

**ZEMLJOSPOJNE ZAŠTITE U IZOLOVANOJ 35 kV MREŽI U TS 110/35/10 kV PALE**  
**EARTH FAULT PROTECTION IN ISOLATED 35 kV NETWORK IN SS 110/35/10 kV PALE**

Vladanko Tomaš, dipl. inž. el., Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka, Bosna i Hercegovina  
Dragana Delić, ma.inž.el., Elektroprenos BiH a.d. Banja Luka, Bosna i Hercegovina

**KRATAK SADRŽAJ**

Izolovana mreža je iz ugla eksploatacije najjednostavnija, a sa ekonomskog stanovišta najjeftinija investicija. Istočni i južni dio Republike Srpske najvećim dijelom ima izolovanu mrežu, jer nije bilo potrebe prelaska na uzemljenu mrežu zbog dovoljno malih vrijednosti kapacitivnih struja. TS 110/35/10 kV Pale je specifična, jer 35 kV izolovana mreža ima tri odvoda, koja su najvećim dijelom nadzemni, što znači da prilikom zemljospoja dalekovodi generišu male vrijednosti kapacitivnih struja. Osnovni cilj rada je podešavanje usmjerenih i neusmjerenih zemljospojnih zaštita. Zbog malog broja odvoda i mogućnosti da jedan dalekovod sam ostane u pogonu, osim neusmjerene zemljospojne zaštite čiji algoritam koristi računsku nultu struju, treba podesiti i neusmjerenu zemljospojnu zaštitu čiji algoritam koristi nulti napon. Za proračun kapacitivnih struja i napona, neophodno je poznavati dozemne kapacitete i geometriju stubova. U radu je izračunat dozemni kapacitet 35 kV mreže, na osnovu koga je izračunata vrijednost kapacitivne struje koju generiše svaki od dalekovoda. Koristeći direktnu, inverznu i nultu šemu sistema izveden je izraz za nulti napon mreže u zavisnosti od kapacitivne struje i prelaznih otpornosti na mjestu kvara. Izračunate navedene veličine su dovoljne za podešavanje usmjerenih i neusmjerenih zemljospojnih zaštita.

**Ključne reči:** izolovana mreža, kapacitivne struje, zemljospoj, zemljospojne zaštite, nulta računaska struja

**ABSTRACT**

An isolated network is the simplest from the point of view of exploitation, and the cheapest investment from an economic point of view. The eastern and southern part of the Republika Srpska mostly has an isolated network, because there was no need for a grounded network due to sufficiently small values of capacitive currents. SS 110/35/10 kV Pale is specific, because the 35 kV isolated network has three overhead transmission lines, which means that the transmission lines generate small values of capacitive currents. The main goal of the work is the setting of directional and non-directional earth fault protection. Due to the small number of overhead transmission lines and the possibility that one transmission line alone remains in operation, except non-directional earth-fault protection whose algorithm uses calculated zero current, non-directional earth-fault protection whose algorithm uses zero voltage should also be set. For the calculation of capacitive currents and voltages, it is necessary to know the capacities between phases and earth and the geometry of the poles. In the paper, the capacity of the 35 kV network was calculated, based on which the value of the capacitive current generated by each transmission line was calculated. Using the direct, inverse and zero scheme of the system, an expression for the zero voltage of the network was derived depending on the capacitive current and transient resistances at the fault location. The calculated values are sufficient for setting directional and non-directional earth fault protections.

**Key words:** isolated network, capacitive currents, earth fault, earth fault protection, calculation zero current

## 1. UVOD

Način uzemljenja zvjezdista ima veliku važnost za pogon mreže [1]. S obzirom na način uzemljenja, prilikom jednofaznih kvarova sa zemljom, u mrežama se javljaju različite vrijednosti napona i struja. Jednofazni kvar u izolovanoj sredjenaponskoj mreži se naziva zemljospoj. Izolovana neutralna tačka znači da se pri spoju faznog provodnika sa zemljom javljaju relativno male vrijednosti struja koje su dominantno kapacitivnog karaktera, a velike vrijednosti napona faza koje nisu pogođene kvarom. Preporučuje se da nadzemne mreže 10 kV i 20 kV rade sa izolovanom neutralnom tačkom, s obzirom da su kapacitivne struje zemljospoja veoma male (oko 0,03 A/km za mrežu 10 kV, odnosno 0,07 A/km za mrežu 20 kV) [2]. Uzemljenje neutralne tačke 10 kV ili 20 kV preko niskoomske impedanse je u skladu sa strategijom koja je usvojena u tehničkim preporukama ED Srbije, obavezno ako kapacitivne struje zemljospoja prelaze vrijednosti od 40 A u mreži 10 kV i 30 A u mreži 20 kV [2].

## 2. SIMETRIČNE KOMPONENTE

Zemljospoj u izolovanoj mreži predstavlja nesimetričan radni režim. Analiza nesimetričnih radnih režima se rješava metodom simetričnih komponenti. Sistem faznih napona se razloži na tri komponente i to direktnu, inverznu i nultu. Isto važi i za sistem trofaznih struja. Za tri nesimetrična fazora napona važi Fortescue-ova transformacija izražena formulom

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{V}_a \\ \underline{V}_b \\ \underline{V}_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

pri čemu su  $\underline{V}_1$ ,  $\underline{V}_2$ ,  $\underline{V}_0$  direktna, inverzna i nulta komponenta napona respektivno. Isto važi i za tri nesimetrična fazora struje:

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_b \\ \underline{I}_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

pri čemu su  $\underline{I}_1$ ,  $\underline{I}_2$ ,  $\underline{I}_0$  direktna, inverzna i nulta komponenta struje respektivno.

Za analizu izolovane mreže pretpostavićemo da se zemljospoj desio u fazi A i iskoristićemo sljedeće jednačine očiglednosti:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_{fault} \quad (3)$$

$$\underline{I}_b = 0 \quad (4)$$

$$\underline{I}_c = 0 \quad (5)$$

$$\underline{V}_a = 0 \quad (6)$$

$$\underline{V}_b \neq 0 \quad (7)$$

$$\underline{V}_c \neq 0 \quad (8)$$

Pretpostavka je da je zemljospoj metalni, bez prelaznog otpora, te da su naponi faza koje nisu pogođene kvarom isti po modulu. Uvažavanjem navedenih aproksimacija i korišćenjem formule (2) važe sljedeće jednačine:

$$\begin{pmatrix} \underline{I}_1 \\ \underline{I}_2 \\ \underline{I}_0 \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} \underline{I}_a \\ \underline{I}_a \\ \underline{I}_a \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$\underline{V}_1 + \underline{V}_2 + \underline{V}_0 = 0 \quad (10)$$

S obzirom da su direktna inverzna i nulta komponenta struje jednake, a zbir direktnog, inverznog i nultog napona jednak nuli važi slika 1. Ako bi uvažili prelaznu otpornost onda važi slika 2. Direktni komponentni sistem je aktivan jer generatori proizvode simetrični, direktni, trofazni sistema napona i struja. Važe sljedeće jednačine:

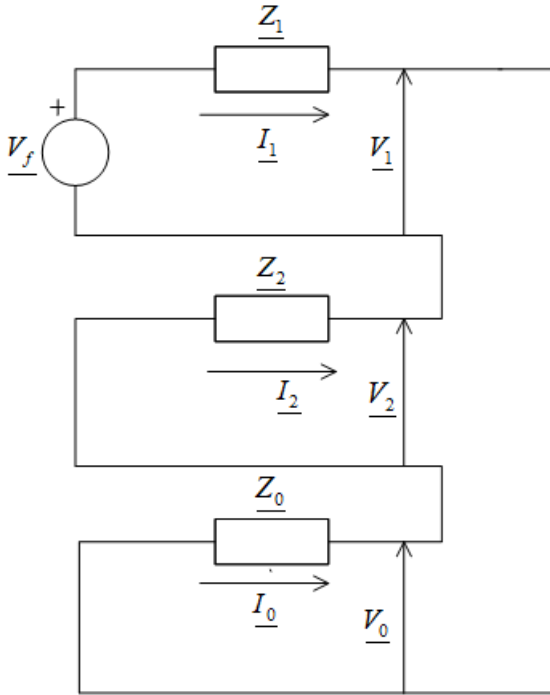
$$\underline{V}_f - \underline{Z}_1 \underline{I}_1 = \underline{V}_1 \quad (11)$$

$$\underline{V}_2 = -\underline{Z}_2 \underline{I}_2 \quad (12)$$

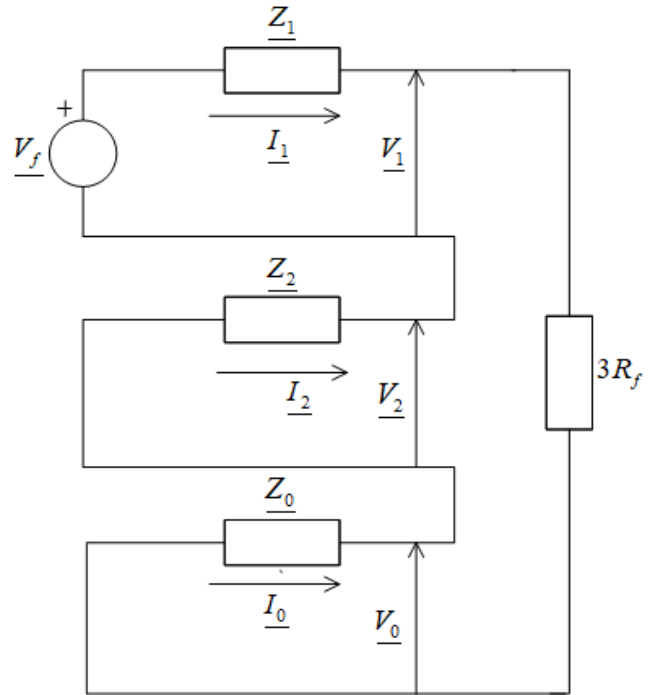
$$\underline{V}_0 = -\underline{Z}_0 \underline{I}_0 \quad (13)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 \quad (14)$$

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 \quad (15)$$



Slika 1 - Direktni, inverzni i nulti sistema



Slika 2 - Direktni, inverzni i nulti sistem sa prelaznom otpornošću

Korišćenjem jednačina (10), (11), (12), (13), (14), (15) izvode se sljedeći izrazi za direktne, inverzne i nulte komponente struja i napona:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \underline{I}_0 = \frac{\underline{V}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} \quad (16)$$

$$\underline{V}_1 = \frac{(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_0)\underline{V}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} \quad (17)$$

$$\underline{V}_2 = -\frac{\underline{Z}_1 \underline{V}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} \quad (18)$$

$$\underline{V}_0 = -\frac{\underline{Z}_0 \underline{V}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} \quad (19)$$

## 2.1 Naponi prilikom zemljospoja

Korišćenjem jednačina (17), (18), (19) i jednakosti impedansi direktnog i inverznog redoslijeda za dalekovod važe sljedeće jednačine:

$$\underline{V}_1 = \frac{1+k}{2+k} \underline{V}_f \quad (20)$$

$$\underline{V}_2 = -\frac{1}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \quad (21)$$

$$\underline{V}_0 = -\frac{\underline{k}}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \quad (22)$$

pri čemu je  $\underline{k}$  količnik fazora nulte i direktne impedanse.

Primjenom Fortescue-ove transformacije, za napone faza važi sljedeća formula:

$$\begin{pmatrix} \underline{V}_A \\ \underline{V}_B \\ \underline{V}_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \underline{V}_1 \\ \underline{V}_2 \\ \underline{V}_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \left(-\frac{3}{2}\underline{k} - j(\sqrt{3} + \frac{\sqrt{3}}{2}\underline{k})\right) \\ \frac{1}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \left(-\frac{3}{2}\underline{k} + j(\sqrt{3} + \frac{\sqrt{3}}{2}\underline{k})\right) \end{pmatrix} \quad (23)$$

S obzirom da je  $\underline{k}$  broj koji ima veliku vrijednost možemo izvesti sljedeće jednačine za efektivne vrijednosti napona korišćenjem limesa:

$$\underline{V}_A = 0 \quad (24)$$

$$\underline{V}_B = \lim_{\underline{k} \rightarrow \infty} \frac{1}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \sqrt{3\underline{k}^2 + 3\underline{k} + 3} = \sqrt{3}\underline{V}_f \quad (25)$$

$$\underline{V}_C = \lim_{\underline{k} \rightarrow \infty} \frac{1}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \sqrt{3\underline{k}^2 + 3\underline{k} + 3} = \sqrt{3}\underline{V}_f \quad (26)$$

Za fazne stavove napona važe sljedeće jednačine:

$$\varphi_A = 0 \quad (27)$$

$$\varphi_B = \lim_{\underline{k} \rightarrow \infty} \arctg\left(\frac{2\sqrt{3} + \sqrt{3}\underline{k}}{3\underline{k}}\right) = 30^\circ \quad (28)$$

$$\varphi_C = \lim_{\underline{k} \rightarrow \infty} \arctg\left(\frac{2\sqrt{3} + \sqrt{3}\underline{k}}{3\underline{k}}\right) = -30^\circ \quad (29)$$

Iz Fortescue-ove transformacije za nultu komponentu napona važi:

$$\underline{V}_0 = -\frac{\underline{k}}{2+\underline{k}} \underline{V}_f \quad (30)$$

Nulta komponenta napona je jednaka faznom radnom naponu prije kvara, faze koja je pod kvarom i važi:

$$\underline{V}_0 = \lim_{\underline{k} \rightarrow \infty} \left(-\frac{\underline{k}}{2+\underline{k}} \underline{V}_f\right) = -\underline{V}_f \quad (31)$$

Naponi faza koje nisu pogođene kvarom rastu na linijske vrijednosti napona prilikom metalnog zemljospoja, a nulta komponenta napona ima vrijednost faznog napona prije kvara kao što je prikazano na slici 3.

## 2.2 Struje prilikom zemljospoja

Za izvođenje izraza za kapacitivnu struju zemljospoja koristićemo pretpostavku da se zemljospoj desio u fazi A i sliku 4:

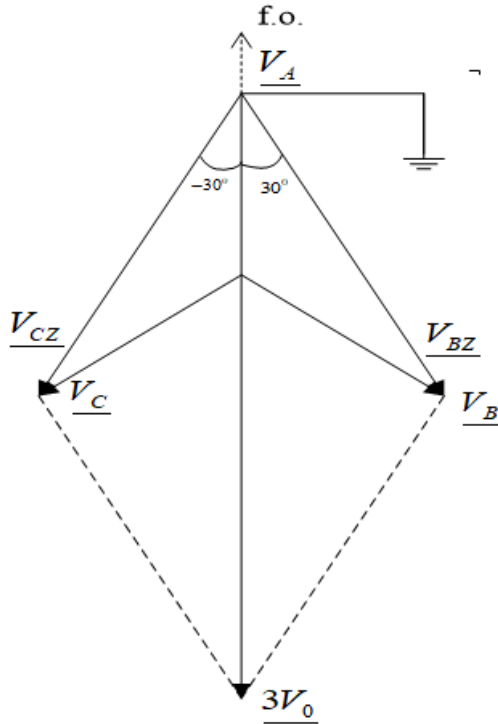
$$\underline{I}_a = \underline{I}_z = 3\underline{I}_0 = \frac{3\underline{V}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 - jX_{C0}} \quad (32)$$

pri čemu je  $X_{C0}$  nulta otočna reaktansa dalekovoda.

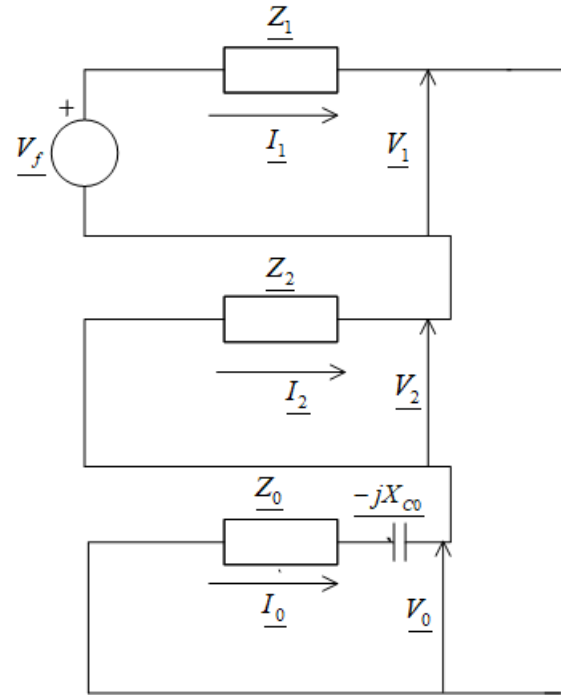
Primjenom Fortescue-ove transformacije i slike 3 važi:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_z = 3\underline{I}_0 = \frac{3\underline{V}_f}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0 - jX_{C0}} \quad (33)$$

pri čemu je  $I_z$  kapacitivna struja dalekovoda prilikom zemljospoja.



Slika 3 - Fazori napona



Slika 4 - Direktni, inverzni i nulti sistem sa uvažavanjem otočnih kapaciteta

Uz pretpostavku da je nulta otočna reaktansa dosta veća od zbira direktne, inverzne i nulte impedanse dalekovoda važi sljedeća formula:

$$\underline{I}_z = j3\underline{V}_f \omega C_0 \quad (34)$$

pri čemu je  $C_0$  nulti otočni kapacitet dalekovoda.

### 2.3 Naponi i struje pri prelaznim otporima

Prelazni otpor nastaje usljed luka, pada drveta na fazni provodnik i slično. Napon faze koja je pogođena kvarom, prilikom prelaznog otpora, nije jednak nuli već ima neku vrijednost različitu od nule zavisno od vrijednosti prelazne otpornosti. Ako sa slike 4 zanemarimo direktnu, inverznu i nultu vrijednost impedanse, koje su mnogo manje od prelazne otpornosti i otočne nulte reaktanse dalekovoda, važi sljedeća jednačina:

$$\underline{V}_f = 3R_f \underline{I}_0 - jX_{C0} \underline{I}_0 \quad (35)$$

pri čemu  $R_f$  predstavlja prelaznu otpornost.

Pretpostavimo da je napon u fazi A čiji je fazni stav nula. Važi sljedeća formula:

$$\underline{I}_0 = \frac{\underline{V}_f}{3R_f - jX_{C0}} \quad (36)$$

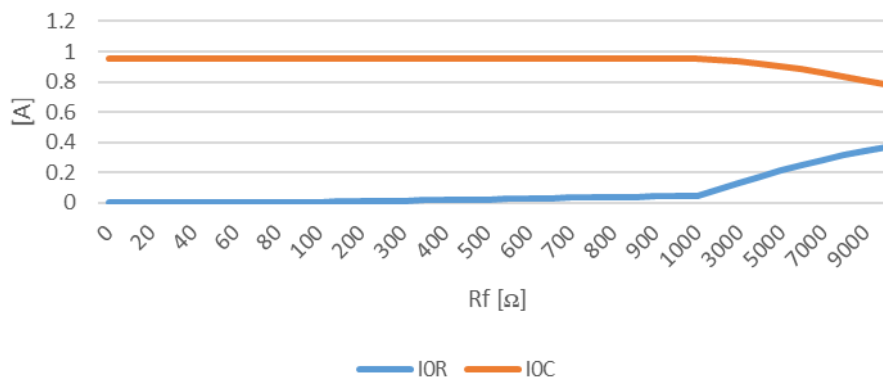
Primjenom jednačine (36) i izraza za nultu otočnu reaktansu dalekovoda, slijedi sljedeća formula:

$$3\underline{I}_0 = \frac{9R_f(\omega C)^2 \underline{V}_f}{1 + (3R_f \omega C)^2} + j \frac{3\omega C \underline{V}_f}{1 + (3R_f \omega C)^2} = 3\underline{I}_{0R} + j3\underline{I}_{0C} \quad (37)$$

pri čemu je  $\underline{I}_{0R}$  realni dio nulte komponente struje, a  $\underline{I}_{0C}$  imaginarni dio nulte komponente struje.

Fazni stav trostruke nulte komponente struje:

$$\varphi_{3I_0} = \arctg \frac{3\underline{I}_{0R}}{3\underline{I}_{0C}} = \arctg(3R_f \omega C) \quad (38)$$



Slika 5 - Aktivna i reaktivna komponenta trostruke nulte struje

Sa slike 5 je jasno da je kapacitivna komponenta nulte struje dominantna i prilikom proračuna će aktivna komponenta biti zanemarena. Parametri koji su korišćeni za grafik sa slike su  $c=5[\text{nF/km}]$ ,  $L_{\text{dalekovoda}}=10[\text{km}]$ ,  $V_f=35[\text{kV}]$ .

Fazor nulte komponente napona se računa kao:

$$\underline{V}_0 = -jX_{c0}I_0 \quad (39)$$

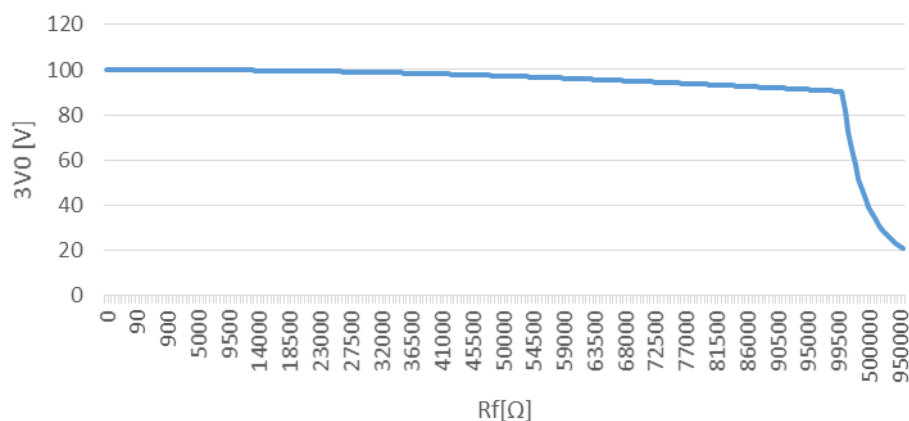
Primjenom izraza (37) i (39) važi sljedeća jednačina:

$$3V_0 = \frac{3V_f}{\sqrt{1 + (3R_f\omega C)^2}} \quad (40)$$

Nulti napon prilikom zemljospoja zavisi od prelazne otpornosti. U TS Pale za mjerenje nultog napona se koriste naponski mjerni transformatori 35 kV sekundarno vezani u otvoreni trougao. Prenosni odnos jezgra za mjerenje nultog napona iznosi:

$$NMT = \frac{\frac{35000}{\sqrt{3}}}{100} \cdot \frac{1}{3} \quad (41)$$

Konstanta za preračunavanje vrijednosti sekundarnog trostrukog nultog napona kojeg mjere naponski mjerni transformatori iznosi 606,9364. Slika 6 prikazuje zavisnost sekundarne vrijednosti trostrukog nultog napona u funkciji prelazne otpornosti. Vidljivo je da tek pri ekstremno velikim vrijednostima prelaznih otpornosti nulti napon opada ispod 100 V. Za podešavanje zemljospojnih zaštita dovoljno je prorađnu vrijednost trostrukog nultog napona podesiti na 5 V. Sa ovim podešenjem se pokriva kompletan opseg kvarova i izbjegava neselektivna prorada pri nesimetričnim radnim režimima tipa neravnomjernog opterećenja faza.



Slika 6 - Zavisnost trostruke nulte komponente napona u funkciji prelazne otpornosti

### 3. PRORAČUN KAPACITETA DALEKOVODA

#### 3.1 Proračun kapaciteta nadzemnih dalekovoda

Za proračun otočnih kapaciteta nadzemnih dalekovoda potrebno je poznavati geometriju stubova, jer važi formula:

$$c_0 = \frac{55,55 \cdot 10^{-9}}{\ln\left(\frac{h_{SG}^3}{r \cdot D_{SG}^2}\right)} [F / km] \quad (42)$$

gdje je  $c_0$  podužni otočni kapacitet,  $h_{SG}$  srednja geometrijska visina,  $r$  poluprečnik užeta,  $D_{SG}$  srednje geometrijsko rastojanje između faznih provodnika.

35 kV mreža u TS Pale je najvećim dijelom nadzemna i to stubovi proizvođača Energoinvest, tipa C1. Korišćena užad su tipa ALFe, prečnika 13,6 mm. Tabela 1 prikazuje podatke o stubovima tipa C1 i vrijednost otočnog kapaciteta za nadzemne dalekovode u 35 kV mreži.

Tabela 1 - Otočni kapacitet za nadzemne dalekovode 35 kV

Stub	Srednja geometrijska visina [m]	Poluprečnik užeta [mm]	Srednje geometrijsko rastojanje faza [m]	Otočni kapacitet [nF/km]
C1	20,31	13,6	3,53	4,83

#### 3.2 Proračun kapaciteta kablovskih dalekovoda

Jedinični kapacitet jednožilnog kabla tipa XHE 49 A 3x1x185 mm<sup>2</sup> 35 kV sa metalnim omotačem iznosi 155·10<sup>-9</sup> F/km [3].

### 4. PRORAČUN KAPACITIVNIH STRUJA U TS PALE

TS Pale posjeduje 3 dalekovoda 35 kV koji su dijelom kablovski, a dijelom nadzemni. Već smo pomenuli da će se za proračun kapacitivnih struja koristiti formula (34), te za 35 kV mrežu i podužni otočni kapacitet 4,83 nF/km vrijednost kapacitivne struje nadzemnih dalekovoda iznosi 0,1 A/km. Za kablovske dalekovode 35 kV i podužni otočni kapacitet 155·10<sup>-9</sup> F/km, kapacitivna struja kablovskih dalekovoda iznosi 2,97 A/km. U tabeli 2 su prikazane kapacitivne struje koje generišu 35 kV dalekovodi u TS Pale.

Tabela 2 - Kapacitivne struje 35 kV dalekovoda

Naziv dalekovoda	Dužina kablovskog dijela dalekovoda [km]	Dužina nadzemnog dijela dalekovoda [km]	Kapacitivna struja koju generiše kabl [A]	Kapacitivna struja koju generiše nadzmeni dalekovod [A]	Kapacitivna struja dalekovoda [A]
H01 DV 35 kV JAHORINA	-	10,4	-	1,04	1,04
H02 DV 35 kV KORAN	-	16	-	1,6	1,6
H03 DV 35 kV SOKOLAC	1,3	36,62	3,861	3,662	7,523

#### 4.1 Raspodjela kapacitivnih struja

Kapacitivna struja koju mjeri obuhvatni strujni transformator zavisi od kapacitivnih struja dalekovoda koji nisu pogođeni kvarom. Kapacitivne struje dalekovoda koji je pogođen kvarom se poništavaju kroz obuhvatni strujni transformator.

## 5. PODEŠENJA

### 5.1 Podešenje usmjerene zemljospojne zaštite

Za podešenje usmjerene zemljospojne zaštite neophodno je odrediti vrijednost trostruke nulte struje i trostrukog nultog napona. Smjer reagovanja se bira Forward, što znači da relej treba da reaguje za kvar na svom dalekovodu. Za pravilno reagovanje bitan je i izbor kritrijuma na osnovu kog relej gleda ugao između nultog napona i struje. Za izolovane mreže se bira sinusni kriterijum. Pretpostavimo da je K1 kvar na dalekovodu H01 DV 35 kV JAHORINA, K2 kvar na dalekovodu H02 DV 35 kV KORAN, K3 kvar na dalekovodu H03 DV 35 kV SOKOLAC. U Tabeli 3 su prikazane vrijednosti trostrukih nultih struja koje mjere obuhvatni strujni transformatori.

Tabela 3 - Vrijednosti trostrukih nultih struja koje mjere obuhvatni strujni transformatori

	K1	K2	K3
Kapacitivna struja koju mjeri obuhvatni strujni transformator za DV H01	9,123 A	1,04 A	1,04 A
Kapacitivna struja koju mjeri obuhvatni strujni transformator za DV H02	1,6 A	8,56 A	1,6 A
Kapacitivna struja koju mjeri obuhvatni strujni transformator za DV H03	7,523 A	7,523 A	2,64 A
Kapacitivna struja koju mjeri obuhvatni strujni transformator za DV H01 pri isključenom dalekovodu H03	1,6 A	1,04 A	-
Kapacitivna struja koju mjeri obuhvatni strujni transformator za DV H02 pri isključenom dalekovodu H03	1,6 A	1,04 A	-

Vrijednosti trostrukih nultih struja zavise od uklopnih stanja. Smanjivanjem broj akitvni dalekovoda se smanjuje kapacitivna struja koju mjere obuhvatni strujni transformatori dalekovoda koji su pogođeni kvarom. U slučaju da jedan dalekovod ostane sam u pogonu, njegove kapacitivne struje bi se poništile te usmjerena zemljospojna zaštita ne reagovala. Preporučuje se da se trostruka nulta struja svih dalekovoda podesi na vrijednosti od 1 A primarno, kako bi releji mogli da pokriju kvarove kad je jedan od dalekovoda isključen. Za podešenje trostrukog nultog napona smo već rekli da treba podesiti na 5 V sekundarno. Smjer treba biti Forward. Da bi mjerene struja bila u klasi tačnosti potrebno je izabrati obuhvatne strujne transformatore 10/1 A/A.

Tabela 4 – Prijedlog podešenja

	Trostruka nulta struja [mA]	Trostruki nulti napon [V]	Kriterijum i smjer	Vrijeme [ms]
DV JAHORINA	100	5	Sinusni; Forward	400
DV KORAN	100	5	Sinusni; Forward	400
DV SOKOLAC	100	5	Sinusni; Forward	400

### 5.2 Podešenje nesumjerene zemljospojne zaštite

Za podešavanje neusmjerenih zemljospojnih zaštita se koriste strujni mjerni transformatori koje se nalaze u fazama navednih dalekovoda, tj. u ćelijama. S obzirom da su ćelije u TS Pale već montirane, poznati su ugrađeni strujni mjerni transformatori i njihov prenosni odnos iznosi 200/5 A/A. Da bi imali backup za obuhvatne strujne transformatore nulta struja za neusmjerenu zemljospojnu zaštitu se dobija iz Holmgrin – ovog spoja. Da bi mjerene struje bile u klasi tačnosti minimalno podešenje treba biti bar 10% nominalne struje strujnih mjernih transformatora. Minimalno podešenje za nultu struju treba biti 20 A, a kako je to mnogo veće odo kapacitivne struje koju generišu dalekovodi zaključuje se da nije moguće podesiti neusmjerenu zemljospojnu zaštitu koja radi po kriterijumu nulte struje. Međutim, moguće je podesiti neusmjerenu zemljospojnu zaštitu čiji algoritam



radi po kriterijumu nultog napona, tzv. funkcija residual overvoltage. Ova funkcija će biti backup za usmjerenu zemljospojnu zaštitu, te za situaciju kad se kvar desi na kablovskoj glavi prije obuhvatnih strujnih transformatora. Takođe, jedina funkcija koja vidi zemljospoj kada je u pogonu samo jedan dalekovod je residual overvoltage. Preporučuje se podešenje, kao i za usmjerenu zemljospojnu zaštitu od 5 V. S obzirom da će ova funkcija imati uslov za proradu pri svakom zemljospoju, potrebno je vremenski zategnuti. Prilikom zemljospoja svi releji mjere isti trostruki nulti napon, te ova funkcija nije selektivna i vremena treba podesiti u skladu sa prioritetima potrošača.

Tabela 5 – Prijedlog podešenja za residual overvoltage

	Trostruki nulti napon [V]	Vrijeme [ms]
DV JAHORINA	5	1200
DV KORAN	5	1100
DV SOKOLAC	5	1000

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je dat prijedlog podešenja usmjerenih i neusmjerenih zemljospojnih zaštita za 35 kV mrežu u TS Pale. Trafostanica je specifična s obzirom da ima tri dalekovoda koji generišu male vrijednosti kapacitivnih struja i poželjno je imati specifične obuhvatne strujne transformatore 10/1 A/A. Zbog malog broja dalekovoda i nemogućnosti aktiviranja neusmjerene zemljospojne zaštite koja radi po kriterijumu nulte struje neophodno je aktivirati neusmjerenu zemljospojnu zaštitu koja radi po algoritmu nultog napona, koji nije selektivan. Ovo znači da će isključivati dalekovod po dalekovod, dok se ne isključi dalekovod koji je pogođen kvarom. Nakon puštanja u rad obavezno uraditi primarni zemljospoj u mreži kako bi se provjerio smjer. Interesantna činjenica je da nije potrebno raditi primarni zemljospoj na svim dalekovodima, već samo jednom. Da bi smo znali da su svi releji isto usmjereni, prije puštanja novog postrojenja, istovremeno se zadaje nulti napon ćelijama H01, H02, H03 i struja kroz obuhvatne strujne transformatore, ali u istom smjeru kroz svaki obuhvatni strujni transformator. Vremena prorade treba iskoordinisati sa nadležnim elektrodistributivnim preduzećem.

## LITERATURA

- [1] Ćučić R, Komen V, Živić Đurović M, 2008, “Koncept uzemljenja zvjezdišta razdjelnih mreža”
- [2] JP ERS, 2004, “Uzemljenje neutralnih tačaka u elektrodistributivnim mrežama 110 kV, 35 kV, 20 kV, 10 kV i 0,4 kV. Tehnička preporuka br. 6”
- [3] <http://ww1.novkabel.com/>