanje potencira i činjenica da je bezprijekorno odvajanje i osiguranje odvojenosti pogonskih (radnih) i zaštitnih uzemljivačkih instalacija pojedinih objekata nemoguće izvesti zbog: gustih i nekontrolisanih ostalih podzemnih instalacija, nesavjesnog izvođenja podzemnih instalacija, neprekidne infrastrukturne dinamike i činjenice da zaštitna uzemljivačka instalacija TS SN/NN olakšava osiguranje uslova za provođenje nulovanja.

Dakle, može se zaključiti da treba insistirati na jedinstvenoj uzemljivačkoj instalaciji sa nerazdvojenom radnom i zaštitnom funkcijom, koja se teže izvodi ali zato sigurnije funkcioniše. Nepostojanje sigurnosne rezerve u pogledu bezopasnog odvođenja struje 1pKs ima uticaja na koncepciju izgradnje, pogona i održavanja SN-mreže u cijelosti.

3. PROJEKTOVANJE, IZGRADNJA, POGON I ODRŽAVANJE UZEMLJIVAČKE INSTALACIJE

3.1 Projektovanje

U fazi projektovanja uzemljenja proračun se odvija u nekoliko koraka:

1. zvršiti mjerenje specifičnog otpora tla, odnosno napraviti analizu geoelektričnih karakteristika tla na kojem je planirana izgradnja uzemljenja
2. određivanje podataka o objektu (specifični otpor, površina uzemljivača iz lokacijskog plana, proračun redukcionih faktora i impedansi uzemljenja nadzemnih vodova i kablova koji polaze iz postrojenja)
3. izračunava se struja koja se odvodi u tlo preko uzemljivača
4. određivanje dimenzija vodiča uzemljivača na osnovu termičkog proračuna koji se provodi u skladu sa podacima o očekivanoj struji kvara i podataka o vremenu isključenja kvara
5. definisanje dozvoljenih vrijednosti napona dodira i koraka
6. preliminarno projektovanje uzemljivača. Uzemljivač se treba sastojati od okvira koji okružuju površinu cijelog kruga postrojenja i odgovarajućih poprečnih vodiča smještenih tako da se omogući pogodan pristup za uzemljenje opreme. Početno određivanje razmaka između vodiča i pozicije vertikalnih sonde treba se temeljiti na struji kroz uzemljivač i površini uzemljivača
7. određivanje otpornosti rasprostiranja uzemljivača nekom od aproksimativnih formula. Za konačno rješenje potrebno je primijeniti numerički proračun na računaru, pogotovo ako je model tla dvoslojni i ako su upotrijebljene vertikalne sonde.
8. proračun potencijala uzemljivača. Proračunavaju se napon okca i napon koraka, bilo približnim analitičkim postupcima, bilo numeričkim proračunom
9. provjerava se da li su naponi dodira i koraka manji od propisom dozvoljenih vrijednosti
10. modifikiranje rješenje. Ukoliko su naponi dodira i koraka veći od dozvoljenih vrši se modifikiranje rješenja smanjenjem razmaka između vodiča, dodavanjem vertikalnih sonde i slično. Nakon što se izvrši modifikiranje rješenja ponavlja se postupak od koraka 7.
11. detaljno projektovanje. Nakon što se zadovolje vrijednosti za napon dodira i koraka pristupa se detaljnom projektovanju

3.2 Izgradnja

3.2.1 Podzemne mreže. Uzemljivačko postrojenje podzemnih mreža iskazuje dva bitna svojstva:

- svojstvo redukcije i odvođenja struje 1pKs, koje potiče od dobro vodljivih ekrana i zaštitnih armatura kablova
- svojstvo rasprostranjenosti, koje takođe potiče od ekrana i zaštitnih armatura kablova, odnosno od uzemljivačke trake položene uz kabl.

Uz navedena svojstva, podzemne mreže imaju bitnu prednost nad nadzemnim mrežama u pogledu bezopasnog odvođenja struje 1pKs, pa treba prednost dati izgradnji skupljih, podzemnih na račun jeftinijih, nadzemnih vodova.

3.2.2 Nadzemne mreže. Pozitivnu ulogu ekrana i armatura podzemnih vodova u nadzemnoj mreži preuzima zaštitni vodič, pa je tu, zbog nepostojanja zaštitnog vodiča ili zbog njegove lošije vodljivosti, problem insuficijencije uzemljivačkog postrojenja naglašeniji.

- 10 kV nadzemni vodovi u pravili se izvode bez zaštitnog vodiča, pa efekat redukcije i odvođenja struje 1pKs u potpunosti izostaje
- 35 kV nadzemni vodovi u pravilu se izvode sa čeličnim zaštitnim vodičem presjeka 35 mm² ili maksimalno 50 mm², čija je vodljivost nedovoljna za pokrivanje insuficijencije uzemljivačkog postrojenja.

Kako kontinuirani zaštitni vodič velikog presjeka i dobre vodljivosti predstavlja vitalni dio uzemljivačkog postrojenja, potrebno je, radi povećanja efekta redukcije i odvođenja, zamijeniti postojeću koncepciju izvedbe nadzemnih vodova skupljom verzijom, koja bi dala efekt tek u perspektivnim vodovima u dužem vremenskom periodu. Postojeći vodovi, zbog raspona i statičke otpornosti stubova, nisu podobni za takve zahvate.

3.2.3 Uzemljivačke instalacije. Izgradnja uzemljivačkih instalacija sa normiranim veličinama otpora rasprostiranja na terenu sa velikim specifičnim otporom tla nailazi na suštinske tehnoekonomske poteškoće, koje vode primjeni bolje vodljivih materijala u neposrednom dodiru sa uzemljivačkim elektrodama, kao što je to na primjer bentonitni prah ili suspenzija, te tehnoekonomske neracionalnoj izvedbi uzemljivačkih instalacija pojedinih objekata.

Dakle, izgradnja mreže sa efikasno tretiranom neutralnom tačkom na terenu sa velikim specifičnim otporom tla zahtijeva:

- preferiranje izgradnje skupljih, podzemnih na račun jeftinijih, nadzemnih vodova
- skuplju verziju izvedbe nadzemnih vodova
- tehnoekonomske neracionalnu izvedbu uzemljivačkih instalacija pojedinih objekata

3.3 Pogon

U uslovima insuficijencije uzemljivačkog postrojenja, kada ono radi bez potrebne sigurnosne rezerve, svako oštećenje vodi ka pogonu sa faktorom rizika.

Presijecanje kabla čiji ekran igra vitalnu ulogu u uzemljivačkom postrojenju, koje može izazvati primjena mehanizacije u toku građevinskih radova ili pucanje zaštitnog vodiča, koje može biti uzrokovano atmosferskim pražnjenjem, dovodi do ispada iz pogona dijela SN-mreže ali i čitavog uzemljivačkog postrojenja. Čak i oni potrošači čiji su energetske prenosni putevi ostali sačuvani ostaju bez djelotvorne zaštite od opasnog napona dodira. Budući da isključenje takvih potrošača nije opravdano, oni ostaju u pogonu sa faktorom rizika.

Kako se mreže različite strukture prostiru po terenu velikog i neujednačenog specifičnog otpora tla, nije moguće provesti ograničenje struje 1pKs na unificiranu vrijednost. Zato svaka od njih, u skladu sa različitim sposobnostima uzemljivačkog postrojenja za bezopasno odvođenje struje 1pKs, radi shodno zahtjevu za efikasno tretiranje neutralne tačke, sa individualnim ograničenjem struje 1pKs. U havarijskom pogonskom stanju, kada se aktiviraju rezervna napajanja, struja 1pKs mora biti ograničena na iznos koji podnosi najmanje sposobno uzemljivačko postrojenje. To može izazvati potrebu promjene iznosa otpora za ograničenje struje 1pKs u neutralnoj tački transformatora i pogon sa neefikasno tretiranom neutralnom tačkom, budući da je preostala struja 1pKs nedovoljna za efikasno tretiranje takve galvanske veze.

Efikasno tretiranje neutralne tačke zahtijeva da se u mrežama koje su, sa aspekta sigurnosti napajanja, koncipirane za rezervni paralelan rad u havarijskom pogonskom stanju izaberu:

- rezervni pogon sa neefikasno tretiranom neutralnom tačkom, uz uslov da za to postoji tehnička mogućnost promjene otpora
- rezervni pogon sa faktorom rizika
- neko drugo tehničko rješenje ovog problema

Efikasno tretiranje neutralne tačke na terenu sa velikim specifičnim otporom tla vodi, čak i uz potpuno ispravno uzemljivačko postrojenje, pogonu sa faktorom rizika, pa je u pogonu takvih mreža potrebna stalna briga o vjerovatnoći nastanka kvara i o stanju uzemljivačkog postrojenja.

Radi lakšeg poimanja zaključaka na kraju ovog rada uvešćemo dva nova pojma: *pasivni i aktivni status uzemljivačkog postrojenja* i dati njihove definicije.

Uzemljivačko postrojenje se nalazi u pasivnom statusu kada su tehnička rješenja energetske vodova pretežno određena energetskom potražnjom, a samo u maloj mjeri uslovima bezopasnosti od opasnog napona dodira; kada je lako realizirati normirane vrijednosti otpora rasprostiranja pojedinih uzemljivačkih instalacija i ostvariti potrebnu sigurnosnu rezervu u sposobnosti bezopasnog odvođenja struja koje teku prema zemlji; kada u pogonu nije potrebno voditi računa o stanju uzemljivačkog postrojenja i kada je održavanje, radi male osjetljivosti na oštećenja, jednostavno.

Uzemljivačko postrojenje nalazi se u aktivnom statusu kada su tehnička rješenja energetske vodova, osim energetskom potražnjom u dobroj mjeri definisana i uslovima bezopasnosti od napona dodira; kada je teško ostvariti normirane vrijednosti otpora rasprostiranja pojedinih uzemljivačkih instalacija, a kamoli sigurnosnu rezervu u sposobnosti bezopasnog odvođenja struja koje teku prema zemlji; kada je u pogonu potrebna stalna briga o stanju uzemljivačkog postrojenja i kada je održavanje, radi velike osjetljivosti na oštećenja, intenzivno.

Iz definicija je očito da je aktivni status uzemljivačkog postrojenja negacija pasivnog statusa i obrnuto.

Za uzemljivačko postrojenje, iz dosadašnjeg iskustva i prakse, možemo reći:

- da je to, još uvijek, najslabije dokumentovani dio elektroenergetskog sistema
- da mu se ne poznaje stanje i trajnost spojeva i spontanih dodira sa drugim podzemnim instalacijama
- da mu je kvaliteta ovisna o vrijednosti specifičnog otpora tla koji varira i prostorno i vremenski u, za sada, nedovoljno istraženim relacijama
- da može biti oštećeno slabo kontrolisanim i nedovoljno istraženim procesima elektrolitske i galvanske korozije, te atmosferskog pražnjenja
- da je to, u pogledu fizičkih povreda od trećih lica, najizloženiji i istovremeno najnezaštićeniji dio elektroenergetskog postrojenja
- da se eventualni kvar ne signalizira i ne dojavljuje, pa bez redovne kontrole ostaje trajno skriven
- da je nedostupno pogledu i dodiru, pa se ne može kontrolisati jednostavnim pregledom
- da mjerenje otpora rasprostiranja ne pruža pouzdanu informaciju o stanju uzemljivačkog postrojenja ukoliko se ne provodi sistemski
- da se ne može popravljati bez komplikovanog i skupog zahvata.

Navedeno nas upućuje na zaključak da je prirodi uzemljivačkog postrojenja odgovara pasivan status, koji podrazumijeva lako i jeftino izvođenje, rezervu u sposobnosti bezopasnog odvođenja struja koje teku prema zemlji i jednostavno održavanje.

Efikasno tretiranje neutralne tačke na terenu sa velikim specifičnim otporom tla veže sigurnost najosjetljivijeg NN potrošača sa pravilnim djelovanjem uzemljivačkog postrojenja koje se nalazi u

njemu neprimjerenom aktivnom statusu. Na taj način uzemljivačko postrojenje postaje izuzetno važno i izbija u prvi plan procesa projektovanja, izgradnje, pogona i održavanja SN- elektroenergetskih mreža i sistema.

3.4 Održavanje

Kako u uslovima insuficijencije uzemljivačkog postrojenja sigurnost napajanja NN potrošača zavisi o kontinuitetu i ispravnosti ekrana podzemnih i zaštitnih vodiča nadzemnih vodova, o geološkoj otpornosti i fizičkoj zaštićenosti uzemljivačke trake, te o ispravnom djelovanju nadstrujnih releja, potreban je intenzivan nadzor i stalna njega tih, inače ne toliko bitnih elemenata uzemljivačkog postrojenja. Potrebni su, dakle, češći pregledi i revizije sa naglaskom na ekranu podzemnih, odnosno na zaštitnom vodiču nadzemnih vodova, češća ispitivanja i uredna podešenja nadstrujnih releja, te redovna kontrola uzemljivačkih instalacija pojedinih objekata.

Kako se ekran podzemnog i zaštitni vodič nadzemnog voda u pravilu nikada, čak i onda kada je sam vod u beznaponskom stanju, ne smije odvajati od ostalog dijela uzemljivačkog postrojenja, potrebno je prilikom rada na podzemnom ili nadzemnom vodu prekid ekrana ili zaštitnog vodiča premostiti vodičem čiji je presjek u najmanju ruku jednak presjeku vodiča u prekidu. Pri tome je nužno kvalitetno izvođenje strujnih spojeva, budući da prelazni otpori ne smiju remetiti raspodjelu potencijala duž uzemljivačkog postrojenja. Radi zaštite od mogućeg napona, potrebno je izvršiti ekvipotencijalizaciju radnog mjesta ili raditi na uobičajeni način rada pod naponom uz upotrebu prostirača, zaštitnih rukavica i odgovarajućeg alata.

Može se, dakle, reći da održavanje potrebnog nivoa sigurnosti (uz rast važnosti pravilnog djelovanja koje potiče od jakih struja i pad pouzdanosti koji potiče od povećane osjetljivosti na slučajna oštećenja) traži intenzivan nadzor i stalnu njegu uzemljivačkog postrojenja.

S aspekta održavanja uzemljivačkog postrojenja, potrebno je sagledati i postojeću zakonsku formulaciju opasnog napona dodira. Naime, liberalizacija zakonske formulacije opasnog napona dodira, u uslovima insuficijencije uzemljivačkog postrojenja na velikom specifičnom otporu tla, olakšala bi njegovu izvedbu, ali bi mu time, istovremeno, uskratila minimalnu rezervu koju ono na taj način postiže. Nepovoljna okolnost je da se na taj način postiže najveća rezerva tamo gdje je ona najmanje potrebna, odnosno na terenima sa malim specifičnim otporom tla. Liberalizacija zakonske formulacije opasnog napona dodira povećala bi osjetljivost uzemljivačkog postrojenja na oštećenja kojima je ono stalno i neizbježno izloženo i tako indirektno stvorila potrebu za intenziviranjem i onako već dovoljno intenzivnog nadzora i njege.

4. ZAKLJUČAK

Ako se dozvoljena razlika potencijala uzemljivačke instalacije, odnosno neutralnog vodiča (U_g), koja je definisana primijenjenom zaštitnom mjerom od opasnog napona dodira, izrazi u direktnoj proporcionalnosti sa specifičnim otporom tla (ρ), faktorom geometrije uzemljivačke instalacije (k) i strujom odvođenja, onda jednostavna analiza pokazuje da je, uz uobičajenu i tehnoekonomske prihvatljivu geometriju uzemljivačke instalacije, sa malim specifičnim otporom tla lako održati dozvoljenu razliku potencijala čak i uz relativno velike struje odvođenja, kao i obratno, da je sa velikim specifičnim otporom tla teško održati dozvoljenu vrijednost potencijala čak i uz relativno male struje odvođenja. Kako je specifični otpor tla jedina eksterna varijabla ove analize na čiju se veličinu ne može direktno uticati odgovarajućom koncepcijom mreže, onda je jasno da se dozvoljeni nivo potencijala mora realizirati odnosom veličina k i I .

Veličina k karakteriše geometriju uzemljivačke instalacije. Ona sa rastom uzemljivačke instalacije pada, međutim, asimptotski. To je razlog zbog kojeg realizacija uzemljivača sa normiranim vrijednostima otpora rasprostiranja nailazi na suštinski tehnoekonomske poteškoće. Održavanje dozvoljene vrijednosti potencijala putem odgovarajuće konstrukcije uzemljivačke instalacije može dovesti do njene tehnoekonomske neprihvatljivosti.

Struja odvođenja je varijabla na koju se može djelovati odgovarajućom koncepcijom mreže i koja istovremeno ima radikalni uticaj na visinu potencijala, pa je prema tome i najpogodnija veličina za regulaciju nivoa potencijala, odnosno za održavanje potencijala na dozvoljenom nivou. Može se zaključiti da je, s aspekta uzemljivačkog postrojenja vangradskih podzemno-nadzemnih i nadzemnih SN i NN mreža koje se prostiru po terenu velikog specifičnog otpora tla, najprihvatljivija ona alternativa tretiranja neutralne tačke koja minimizira struju odvođenja osiguravajući na taj način uzemljivačkom postrojenju primjereni pasivni status.

Kako se tokom projektovanja SN postrojenja javljaju situacije kada je, uz kapacitivnu struju pražnjenja dozemnih kapaciteta i uz galvansko odvajanje pogonske uzemljivačke instalacije neutralnog vodiča, problem održati potencijal zaštitnog uzemljivača TS SN/NN na nivou ispod 60% ispitnog napona NN

opreme, onda je jasno da bi promjena postojeće zaštitne mjere od opasnog napona dodira samo radi provođenja isključivo efikasnog tretiranja neutralne tačke bila konzervativan i skup zahvat.

Dakle, s aspekta izgradnje, pogona i održavanja uzemljivačkog postrojenja, pri napuštanju pogona s izolovanom neutralnom tačkom, kompenzacija struje pražnjenja dozemnih kapaciteta najprihvatljivija je alternativa tretiranja neutralne tačke, budući da jedino ona spušta struju odvođenja ispod struje pražnjenja dozemnih kapaciteta.

Kompenzacija struje pražnjenja dozemnih kapaciteta u vangradskim podzemno-nadzemnim i nadzemnim SN i NN mrežama koje se prostiru na terenu velikog specifičnog otpora tla daje pasivni status uzemljivačkom postrojenju, ali zato zahtijeva "aktivni status" neutralne tačke, za razliku od efikasnog tretiranja neutralne tačke putem malooskog otpornika za ograničenje struje 1pKs, koje nudi pasivni status neutralne tačke, ali traži aktivni status uzemljivačkog postrojenja.

Bez obzira na status koji uzemljivačko postrojenje ima potrebno je njegovu ulogu osnažiti:

- kompletiranjem njegove izvedbene dokumentacije
- sistematizovanim, te urednim i dokumentovanim provođenjem mjerenja specifičnog otpora tla i otpora rasprostiranja pojedinačnih uzemljivačkih instalacija
- boljim poznavanjem prostorne, vremenske i statističke raspodjele specifičnog otpora tla i atmosferskih pražnjenja
- lociranjem područja sa elektrolitskom i galvanskom korozijskom aktivnošću, te kvantificiranjem intenziteta korozijskog djelovanja na elemente uzemljivačkog postrojenja

Izgradnju, pogon i održavanja SN-mreža koje su prešle, koje prelaze i koje će prijeći na pogon sa efikasno tretiranom neutralnom tačkom putem malooskog otpornika za ograničenje struje 1pKs treba popratiti razradom i usvajanjem odgovarajućih strategija izgradnje, pogona i održavanja. Ne smije se odustati od zahtjeva da se tretiranje neutralne tačke i koncepcije izgradnje, pogona i održavanja SN-mreža uklope u jednu cjelinu koja će omogućiti optimalan kompromis između zahtjeva za pouzdanost, sigurnost i raspoloživost s jedne strane i minimuma ukupnih troškova izgradnje, pogona i održavanja sa druge strane.

Potrebno je, pored postojeće generalne orijentacije na efikasno tretiranje neutralne tačke putem malooskog otpornika za ograničenje struje 1pKs, razraditi (ostavljajući problem postojeće zaštite od opasnog napona dodira otvorenim) metodologiju koja će omogućiti, uz uvažavanje lokalnih geoloških i meteoroloških uslova, komparativnu analizu mogućih načina tretiranja neutralne tačke u svakoj pojedinoj konkretnoj situaciji, ne zaboravljajući pri tome problem uzajamnog povezivanja mreža sa različito tretiranim neutralnim tačkama.

Zakonsku formulaciju opasnog napona dodira treba suditi kako sa stanovišta njene strogoće, koja otežava realizaciju efikasnog tretiranja neutralne tačke SN-mreže koja se prostire na terenu velikog specifičnog otpora tla, tako i sa stanovišta izgradnje, pogona i održavanja takvog uzemljivačkog postrojenja, a i same SN-mreže.

Ključne riječi: uzemljenje, uzemljivač, otpornost tla, neutralna tačka, elektroenergetska mreža, pogon mreže, izgradnja mreže, održavanje mreže,

5. LITERATURA

1. Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica (Sl.list SFRJ, broj 13/78)
2. Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (Sl.list SFRJ, broj 19/68)
3. Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne struje (Sl.list RBiH, broj 34/88)
4. "Mogućnost primjene novih tehničkih propisa i definiranje smjernica za donošenje novih propisa o opasnim naponima dodira" - A.Muharemović i saradnici, ETF Sarajevo, jun 2001.
5. Mjere zaštite i metode mjerenja u električnim mrežama niskog napona - A..Muharemović, Irfan Turković
6. "Upute za projektovanje distributivnih NN mreža"- S.Žutobradić, D.Baldasari, B.Filipović i E.Mihalek
7. "Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža" - J.Nahman
8. "Uzemljivači TS 10(20)/0,4 kV u uslovima otpornog uzemljenja zvjezdišta" Delbianco L.1983.
9. "Uzemljenje zvjezdišta 10(20) kV mreža" Žutobradić S. 1984.