

# Zemljospojna zaštita srednjenaponske distribucijske mreže

---

Capek, Toni

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:612377>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-29**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Diplomski sveučilišni studij**

**ZEMLJOSPOJNA ZAŠTITA SREDNJENAPONSKE  
DISTRIBUCIJSKE MREŽE**

**Diplomski rad**

**Toni Capek**

**Osijek, 2021. godina.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac D1: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit

Osijek, 17.09.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za diplomski ispit**

|  |  |
|--|--|
| Ime i prezime studenta:  | Toni Capek   |
| Studij, smjer:   | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika  |
| Mat. br. studenta, godina upisa:   | D-1221, 06.10.2019.  |
| OIB studenta:  | 28886565697  |
| Mentor:  | Prof.dr.sc. Srete Nikolovski   |
| Sumentor:  |  |
| Sumentor iz tvrtke:  |  |
| Predsjednik Povjerenstva:  | Izv. prof. dr. sc. Goran Knežević  |
| Član Povjerenstva 1:   | Prof.dr.sc. Srete Nikolovski   |
| Član Povjerenstva 2:   | Ružica Kljajić   |
| Naslov diplomskog rada:  | Zemljospojna zaštita srednjenaponske distribucijske mreže  |
| Znanstvena grana rada:   | <b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>  |
| Zadatak diplomskog rada:   | Objasniti načine uzemljenja distribucijske mreže srednjeg napona (SN).<br>Opisati moguće izvedne zemljospojne zaštite kod SN distribucijske mreže. U programskom alatu DlgSILENT modelirati dio SN mreže i provesti analizu 1FKS i koordinaciju zaštite. |
| Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (diplomskog rada):                                 | Izvrstan (5)   |
| Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova: | Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda<br>Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda<br>Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda<br>Razina samostalnosti: 3 razina  |
| Datum prijedloga ocjene mentora:   | 17.09.2021.  |
| Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:  | Potpis:  |
|  | Datum:   |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 29.09.2021.

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Ime i prezime studenta:          | Toni Capek                                  |
| Studij:                          | Diplomski sveučilišni studij Elektrotehnika |
| Mat. br. studenta, godina upisa: | D-1221, 06.10.2019.                         |
| Turnitin podudaranje [%]:        | 7   |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Zemljospojna zaštita srednjenaponske distribucijske mreže**

izrađen pod vodstvom mentora Prof.dr.sc. Srete Nikolovski

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. UVOD.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. DEFINICIJA I NAČINI UZEMLJENJA NEUTRALNE TOČKE<br/>SREDNJENAPONSKIH TRANSFORMATORA.....</b>     | <b>2</b>  |
| 2.1. Maloohmsko uzemljenje zvjezdišta .....   | 5         |
| 2.2. Izolirano zvjezdište .....   | 6         |
| 2.3. Uzemljeno zvjezdište preko prigušnice.....   | 7         |
| 2.4. Uzemljeno zvjezdište preko Petersenove prigušnice.....   | 8         |
| <b>3. MJERENJA STRUJE ZEMLJOSPOJA U TRAFOSTANICAMA 35/10 kV .....</b>                                 | <b>10</b> |
| 3.1. TS 35/10 kV Koprivnica 2 .....   | 11        |
| 3.2. TS 35/10 kV Rasinja .....  | 11        |
| 3.3. TS 35/10 kV Legrad .....   | 12        |
| 3.4. TS 35/10 kV Drnje.....   | 12        |
| 3.5. TS 35/10 kV Novigrad.....  | 13        |
| 3.6. TS 35/10 kV Pitomača.....  | 13        |
| 3.7. TS 35/10 kV Janaf.....   | 14        |
| 3.8. TS 35/10 kV Koprivnica 3 .....   | 14        |
| 3.9. TS 35/10 kV Koprivnica 1 .....   | 15        |
| 3.10. TS 35/10 kV Đurđevac .....  | 15        |
| <b>4. ANALIZA KRATKIH SPOJEVA SREDNJENAPONSKE MREŽE.....</b>  | <b>17</b> |
| 4.1. Modeliranje mreže .....  | 17        |
| 4.2. Analiza struje kratkog spoja .....   | 20        |
| <b>5. VERIFIKACIJA PARAMETARA ZAŠTITE U ODNOSU NA MJERENE REZULTATE<br/>KAPACITIVNIH STRUJA .....</b> | <b>26</b> |
| 5.1. TS 35/20 kV RASINJA .....  | 26        |
| 5.2. TS 35/10(20) kV KOPRIVNICA 1 .....   | 27        |
| 5.3. TS 35/10(20) kV KOPRIVNICA 2 .....   | 28        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5.4. TS 35/10 kV KOPRIVNICA 3.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>5.5. TS 35/20/10 kV DRNJE .....</b>      | <b>31</b> |
| <b>5.6. TS 35/20 kV LEGRAD.....</b>         | <b>32</b> |
| <b>5.7. TS 35/10 kV NOVIGRAD.....</b>       | <b>33</b> |
| <b>5.8. TS 35/10(20)kV ĐURĐEVAC .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>5.9. TS 35/10 kV JANAF .....</b>         | <b>35</b> |
| <b>5.10. TS 35/10(20) kV PITOMAČA .....</b> | <b>36</b> |
| <b>6. ZAKLJUČAK.....</b>                    | <b>37</b> |
| <b>7. LITERATURA.....</b>                   | <b>38</b> |
| <b>8. SAŽETAK.....</b>                      | <b>39</b> |
| <b>9. ABSTRACT .....</b>                    | <b>40</b> |
| <b>10. ŽIVOTOPIS.....</b>                   | <b>41</b> |

## 1. UVOD

Elektroenergetski sustav sastoji se od mnogo opreme i uređaja koje je potrebo štititi. Električna zaštita služi kako bi pravovremeno detektirala, signalizirala, te naposljetku odvojila kvar od „zdravog“ dijela mreže kako ne bi došlo do neke veće štete u elektroenergetskom sustavu. S obzirom da su svi elementi koji čine mrežu prilično skupi, a posebice transformator, pravilna koordinacija i podešenje električne zaštite u elektroenergetskom sustavu od iznimne je važnosti. U ovom radu fokus će biti na zemljospojnu zaštitu u srednjenaponskoj distribucijskoj mreži. Zemljospojna zaštita dosta je bitna u elektroenergetskom sustavu jer struje koje teku kroz dozemne kapacitete vodova mogu biti svega nekoliko ampera što je višestruko manje od nazivnih pogonskih struja, te ih je teže detektirati, odnosno podesiti relejnu zaštitu tako da djeluje uslijed pojave struje zemljospoja. U radu će biti objašnjene izvedbe uzemljenja srednjenaponskih transformatora, te primjena zaštite s obzirom na vrstu uzemljenja. Kao primjer struja zemljospoja i koliko one mogu biti malog iznosa dana su mjerenja u pojedinim 35/10 kV trafostanicama distribucijske mreže Elektre Koprivnice. Ključni podaci za podešenja električne zaštite su proračuni kratkih spojeva u mreži, a oni će biti napravljeni u programskom paketu Neplan. Sumentor Zdravko Matišić iz HEP-ODS Elektre Koprivnica ustupio je podatke za ranije navedena mjerenja struja zemljospoja, te podatke koji su nužni za izradu mreže i simulacija kratkih spojeva u programskom paketu Neplan. Nakon simulacija predložene će biti postavke zaštite za promatranu distribucijsku mrežu Elektre Koprivnice.

## 2. DEFINICIJA I NAČINI UZEMLJENJA NEUTRALNE TOČKE SREDNJENAPONSKIH TRANSFORMATORA

Zbog mogućih kvarova prema uzemljenim dijelovima, električna zaštita ovisi o načinu izvedbe uzemljenja neutralne točke energetskog transformatora. Diferencijalna zaštita manjim dijelom štiti samo manje nazivne struje transformatora. Kod energetskih transformatora velike snage, diferencijalna struja  $(0,1-0,2)I_n$  može biti znatno velika i zaštita neće osjetiti zemljospoj. Iz istih razloga potrebno je primijeniti zemljospojnu zaštitu ili specijalnu kotlovsku zaštitu.

Proradna struja podešava se iznad debalansa; obično  $(0,02-0,1)I_n$  kod vanjskih karakteristika kratkih spojeva. Kad je transformator spojen kabelom, koristiti se može i kabelski obuhvatni transformator.[1]

U mrežama se za izračun strujnih i naponskih prilika koristi metoda simetričnih komponenti. Tom metodom se nesimetrični trofazni sustav prikazuje kao tri simetrična sustava: nulti, inverzni i direktni sustav. Koristi se transformacijska Fortescueova matrica:

$$\underline{S} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Gdje matematički operatori  $\underline{a} = e^{j120^\circ}$  i  $\underline{a}^2 = e^{j240^\circ}$  predstavljaju fazni pomak. Struje pojedinačnih faza  $\underline{I}_{L1}$ ,  $\underline{I}_{L2}$ , i  $\underline{I}_{L3}$  transformiraju se u simetrične komponente L1 faze ( $\underline{I}_{(0)L1}$ ,  $\underline{I}_{(1)L1}$ ,  $\underline{I}_{(2)L1}$ ) izrazom:

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_{(0)L1} \\ \underline{I}_{(1)L1} \\ \underline{I}_{(2)L1} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \underline{a} & \underline{a}^2 \\ 1 & \underline{a}^2 & \underline{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{L1} \\ \underline{I}_{L2} \\ \underline{I}_{L3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Za L2 fazu:

$$\underline{I}_{(0)L2} = \underline{I}_{(0)L1} \quad (3)$$

$$\underline{I}_{(1)L2} = \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_{(1)L1} \quad (4)$$

$$\underline{I}_{(2)L2} = \underline{a} \cdot \underline{I}_{(2)L1} \quad (5)$$

Za L3 fazu:



$$\underline{I}_{(0)L3} = \underline{I}_{(0)L1} \quad (6)$$

$$\underline{I}_{(1)L3} = \underline{a} \cdot \underline{I}_{(1)L1} \quad (7)$$

$$\underline{I}_{(2)L3} = \underline{a}^2 \cdot \underline{I}_{(2)L1} \quad (8)$$

Kao i struje, na sličan način može se napraviti transformacija napona u simetrične komponente.

Uzme li se u obzir pojava dozemnog spoja u mrežama, napon u direktnom sustavu će tada biti:

$$\underline{U}_{(1)} = \underline{E} - \underline{I}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(1)} \quad (9)$$

U inverznom sustavu:

$$\underline{U}_{(2)} = -\underline{I}_{(2)} \cdot \underline{Z}_{(2)} \quad (10)$$

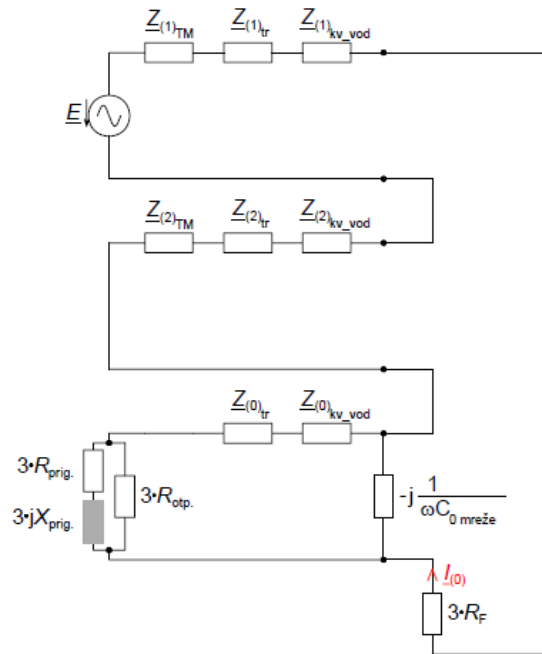
U nultom sustavu:

$$\underline{U}_{(0)} = -\underline{I}_{(0)} \cdot \underline{Z}_{(0)} \quad (11)$$

Za izračun struje kratkog spoja kod mjesta kvara u obzir se uzima i korekcijski faktor  $c$  koji množi nazivni napon, a njegov iznos ovisi o naponskoj razini na kojoj se analizira kvar i traži li se minimalna ili maksimalna struja kratkog spoja ( $c$  može biti u rasponu od 1,0 do 1,1). Tada jednopolnu struju kvara možemo prikazati izrazom:

$$\underline{I}_{K1} = 3 \cdot \frac{c \cdot \frac{U_{n1}}{\sqrt{3}}}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(0)}} \quad (12)$$

Slika 2.1. prikazuje nadomjesnu shemu prilikom dozemnog spoja u mreži gdje je zvjezdište transformatora uzemljeno preko prigušnice. [5]



Slika 2.1.

-nadmjesna shema zemljospoja [5]

U ovom slučaju kada se u obzir uzme i prijelazni otpor, struja jednofaznog kratkog spoja iznosi:

$$\underline{I}_{k1} = 3 \cdot \underline{I}_{(0)} = 3 \cdot \frac{E}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(0)} + 3 \cdot R_F} \quad (13)$$

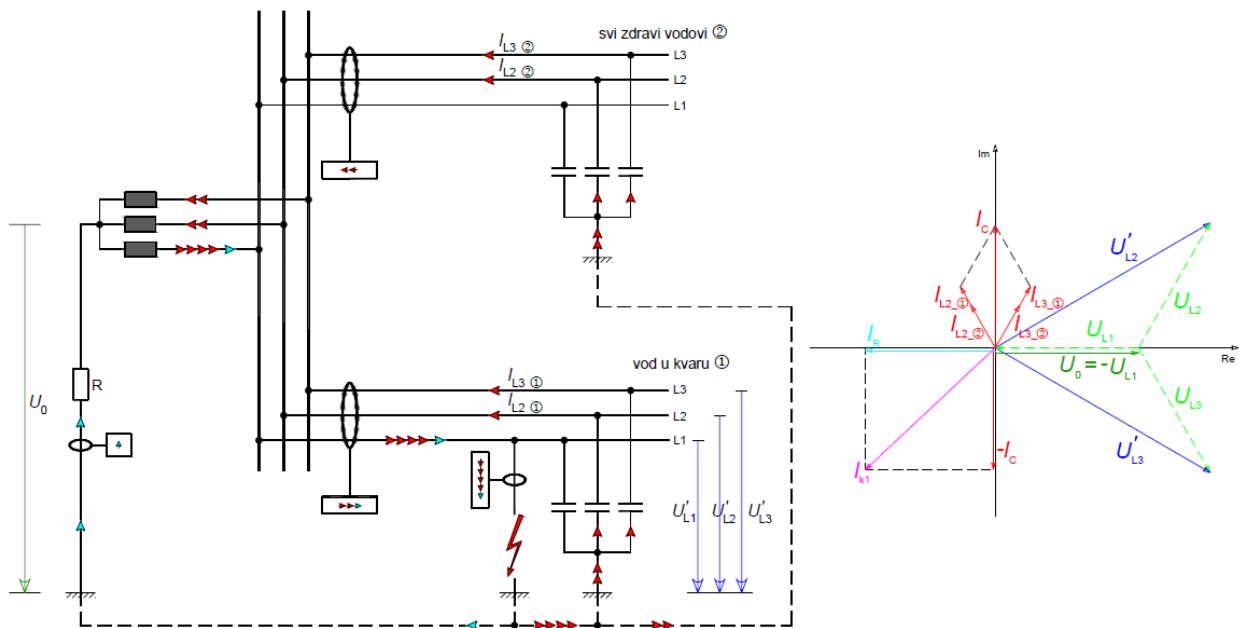
Uzemljivački sustavi u srednjenaponskoj mreži mogu se razlikovati prema načinu spajanja neutralne točke (zvjezdišta) transformatora i zemlje. Neki od načina spajanja su:

- Maloohmsko uzemljenje zvjezdišta
- Izolirano zvjezdište
- Uzemljeno zvjezdište preko prigušnice
- Uzemljeno zvjezdište preko Petersenove prigušnice [5]

## 2.1. Maloohmsko uzemljenje zvjezdišta

Zvjezdište transformatora spojeno električnom vezom sa zemljom preko malog otpora. Prednosti ove izvedbe su pouzdanije djelovanje zaštitnih uređaja, smanjenje rizika od pojave intermitirajućih prenapona i korištenje opreme koja ne zahtjeva jaču izolaciju. Zbog pojave velikih struja prilikom kvara može doći do štete ili smetnji u pomoćnim krugovima i komunikacijskim uređajima, kao i do povećanih napona dodira i koraka. [2]

Važan parametar kod promatranja kvarova u mreži je i nulti napon  $U_0$ , odnosno napon koji je jednak vektorskom zbroju napona sve tri faze. [3]



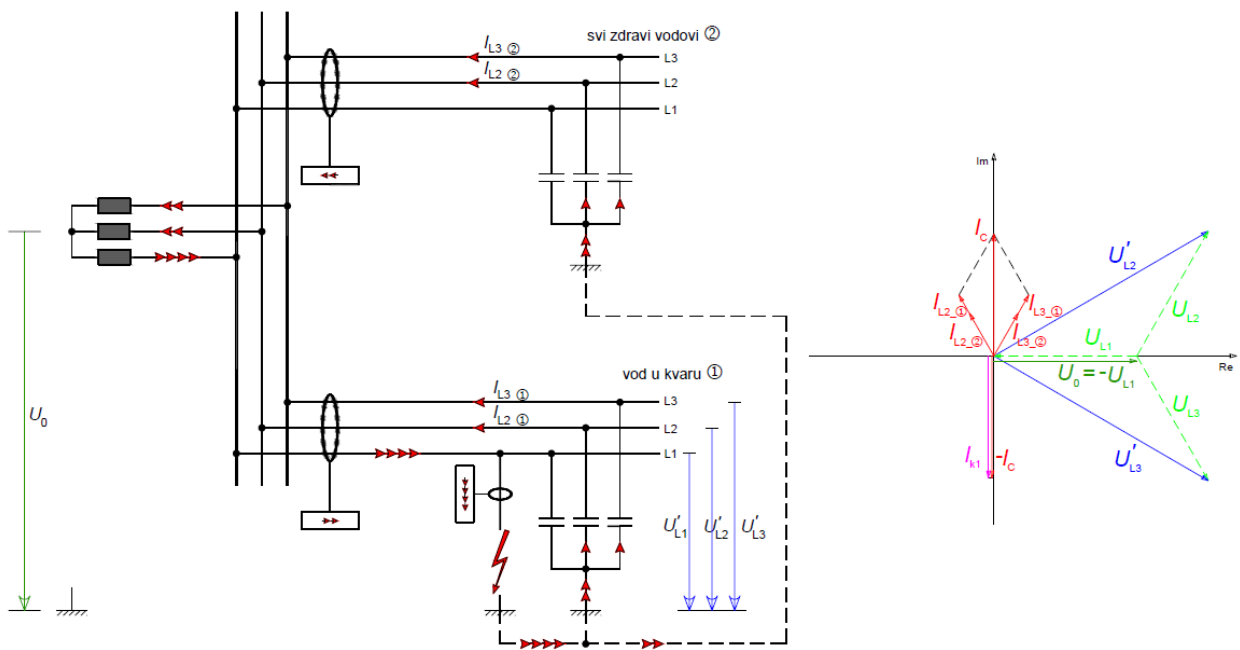
Slika 2.2.

-kvar u mreži s maloohmskim uzemljenjem i pripadajući fazorski dijagram [5]

Struja kratkog spoja sastoji se od radne i kapacitivne komponente. Iz fazorskog dijagrama danog slikom 2.2. vidljivo je da se struja kvara u odnosu na napon zvjezdišta koji je referentan nalazi u 3. kvadrantu. Pri izvedbi maloohmskog uzemljenja u praksi se najčešće koriste otpornici nazivnih struja 300 A i 150 A. U ovakvoj mreži kvaliteta opskrbe električne energije može biti narušena jer i manji prolazni kvar uzrokuje ispad napajanja. [5]

## 2.2. Izolirano zvjezdište

Često se u praksi koristi mreža u izoliranom pogonu, odnosno bez uzemljenog zvjezdišta transformatora. Prednost ove izvedbe je ta da za vrijeme pojave kvara kroz zemlju ne teče struja. Prilikom pojave zemljospoja u ovakvoj mreži naponi zdravih faza mogu se popeti na znatno više vrijednosti od nazivnih. Struje koje teku prilikom kvara su male, a njihov iznos najviše ovisi o kapacitivnoj reaktanciji vodova i kabela i prijelaznom otporu. Zbog povećanih napona ostalih faza uslijed kvara, u ovakvoj mreži potrebno je sve izolatore dimenzionirati da izdrže prenapone. [3][4]



Slika 2.3.

-kvar u mreži s izoliranim zvjezdištem i pripadajući fazorski dijagram [5]

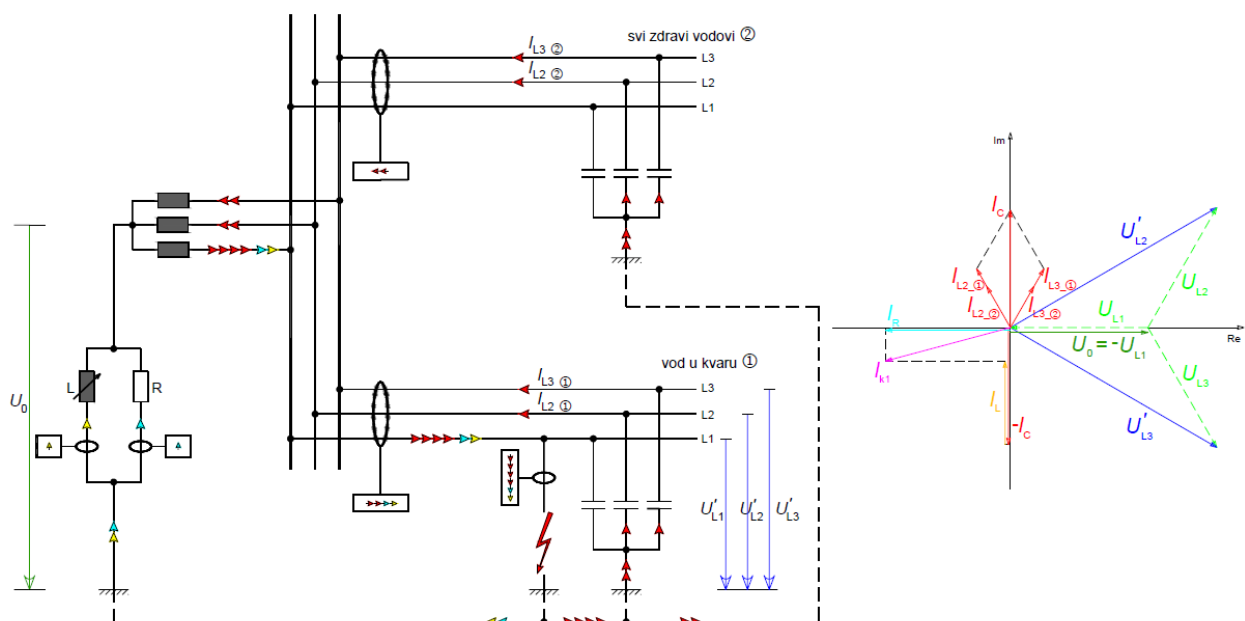
Fazorski dijagram prikazan slikom 2.3. odgovara tzv. metalnom zemljospoju. Za male vrijednosti prijelaznog otpora napon zvjezdišta približan je iznosu faznog napona. U stacionarnom dijelu kvara u zdravim fazama faktor prenapona uz mali prijelazni otpor popeti se može i do 1,9. U slučaju intermitirajućeg zemljospoja prenapon može poprimiti i znatno više

vrijednosti u tranzijentnom dijelu kvara. Kod manjih prolaznih kvarova dolazi do samogašenja kvara, te se kvarni vod ne isključuje i time utječe pozitivno na kvalitetu opskrbe. [5]

### 2.3. Uzemljeno zvjezdište preko prigušnice

Ova izvedba smanjuje kapacitivnu komponentu struje kratkog spoja koja prolazi kroz zemlju, te samim time i smanjuje ukupan iznos struje kvara, te napone dodira i koraka koji se javljaju za vrijeme kvara. Moguće korištenje jednostavnijih selektivnih zaštitnih uređaja u ovakvom sustavu. [2]

U 20 kV mrežama primjenom maloohmskog otpora uzemljenja došlo je do znatnog povećanja kapacitivnih struja. Upotrebom otpornika od 150 A nalaže se preporučeni iznos kapacitivne struje 100 A, a sve kapacitivne struje iznad te vrijednosti je potrebno kompenzirati. Iz navedenog razloga kapacitivna struja u nekim 20 kV mrežama premašuje 100 A, te se kao tehničko rješenje uzemljenja transformatora koristi paralelni spoj maloohmskog otpornika i ručno podesive prigušnice (slika 2.4.) u svrhu kompenzacije kapacitivne struje. [5]



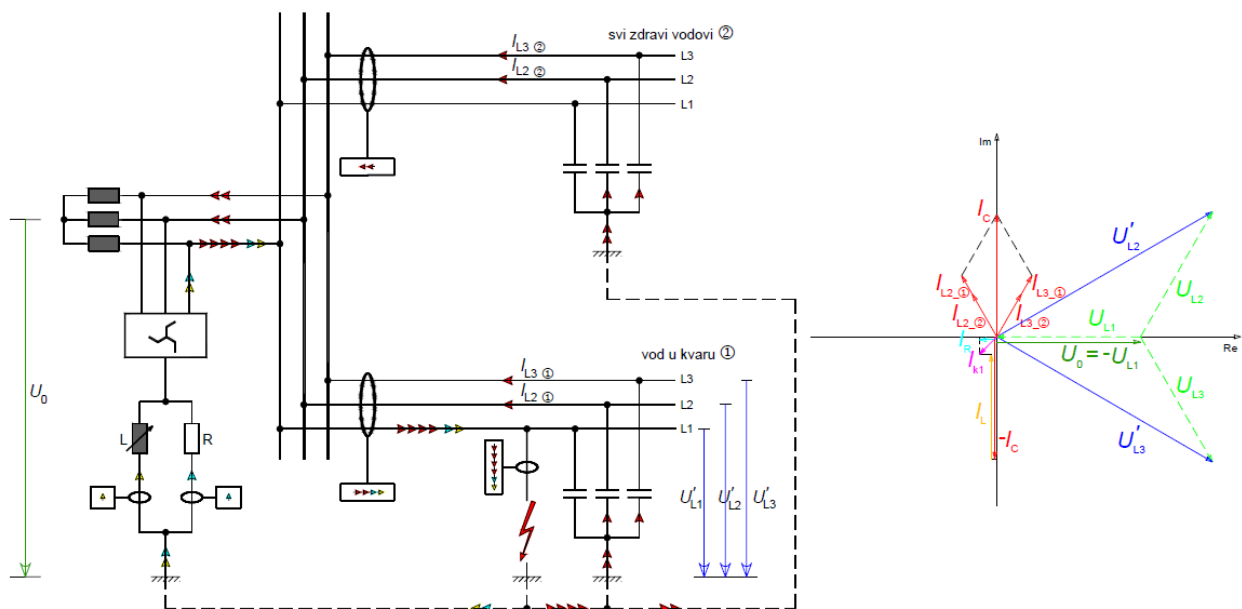
Slika 2.4.

-kvar u mreži s uzemljenjem preko prigušnice i pripadajući fazorski dijagram [5]

Djelomična kompenzacija postignuta je ovakvim rješenjem sa strujom  $I_L - I_C \leq 50$  A, te nije potrebno mijenjati zaštitne uređaje jer su zadržane sve ostale karakteristike maloohmskog uzemljenja. Sustav može biti nadkompenziran ili podkompenziran s obzirom na iznos induktivne struje, pa se struja kvara može naći u 2. ili 3. kvadrantu promatrajući referenti napon zvjezdišta. [5]

## 2.4. Uzemljeno zvjezdište preko Petersenove prigušnice

Petersenova automatska prigušnica služi kako bi se kompenzirala kapacitivna komponenta struje prilikom pojave kvara. Razlog za rezonantno uzemljenje je povećanje kvalitete opskrbes aspekta pouzdanosti napajanja. Najčešće se Petersenove prigušnice primjenjuju prema načinu izvedbe: kontinuirane automatske prigušnice i stupnjevane automatske prigušnice. [5]



Slika 2.5.

-kvar u mreži s uzemljenjem preko Petersenove prigušnice i pripadajući fazorski dijagram [5]

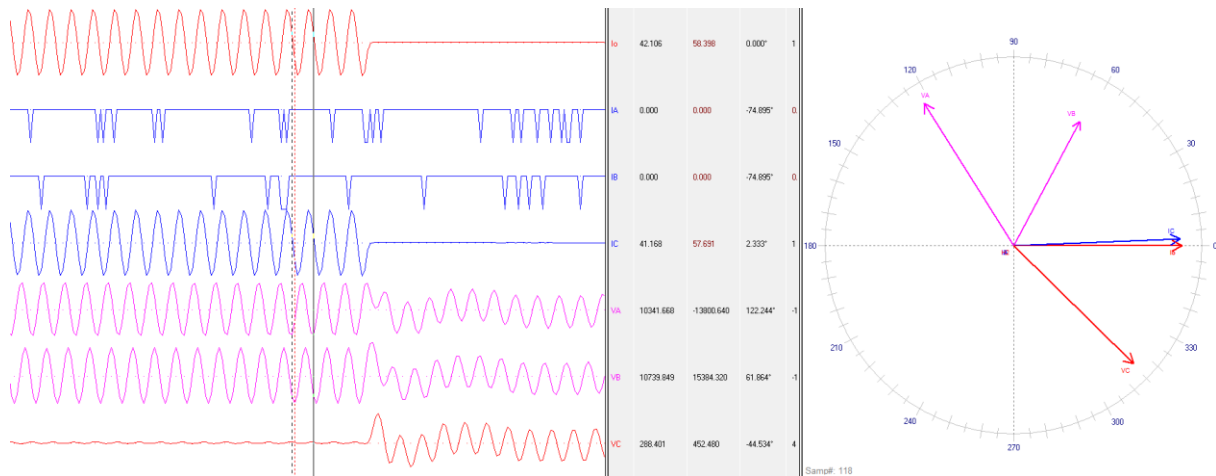
Zbog male struje kvara  $I_{K1}$  moguće je samogašenje kvarova, pa niti jedan zemljospoj ne uzrokuje ispad voda što uvelike pridonosi kvaliteti opskrbe napajanja. Opasnost od visokih potencijala uzemljivača svedena je na minimum, te nema potrebe za dimenzioniranjem skupljih uzemljivačkih sustava trafostanica. Zbog sporijeg rasta povratnog napona kod gašenja električnog luka nego pri ostalim tipovima uzemljenja, prag samogašenja kvara je povećan. Iz navedenog razloga je broj kvarova kod rezonantnog uzemljenja manji nego kod izoliranog zvjezdišta jer se manji broj jednopolnih kvarova pretvara u višepolne kvarove. Mane ovog tipa uzemljenja su slabija osjetljivost kod visokoohmskih kvarova i značajniji trošak investicije. [5]

### 3. MJERENJA STRUJE ZEMLJOSPOJA U TRAFOSTANICAMA 35/10 kV

U ovom poglavlju analizira se mjerenje struje zemljospoja tj. struja doprinosa vodova 10 kV sustava po pojedinoj TS 35/10 kV u sustavu Elektre Koprivnica. Bitno za naglasiti jest da je promatrana mreža izoliranog tipa tj. nema pogonskog uzemljenja zvjezdista energetskih transformatora.

Postupak mjerenja:

U rezervnoj ćeliji ili trafo ćeliji kućnog transformatora spoji se faza sa uzemljenjem ( u bez naponskom stanju ), ubacuju se sabirnički i linijski rastavljač, te na nalog mjerne grupe dispečer uklapa daljinski sklopku rezervne ćelije, u tom trenutku aktivira se „START“ i nakon 1 sekunde „TRIP“ usmjerene zemljospojne zaštite  $I_{o>}$  . Numerički relej KCEG142 ima opciju praćenja poremećaja tzv. „DISTURBANCE RECORD“ (Slika1).



Slika 3.1.

-primjer - ispis iz „Disturbance records“ ćelije K12 (zemljospoj na fazi C)



### 3.1. TS 35/10 kV Koprivnica 2

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja K09;  $I_0 = 40,8 \text{ A}$

Struje doprinosa vodnih polja;

J01 ->  $I_0 = 2 \text{ A}$

J02->  $I_0 = 7,125 \text{ A}$

J04->  $I_0 = 1,75 \text{ A}$

J05->  $I_0 = 1,875 \text{ A}$

J08->  $I_0 = 4,125 \text{ A}$

J09->  $I_0 = 8,625 \text{ A}$

K08->  $I_0 = 1,65 \text{ A}$

K11->  $I_0 = 5,8 \text{ A}$

K13->  $I_0 = 6,6 \text{ A}$

$$I_0^{K12} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.2. TS 35/10 kV Rasinja

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja J11;  $I_0 = 22 \text{ A}$

Struje doprinosa vodnih polja;

J03->  $I_0 = 1,15 \text{ A}$

J04->  $I_0 = 10,9 \text{ A}$

J05->  $I_0 = 5,05 \text{ A}$

J08->  $I_0 = 2,18 \text{ A}$

J09->  $I_0 = 8,625 \text{ A}$

J10-> I0 = 2,55 A

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.3. TS 35/10 kV Legrad

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja J10; I0 = **6,4 A**

Struje doprinosa vodnih polja;

J01 -> I0 = 1,65 A

J02-> I0 = 5,1 A

J03-> I0 = 1,75 A

J05-> I0 < 0,75 A

J11-> I0 < 0,75 A

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.4. TS 35/10 kV Drnje

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja K12; I0 = **38,6 A**

Struje doprinosa vodnih polja;

K03 -> I0 = 12,4 A

K05-> I0 = 1 A

K07-> I0 = 9,4 A

K08-> I0 = 2,5 A

K11-> I0 = 1,9 A

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.5. TS 35/10 kV Novigrad

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja K10;  $I_0 = 23,8 \text{ A}$

Struje doprinosa vodnih polja;

K01 ->  $I_0 = 1,33 \text{ A}$

K03->  $I_0 = 16,8 \text{ A}$

K04->  $I_0 < 1 \text{ A}$

K08->  $I_0 < 1 \text{ A}$

K09->  $I_0 = 4,2 \text{ A}$

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.6. TS 35/10 kV Pitomača

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja K09;  $I_0 = 42,4 \text{ A}$

Struje doprinosa vodnih polja;

K01 ->  $I_0 = 18,8 \text{ A}$

K04->  $I_0 = 3,85 \text{ A}$

K05->  $I_0 = 4,7 \text{ A}$

K07->  $I_0 = 5,98 \text{ A}$

K08->  $I_0 = 1,3 \text{ A}$

K11->  $I_0 = 9,18 \text{ A}$

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.7. TS 35/10 kV Janaf

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja K10;  $I_0 = 33,6 \text{ A}$

Struje doprinosa vodnih polja;

K01 ->  $I_0 = 10,6 \text{ A}$

K02->  $I_0 = 6,2 \text{ A}$

K03->  $I_0 = 5 \text{ A}$

K04->  $I_0 = 2,2 \text{ A}$

K07->  $I_0 = 10,5 \text{ A}$

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.8. TS 35/10 kV Koprivnica 3

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja K07;  $I_0 = 47 \text{ A}$

Struje doprinosa vodnih polja;

K02 ->  $I_0 = 3 \text{ A}$

K04->  $I_0 = 1 \text{ A}$

K08->  $I_0 = 3 \text{ A}$

K10->  $I_0 < 16 \text{ A}$

K11->  $I_0 = 6 \text{ A}$

K12->  $I_0 < 1 \text{ A}$

K13-> I0 = 14 A

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.9. TS 35/10 kV Koprivnica 1

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja J05; I0 = **71,36 A**

Struje doprinosa vodnih polja;

J02 -> I0 = 13,86 A

J04-> I0 = 11,48 A

J07-> I0 = 11A

J08-> I0 = 12 A

J09-> I0 = 9 A

J12-> I0 = 14 A

$$I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}$$

### 3.10. TS 35/10 kV Đurđevac

Rezultati mjerenja;

Struja zemljospoja J07; I0 = **84,6 A**

Struje doprinosa vodnih polja;

J02 -> I0 = 4,,9 A

J04-> I0 = 18,8 A

J05-> I0 = 8,6A

J09-> I0 = 8,4 A

$$J11 \rightarrow I_0 = 27,1 \text{ A}$$

$$J12 \rightarrow I_0 = 7,8 \text{ A}$$

$$J13 \rightarrow I_0 = 4,5 \text{ A}$$

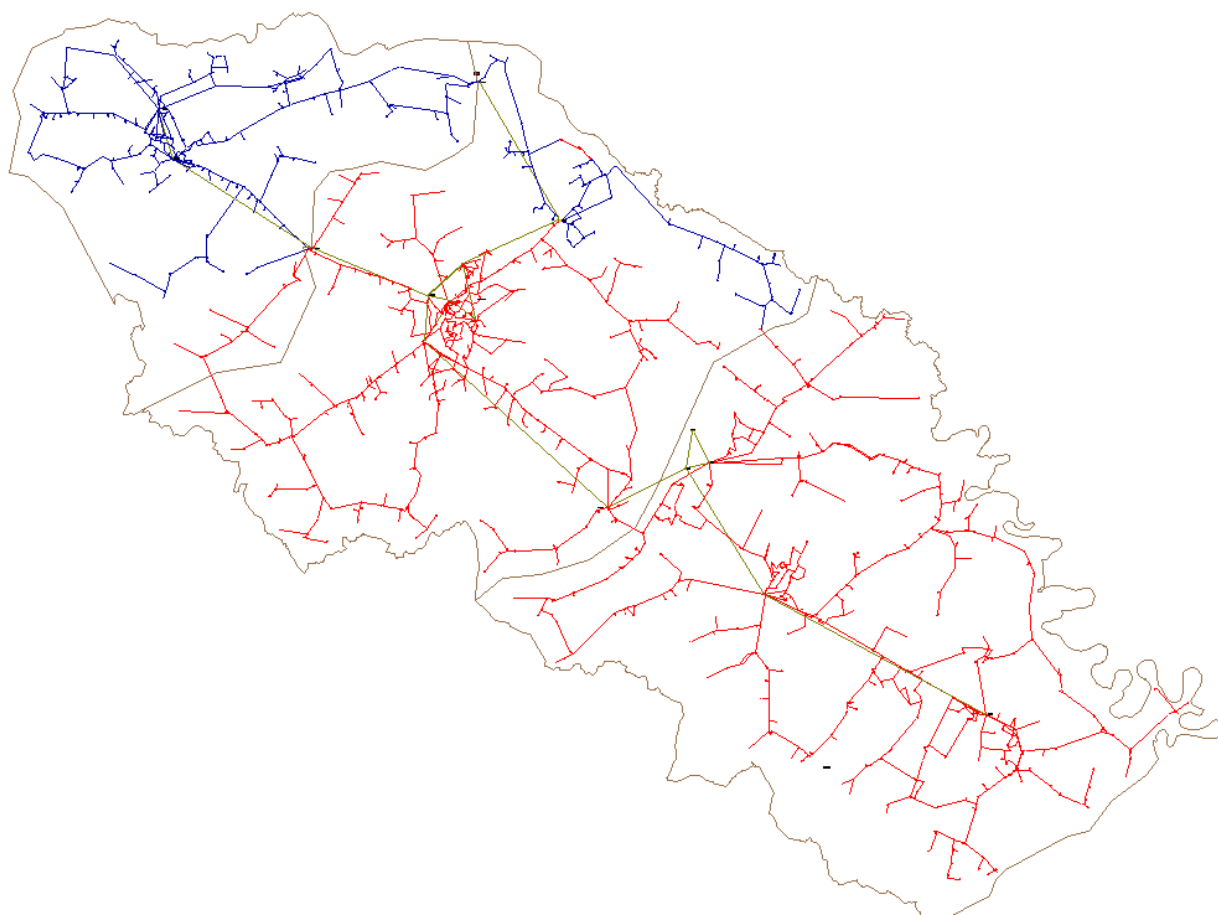
$$J14 \rightarrow I_0 = 4,5 \text{ A}$$

$$I_0^{K_0, J_0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K, J}$$

## 4. ANALIZA KRATKIH SPOJEVA SREDNENAPONSKE MREŽE

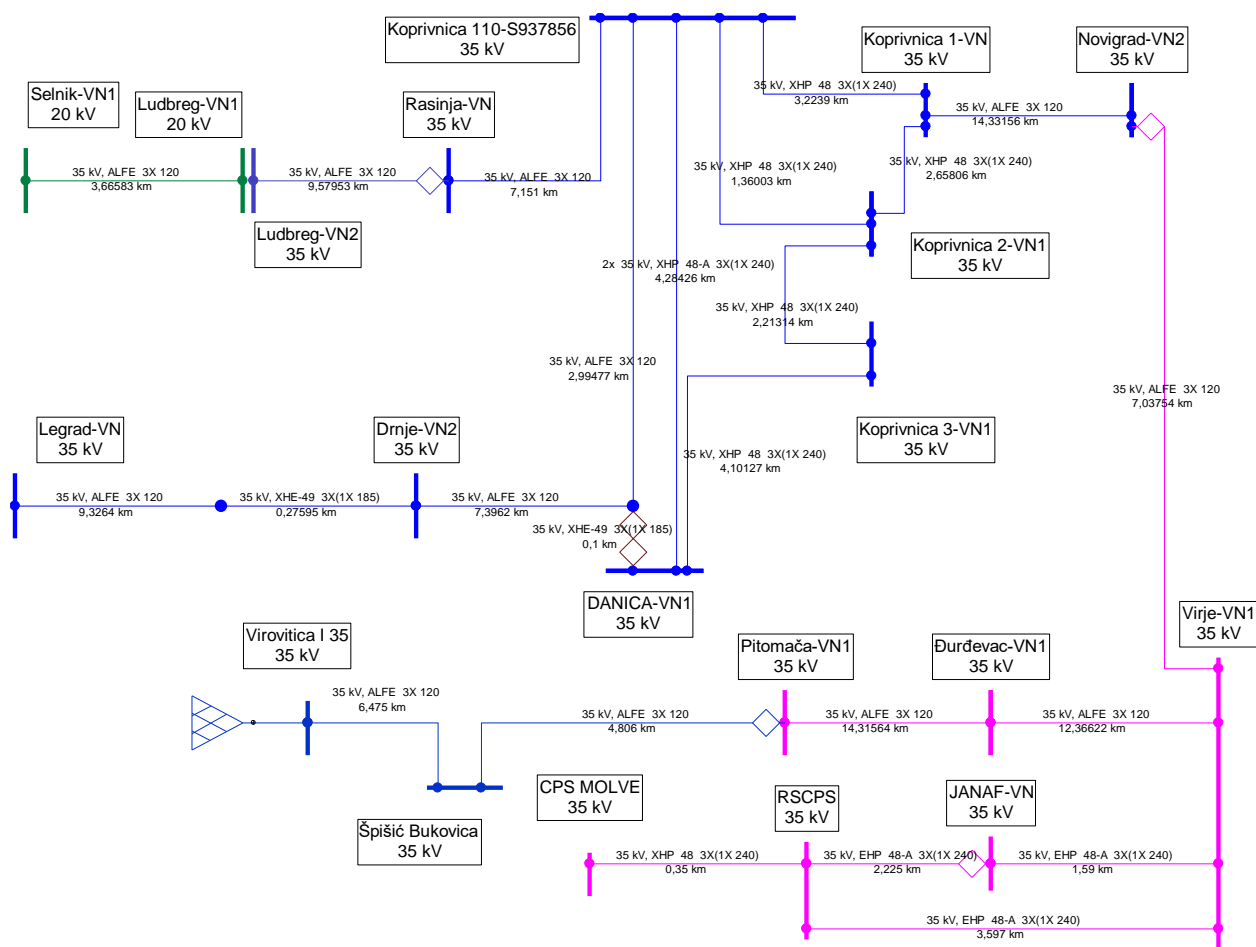
### 4.1. Modeliranje mreže

Model mreže napravljen je u Neplanu. Podaci i izgled mreže su preuzeti iz DeGIS-a za potrebe planiranja distribucijske mreže. Mreža je osvežena na temelju novih SCADA prikaza uklopnog stanja i osvežene AutoCAD podloge s novoizgrađenim i izmijenjenim vodovima. AutoCAD je kreiran iz DeGIS-a te inicijalno odgovara postojećem stanju.



Slika 4.1.

- Izgled mreže Elektra Koprivnica u DeGIS-u - plavo 20 kV, crveno 10 kV mreža



Slika 4.2.

- prikaz 35 kV naponske razine referentne mreže

Promatrano područje se napaja iz tri transformatorske stanice 110/x kV:

- TS 110/20 kV Selnik 2x20 MVA
- TS 110/35/10 kV Koprivnica 2x40 MVA
- TS 110/35/10 kV Virje 2x20 MVA

Nadomjesna mreža gore navedenih stanica modelirana je na 110 kV naponskoj razini za koju je poznat iznos struja jednofaznog i trofaznog kratkog spoja. Za potrebe ove diplomskog rada, transformatori nisu u paralelnom radu.



TS 110/35 kV Virovitica I koja se razmatra u nekim varijantama kao rezervni smjer napajanja je modelirana na 35 kV naponskoj razini s poznatim strujama trofaznog i jednofaznog kratkog spoja.

Tablica 4.1. -struje kratkog spoja za modeliranje nadomjesne mreže

| Naziv        | Un [kV] | K3 [kA] | K1 [kA] |
|--------------|---------|---------|---------|
| Selnik       | 110     | 11,2    | 9,7     |
| Koprivnica   | 110     | 14,9    | 14,1    |
| Virje        | 110     | 5,0     | 4,1     |
| Virovitica I | 35      | 4,086   | 0,315   |

Tablica 4.2. - Uzemljenje neutralne točke transformatora u stanicama 110/35 kV na 35 kV strani

| Naziv TS 110/x KV | Instalirana snaga | Paralela | Uzemljenje neutralne točke |
|-------------------|-------------------|----------|----------------------------|
| Koprivnica        | 2x40 MVA          | ne       | 74 Ohm, 35 kV              |
| Virje             | 2x20 MVA          | ne       | 74 Ohm, 35 kV              |
| Selnik            | 2x20 MVA          | ne       | 74 Ohm, 35 kV              |

35 kV mreža je uzemljena preko malog otpora koji ograničava jednofaznu struju kratkog spoja na 300 A. U 10 kV i 20 kV mreži planira se uzemljiti neutralnu točku transformatora preko kombinacije malog otpora i ručno stupnjevane prigušnice. Planirana radna komponenta struje je 150 A. 10 kV mreža nije prikazana shematski u ovom radu jer je raspoređena po zonama, te je prikaz te mreže dosta velik i nezgrapjan za stavljanje u rad.

Tablica 4.3. -Pregled uzemljenja neutralne točke transformatora 35/x kV

| TS            | Prije nosni omjer | Instalirana snaga | Paralelni rad | Sekcija | Kapacitivna struja [A] | R [Ω] | X [Ω] | Nominalna struja uzemljivača             |
|---------------|-------------------|-------------------|---------------|---------|------------------------|-------|-------|--|
| <b>Selnik</b> | 110/20            | 2x20 MVA          | ne            | 2       | <b>273,6</b>           | 84    | 45    | <b>150 A radno,<br/>280 A induktivno</b> |

|                         |       |            |    |   |             |      |     |   |
|-------------------------|-------|------------|----|---|-------------|------|-----|---|
| <b>Rasinja</b>          | 35/10 | 4<br>MVA   | ne | 2 | <b>3,4</b>  | ∞    | ∞   | <b>izolirano</b>                            |
| <b>Legrad</b>           | 35/10 | 2x4<br>MVA | da | 1 | <b>24,4</b> | 84,0 | 423 | <b>150 A radno,<br/>30 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Koprivnica<br/>1</b> | 35/10 | 8<br>MVA   | ne | 2 | <b>33,4</b> | 42,0 | 159 | <b>150 A radno,<br/>40 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Koprivnica<br/>2</b> | 35/10 | 2x8<br>MVA | da | 1 | <b>44,7</b> | 42,0 | 127 | <b>150 A radno,<br/>50 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Koprivnica<br/>3</b> | 35/10 | 2x8<br>MVA | da | 1 | <b>55,4</b> | 42,0 | 106 | <b>150 A radno,<br/>60 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Danica</b>           | 35/10 | 2x8<br>MVA | da | 1 | <b>12,4</b> | 42,0 | -   | <b>150 A radno</b>                          |
| <b>Drnje</b>            | 35/10 | 2x4<br>MVA | da | 1 | <b>36,6</b> | 42,0 | 159 | <b>150 A radno,<br/>40 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Novigrad</b>         | 35/10 | 8<br>MVA   | da | 1 | <b>18,2</b> | 42,0 | 318 | <b>150 A radno,<br/>20 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Janaf</b>            | 35/10 | 2x4<br>MVA | da | 1 | <b>57,0</b> | 42,0 | 106 | <b>150 A radno,<br/>60 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Đurđevac</b>         | 35/10 | 8<br>MVA   | ne | 2 | <b>77,1</b> | 42,0 | 79  | <b>150 A radno,<br/>80 A<br/>induktivno</b> |
| <b>Pitomača</b>         | 35/10 | 2x8<br>MVA | da | 2 | <b>61,2</b> | 84,0 | 195 | <b>150 A radno,<br/>65 A<br/>induktivno</b> |

## 4.2. Analiza struje kratkog spoja

Nakon modeliranja mreže i primjene podataka o transformatorima i njihovim izvedbama uzemljivačkih sustava provedena je analiza kratkih spojeva za pojedine točke mreže. Tablica 4.4. daje prikaz struja kratkog spoja za jednofazni, dvofazni i trofazni kvar u čvorištima 10/20 kV mreže. Prikaz struja za 10 kV i 20 kV čvorišta u pojnim točkama, rezultati prikazani predstavljaju električki najdalju ili krajnju točku kod koje je očekivana najmanja struja kratkih spojeva. Te struje se uzimaju kao maksimalne struje kratkog spoja za pregled podešenja zaštitnih releja 10 kV i 20 kV izvoda.

Tablica 4.4. - Pregled struja kratkog spoja po čvorištima x/10(20) kV za referentni model mreže

| Pojna točka  | Izvod                | Un<br>[kV] | Čvorište                   | K1 [A] | K2 [A]  | K3 [A]  |
|--------------|----------------------|------------|----------------------------|--------|---------|---------|
| DANICA-NN1   | K08<br>Pivovara      | 10         | DANICA-PIVOVARA 2          | 150,0  | 3.569,2 | 4.121,3 |
| DANICA-NN1   | K09 Juhe             | 10         | BELUPO 2                   | 148,8  | 3.134,4 | 3.619,3 |
| DANICA-NN2   | Belupo 3             | 10         | BELUPO 3                   | 150,0  | 3.544,6 | 4.093,0 |
| DANICA-NN2   | K02 Kvasac           | 10         | KLAONICA 2                 | 149,7  | 3.518,0 | 4.062,2 |
| DANICA-NN2   | K03 Zlatka           | 10         | BELUPO 1                   | 149,9  | 3.557,8 | 4.108,2 |
| Drnje-NN1    | K07 Legrad           | 10         | ĐELEKOVEC 4                | 138,3  | 1.066,2 | 1.231,1 |
| Drnje-NN1    | K08<br>Soderica      | 10         | ŠODERICA 3                 | 132,9  | 798,4   | 921,9   |
| Drnje-NN1    | K10 Gola             | 10         | GOLA JANAF                 | 104,3  | 330,4   | 381,5   |
| Drnje-NN1    | K11 Drnje            | 10         | DRNJE 4                    | 138,5  | 1.174,4 | 1.356,1 |
| Drnje-NN2    | K03 Hlebine          | 10         | G. Greda ŠLJUNKARA<br>2    | 117,0  | 479,5   | 553,7   |
| Đurđevac-NN1 | J04 Segrad           | 10         | ĐURĐ. STARI GRAD           | 138,5  | 1.646,0 | 1.911,9 |
| Đurđevac-NN1 | J05<br>Basariček     | 10         | ĐURĐ. BANA<br>JELAČIĆA 1   | 140,4  | 1.760,4 | 2.045,9 |
| Đurđevac-NN1 | J09 Vinogra.         | 10         | ĐURĐ.<br>BASARIČEKOVA 1    | 144,2  | 2.064,7 | 2.403,1 |
| Đurđevac-NN1 | J11<br>Ferdinand     | 10         | BRODIĆ                     | 110,8  | 445,5   | 515,0   |
| Đurđevac-NN1 | J13 Bilo 1           | 10         | ĐURĐ. SILOSI 1             | 147,0  | 2.359,7 | 2.750,6 |
| Đurđevac-NN2 | J02<br>Rakitnica     | 20         | JABUČATA 3                 | 130,5  | 689,6   | 800,0   |
| Đurđevac-NN2 | J12 Klostar          | 20         | SUHA KATALENA 3            | 131,6  | 698,8   | 810,8   |
| Đurđevac-NN2 | J14 Sir.<br>Katalena | 20         | SIR. KATALENA 1 -<br>CRKVA | 131,8  | 707,3   | 820,1   |
| JANAF-NN     | K01 Molve            | 10         | P. MIŠKINE                 | 133,4  | 1.085,6 | 1.257,8 |
| JANAF-NN     | K02 Ždala            | 10         | REPAŠ - ČAMBINA            | 115,5  | 463,5   | 535,8   |
| JANAF-NN     | K03<br>Severov.      | 10         | CRNAC KINGOVO              | 117,2  | 515,3   | 595,9   |

| Pojna točka       | Izvod                      | Un<br>[kV] | Čvorište      | K1 [A] | K2 [A]  | K3 [A]  |
|-------------------|----------------------------|------------|---------------|--------|---------|---------|
| JANAF-NN          | K04 Virje<br>Novigrad      | 10         | MIHOLJANSKA   | 138,2  | 1.184,3 | 1.373,6 |
| JANAF-NN          | K07<br>V.Durdevac          | 10         | FAZANERIJA    | 131,9  | 750,9   | 869,3   |
| Koprivnica<br>NN1 | 1- K01<br>Križevačka<br>c1 | 10         | VINICA 7      | 149,4  | 2.767,4 | 3.195,5 |
| Koprivnica<br>NN1 | 1- K04<br>Dubovec          | 10         | OPATIČKA      | 149,0  | 2.564,5 | 2.961,2 |
| Koprivnica<br>NN1 | 1- K08 Crna<br>gora        | 10         | MOČILE 3      | 146,0  | 1.878,6 | 2.169,2 |
| Koprivnica<br>NN2 | 1- K02<br>Križevačka<br>c2 | 20         | STARIGRAD 3   | 144,9  | 1.733,1 | 2.001,2 |
| Koprivnica<br>NN2 | 1- K07<br>Jagnjedov        | 20         | DONJI MASLARI | 133,0  | 798,9   | 922,5   |
| Koprivnica<br>NN2 | 1- K09 SOKOL.              | 20         | ŠIROKO SELO   | 130,2  | 704,3   | 813,3   |
| Koprivnica<br>NN2 | 1- K10 Bregi               | 20         | JEDUŠEVAC     | 137,5  | 987,6   | 1.140,4 |
| Koprivnica<br>NN1 | 2- K07 Severov             | 10         | LJ. POSAVSKOG | 146,7  | 3.102,1 | 3.582,0 |
| Koprivnica<br>NN1 | 2- K08 P. Mlin             | 10         | MARKETING     | 149,2  | 3.629,2 | 4.190,7 |
| Koprivnica<br>NN1 | 2- K10 Bilok 3             | 10         | BILOKALNIK 7  | 148,7  | 3.473,8 | 4.011,3 |
| Koprivnica<br>NN1 | 2- K11 B.<br>Busica        | 10         | VARAŽDINSKA 2 | 147,1  | 3.205,8 | 3.701,7 |
| Koprivnica<br>NN1 | 2- K12 Sv. Duh             | 10         | HŽP 2         | 149,5  | 3.598,1 | 4.154,8 |
| Koprivnica<br>NN1 | 2- K14<br>Vodovod          | 10         | PETERANEC 1   | 137,7  | 1.249,9 | 1.443,3 |

| Pojna točka    | Izvod                    | Un<br>[kV] | Čvorište                | K1 [A] | K2 [A]  | K3 [A]  |
|----------------|--------------------------|------------|-------------------------|--------|---------|---------|
| Koprivnica NN1 | 2-<br>K18 8-kat          | 10         | TARAŠČICE 4             | 148,0  | 3.289,0 | 3.797,8 |
| Koprivnica NN2 | 2-<br>K02 Kokteli        | 10         | PODRAVKA 2              | 149,3  | 3.638,1 | 4.201,0 |
| Koprivnica NN2 | 2-<br>K03 Ivanec         | 10         | PIŠKORNICA              | 128,3  | 815,4   | 941,5   |
| Koprivnica NN2 | 2-<br>K06 Bilokal.<br>2  | 10         | BILOKALNIK 2            | 150,3  | 3.773,9 | 4.357,7 |
| Koprivnica NN1 | 3-<br>K02<br>Merkator    | 10         | DUGA ULICA              | 146,9  | 3.077,6 | 3.553,7 |
| Koprivnica NN1 | 3-<br>K04 K.<br>Domagoja | 10         | Lenišće 5 - istok       | 149,3  | 3.468,7 | 4.005,3 |
| Koprivnica NN1 | 3-<br>K08 T.<br>Blazeka  | 10         | DRAVSKA 1               | 147,6  | 3.056,4 | 3.529,2 |
| Koprivnica NN1 | 3-<br>K10 Lenisce<br>1   | 10         | MIKLINOVEC 5            | 139,9  | 2.030,5 | 2.344,6 |
| Koprivnica NN1 | 3-<br>K11 Lenisce<br>2   | 10         | MAGDALENSKA             | 143,7  | 2.502,0 | 2.889,1 |
| Koprivnica NN1 | 3-<br>K12 Bolnica        | 10         | BOLNICA                 | 150,3  | 3.668,8 | 4.236,4 |
| Koprivnica NN2 | 3-<br>K13<br>Herešinska  | 10         | VOJARNA 1               | 137,7  | 1.812,9 | 2.093,3 |
| Legrad-NN1     | K01<br>Imbriovec         | 20         | SELNICA                 | 127,8  | 555,0   | 640,9   |
| Legrad-NN1     | K02 Legrad               | 20         | LEGRAD 3                | 144,0  | 948,3   | 1.095,0 |
| Legrad-NN1     | Veliki Otok 3            | 20         | VELIKI OTOK 2           | 144,2  | 948,0   | 1.094,6 |
| Ludbreg-NN1    | J07 Belupo               | 20         | MALA PRIVREDA           | 147,4  | 2.420,7 | 2.795,2 |
| Ludbreg-NN1    | J13 F.<br>Galovića       | 20         | OPREMA 2                | 147,6  | 2.454,5 | 2.834,2 |
| Ludbreg-NN1    | J14 Bednja               | 20         | DISP. CENTAR<br>LUDBREG | 147,3  | 2.305,9 | 2.662,6 |
| Ludbreg-NN1    | J15 Slanje               | 20         | RIVALNO                 | 141,7  | 1.303,6 | 1.505,3 |

| Pojna točka  | Izvod                 | Un<br>[kV] | Čvorište                 | K1 [A] | K2 [A]  | K3 [A]  |
|--------------|-----------------------|------------|--------------------------|--------|---------|---------|
| Ludbreg-NN1  | J17 Istok             | 20         | ISTOK 3                  | 148,0  | 2.508,0 | 2.896,0 |
| Ludbreg-NN1  | J18<br>Vinogradska    | 20         | A.NEMČIĆA                | 147,6  | 2.466,3 | 2.847,9 |
| Ludbreg-NN1  | J19 Črn-Bel           | 20         | LUDB. VINOGRAD 3         | 145,0  | 2.179,7 | 2.516,8 |
| Ludbreg-NN2  | J04 Sigetec           | 20         | ŽUPANEC                  | 139,9  | 1.123,4 | 1.297,2 |
| Ludbreg-NN2  | J06 Rasinja           | 20         | ČUKOVEC 2                | 146,1  | 1.910,3 | 2.205,8 |
| Novigrad-NN1 | K01<br>Novigrad 8     | 10         | NOVIGRAD<br>VIROVSKA     | 145,1  | 1.743,1 | 2.012,7 |
| Novigrad-NN1 | K03<br>Novigrad 2     | 10         | DELOVI 2                 | 134,6  | 1.231,3 | 1.421,8 |
| Novigrad-NN2 | K04 Janaf             | 20         | GORNJE ZDJELICE          | 127,3  | 556,3   | 642,4   |
| Novigrad-NN2 | K08<br>Javorovac      | 20         | GORNJI MOSTI             | 135,2  | 692,5   | 799,7   |
| Novigrad-NN2 | K09 Bregi             | 20         | GLOGOVAC 1               | 137,7  | 703,1   | 811,9   |
| Pitomača-NN1 | K01 Klas              | 20         | DUHANPRODUKT-<br>EKONOM. | 140,6  | 954,8   | 1.110,8 |
| Pitomača-NN1 | K05 Bilogora          | 20         | SEDLARICA-LIPICA         | 134,9  | 658,0   | 763,6   |
| Pitomača-NN1 | K11 Sesvete           | 20         | MEKIŠ 2                  | 136,4  | 780,0   | 905,6   |
| Pitomača-NN2 | K04<br>Prekodr.       | 20         | KRIŽNICA 2               | 122,2  | 490,0   | 567,4   |
| Pitomača-NN2 | K07 M.<br>Črešnjeвица | 20         | MALA ČREŠNJEVICA<br>2    | 129,6  | 602,8   | 698,7   |
| Pitomača-NN2 | K08<br>Kozarevac      | 20         | KOZAREVAC 3              | 131,9  | 669,5   | 776,8   |
| Rasinja-NN   | J09 Subotica          | 10         | MOČILE 2                 | 3,4    | 1.126,8 | 1.301,1 |
| Rasinja-NN2  | J03 Ludbreg           | 20         | NIKOLIN JARAK            | 124,3  | 517,0   | 596,9   |
| Rasinja-NN2  | J04 Rasinja           | 20         | V. POGANAC               | 132,4  | 715,7   | 826,4   |
| Rasinja-NN2  | J05 Lukovec           | 20         | LUKOVEC 2                | 140,8  | 997,4   | 1.151,7 |
| Rasinja-NN2  | J10<br>Kuzminec       | 20         | KOLEDINEC                | 140,3  | 895,0   | 1.033,5 |
| Selnik-NN1   | J16 Bomark            | 20         | Bomark Pak               | 152,9  | 3.713,7 | 4.288,2 |
| Selnik-NN1   | RS Lukaps             | 20         | LUKAPS                   | 152,7  | 3.676,8 | 4.245,6 |

| Pojna točka | Izvod                           | Un<br>[kV] | Čvorište        | K1 [A] | K2 [A]  | K3 [A]  |
|-------------|---------------------------------|------------|-----------------|--------|---------|---------|
| Selnik-NN2  | J01 V.<br>Lisinskog 1           | 20         | ZAGREBAČKA      | 152,1  | 3.583,0 | 4.137,3 |
| Selnik-NN2  | J02 Hrženica                    | 20         | HRŽENICA 2      | 147,3  | 2.134,1 | 2.464,3 |
| Selnik-NN2  | J03 Struga                      | 20         | STRUGA 2        | 146,2  | 1.754,1 | 2.025,5 |
| Selnik-NN2  | J04 Selnik                      | 20         | SMETIŠTE        | 151,0  | 2.745,2 | 3.169,9 |
| Selnik-NN2  | J05<br>Šljunčare<br>Hrastovljan | 20         | ČIČKOVINA       | 142,0  | 1.825,2 | 2.107,5 |
| Selnik-NN2  | J12 Požgaj                      | 20         | ŠLJUNČARA JOLE  | 139,9  | 1.822,6 | 2.104,5 |
| Selnik-NN2  | J13 Grafičar                    | 20         | BEDNJA SILOSI   | 150,9  | 3.323,1 | 3.837,2 |
| Selnik-NN2  | J14<br>Martijanec               | 20         | G. MARTIJANEC 2 | 145,5  | 1.500,2 | 1.732,2 |
| Selnik-VN1  | Ludbreg RS                      | 20         | Ludbreg         | 149,0  | 2.643,8 | 3.052,8 |

## 5. VERIFIKACIJA PARAMETARA ZAŠTITE U ODNOSU NA MJERENE REZULTATE KAPACITIVNIH STRUJA

Temeljem dobivenih rezultata simulacija kratkih spojeva u srednjenaponskoj distribucijskoj 10 i 20 kV mreži distribucijskog područja Elektre Koprivnica potrebno je pravilno podesiti električnu zaštitu kako bi pravovremeno i učinkovito proradila uslijed pojave kvara u mreži. Kod podešenja zaštite ključno je proučiti struje jednopolnog kratkog spoja, jer su one u pravilu najmanje i mjerodavne su za podešenje releja. Parametri djelovanja zaštite dani su tablično. Nakon svake predložene postavke zaštite po pojedinim trafostanicama napravljena je tablica sa usporedbom mjerenih rezultata kapacitivnih struja pojedinih vodnih polja i vrijednostima na koje je relejna zaštita podešena. Postavke zaštite uvijek moraju biti manje od struja kvara, a pošto je svaka mreža specifična ne postoje pisana pravila podešenja, nego se u pravilu zaštita podešava na temelju mjerenja i analize kvarova u mreži. Pošto nisu dostupna mjerenja za sve trafostanice promatranog distribucijskog područja, nisu uzete u obzir sve 35/10(20) kV trafostanice, nego samo neke.

### 5.1. TS 35/20 kV RASINJA

Tablica 5.1. -postavke zaštite u TS 35/20 kV RASINJA

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H01         | 360,00 | 0,30<br>SI30xDT | 2000,00 | 0,00    | 30,00    | 4,30     | 30,00     | 1,80      | 12,00   | 1,60    |
| H02         | 66,00  | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H04         | 66,00  | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H05         | 360,00 | 0,30<br>SI30xDT | 2000,00 | 0,00    |          |          | 30,00     | 1,80      | 12,00   | 1,40    |
| J02         | 220,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 2,00    | 1,30    |
| J03         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J04         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J05         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J06         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J08         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J09         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J10         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J11         | 220,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 2,00    | 1,30    |
| J12         | 40,00  | 0,10<br>SI30xDT | 150,00  | 0,20    | 450,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 0,60    |



Tablica 5.2. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | $I_C$ mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka $I_0 > (A)$             | Zadovoljava |
|-------------|-------------------|---|----------------------------------|-------------|
| J03         | 1,15              | 22-1,15=20,85                               | 1; $t_0=1$ s                     | da          |
| J04         | 10,9              | 22-1,09=11,1                                | 1; $t_0=1$ s                     | da          |
| J05         | 5,05              | 22-5,05=16,95                               | 1; $t_0=1$ s                     | da          |
| J08         | 2,18              | 22-2,18=19.82                               | 1; $t_0=1$ s                     | da          |
| J09         | 8,625             | 22-8,625=13,375                             | 1; $t_0=1$ s                     | da          |
| J10         | 2,55              | 22-2,55=19,45                               | 1; $t_0=1$ s                     | da          |
| <b>J11</b>  | <b>22</b>         | <b>22</b>                                   | <b>2; <math>t_0=1.3</math> s</b> | <b>da</b>   |

## 5.2. TS 35/10(20) kV KOPRIVNICA 1

Tablica 5.3. -postavke zaštite u TS 35/10(20) kV KOPRIVNICA 1

| Vodno Polje | $I > [A]$ | $t > [s]$ | $I >> [A]$ | $t >> [s]$ | $I >>> [A]$ | $t >>> [s]$ | $I_{o>>>} [A]$ | $t_{o>>>} [s]$ | $I_{o>} [A]$ | $t_{o>} [s]$ |
|-------------|-----------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| H01         | 540,00    | 0,30      | 1000,00    | 0,05       | 2000,00     | 0,30        | 30,00          | 1,80           | 30,00        | 1,20         |
| H02         | 132,00    | 0,20      | 450,00     | 0,40       | 900,00      | 0,20        |                |                | 15,00        | 1,30         |
| H03         | 410,00    | 0,30      | 1000,00    | 0,05       | 1200,00     | 0,20        | 30,00          | 1,60           | 30,00        | 1,40         |
| H04         |           |           |            |            |             |             |                |                |              |              |
| H05         | 132,00    | 0,20      | 450,00     | 0,40       | 900,00      | 0,20        |                |                | 15,00        | 1,30         |
| H06         | 540,00    | 0,30      | 1000,00    | 0,20       |             |             | 30,00          | 1,80           | 30,00        | 1,60         |
| J01         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J02         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J03         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J04         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J05         | 450,00    | 0,2       |            |            | 1000        | 0,10        |                |                | 25           | 1,3          |
| J06         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J07         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J08         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J09         | 200,00    | 0,10      | 300,00     | 0,20       | 900,00      | 0,00        |                |                | 2,5          | 1,00         |
| J10         | 450,00    | 0,1       |            |            | 1000        | 0,05        |                |                | 25           | 1,1          |
| J11         | 450,00    | 0,1       |            |            | 1000        | 0,05        |                |                | 25           | 1,1          |

|     |        |                              |        |      |        |      |  |  |     |      |
|-----|--------|------------------------------|--------|------|--------|------|--|--|-----|------|
| J12 | 200,00 | 0,10<br>IEC Standard inverse | 300,00 | 0,20 | 900,00 | 0,00 |  |  | 2,5 | 1,00 |
| J13 | 450,00 | 0,2<br>IEC standard inverse  |        |      | 1000   | 0,10 |  |  | 25  | 1,3  |
| J14 | 200,00 | 0,10<br>IEC Standard inverse | 300,00 | 0,20 | 900,00 | 0,00 |  |  | 2,5 | 1,00 |
| J15 | 200,00 | 0,10<br>IEC Standard inverse | 300,00 | 0,20 | 900,00 | 0,00 |  |  | 2,5 | 1,00 |
| J16 | 200,00 | 0,10<br>IEC Standard inverse | 300,00 | 0,20 | 900,00 | 0,00 |  |  | 2,5 | 1,00 |
| J17 | 200,00 | 0,10<br>IEC Standard inverse | 300,00 | 0,20 | 900,00 | 0,00 |  |  | 2,5 | 1,00 |

Tablica 5.4. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | $I_C$ mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka $I_0 > (A)$              | Zadovoljava |
|-------------|-------------------|---|-----------------------------------|-------------|
| J02         | 13,86             | 71,36-<br>13,86=57,5                        | 2,5; $t_0=1$ s                    | da          |
| J04         | 11,48             | 71,36-<br>11,48=59,88                       | 2,5; $t_0=1$ s                    | da          |
| J07         | 11                | 71,36-11=60,36                              | 2,5; $t_0=1$ s                    | da          |
| J08         | 12                | 71,36-12=59,36                              | 2,5; $t_0=1$ s                    | da          |
| J09         | 9                 | 71,36-9=62,36                               | 2,5; $t_0=1$ s                    | da          |
| J12         | 14                | 71,36-14=57,36                              | 2,5; $t_0=1$ s                    | da          |
| <b>J05</b>  | <b>71,36</b>      | <b>71,36</b>                                | <b>25; <math>t_0=1,3</math> s</b> | <b>da</b>   |

### 5.3. TS 35/10(20) kV KOPRIVNICA 2

Tablica 5.5. -postavke zaštite u TS 35/10(20) kV KOPRIVNICA 2

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H01         | 570,00 | 0,30<br>SI30xDT | 2000,00 | 0,20    |          |          | 12,00     | 1,80      | 12,00   | 1,70    |
| H02         | 132,00 | 0,00            |         |         | 1500,00  | 0,00     |           |           | 15,00   | 1,00    |
| H03         | 570,00 | 0,30<br>SI30xDT | 1000,00 | 0,00    | 2000,00  | 0,40     | 12,00     | 1,80      | 12,00   | 1,40    |
| H05         | 132,00 | 0,00            |         |         | 1500,00  | 0,00     |           |           | 15,00   | 1,00    |
| H06         | 570,00 | 0,30<br>SI30xDT | 2000,00 | 0,20    |          |          | 12,00     | 1,80      | 12,00   | 1,60    |
| J01         | 300,00 | 0,10<br>SI30xDT | 510,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,25    | 1,00    |
| J02         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 500,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J03         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 500,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J04         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 500,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J05         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 500,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J06         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 500,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J07         | 880,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1100,00  | 0,30     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| J08         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 600,00  | 0,20    | 1000,00  | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J09         | 400,00 | 0,10<br>SI30xDT | 600,00  | 0,20    | 1000,00  | 0,00     |           |           | 1,30    | 1,00    |
| J10         | 880,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1100,00  | 0,30     |           |           | 15,00   | 6,00    |
| K08         | 180,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K09         | 440,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 25,00   | 1,30    |
| K10         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K11         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K12         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K13         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |

Tablica 5.6. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J} (A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|--|-------------------------------|-------------|
| J01         | 2                          | 40,8-2=38,8                                  | 1,25; t <sub>0</sub> =1 s     | da          |
| J02         | 7,125                      | 40,8-<br>7,125=33,675                        | 1,3; t <sub>0</sub> =1 s      | da          |
| J04         | 1,75                       | 40,8-1,75=39,05                              | 1,3; t <sub>0</sub> =1 s      | da          |
| J05         | 1,875                      | 40,8-<br>1,875=38,925                        | 1,3; t <sub>0</sub> =1 s      | da          |
| J08         | 4,125                      | 40,8-<br>4,125=36,675                        | 1,3; t <sub>0</sub> =1 s      | da          |

|     |       |                       |                          |    |
|-----|-------|-----------------------|--------------------------|----|
| J09 | 8,625 | 40,8-<br>8,625=32,175 | 1,3; t <sub>0</sub> =1 s | da |
| K08 | 1,65  | 40,8-1,65=39,15       | 1; t <sub>0</sub> =1 s   | da |
| K09 | 40,8  | 40,8                  | 25; t <sub>0</sub> =1,3  | da |
| K11 | 5,8   | 40,8-5,8=35           | 1; t <sub>0</sub> =1 s   | da |
| K13 | 6,6   | 40,8-6,6=34,2         | 1; t <sub>0</sub> =1 s   | da |

### 5.4. TS 35/10 kV KOPRIVNICA 3

Tablica 5.7. -postavke zaštite u TS 35/10 kV KOPRIVNICA 3

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]                       | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|------------------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H02         | 410,00 | 0,30<br>IEC standard inverse | 2000,00 | 0,10    |          |          | 12,00     | 1,80      | 12,00   | 1,50    |
| H03         | 410,00 | 0,30<br>IEC standard inverse | 2000,00 | 0,10    |          |          | 12,00     | 1,80      | 12,00   | 1,50    |
| H04         | 132,00 | 0,20<br>IEC standard inverse |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H07         | 132,00 | 0,20<br>IEC standard inverse |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| K02         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K04         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K07         | 440,00 | 0,20<br>IEC standard inverse | 1100,00 | 0,20    |          |          |           |           | 12,00   | 1,30    |
| K08         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K09         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K10         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K11         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K12         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K13         | 200,00 | 0,10<br>IEC standard inverse | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K14         | 440,00 | 0,20<br>IEC standard inverse | 1100,00 | 0,20    |          |          |           |           | 12,00   | 1,30    |

Tablica 5.8. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
|             |                            |   |                               |             |

|            |           |           |                                |           |
|------------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|
| K02        | 3         | 47-3=44   | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| K04        | 1         | 47-1=46   | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| K08        | 3         | 47-3=44   | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| K10        | 16        | 47-16=31  | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| K11        | 6         | 47-6=41   | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| K12        | 1         | 47-1=46   | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| K13        | 14        | 47-14=33  | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da        |
| <b>K07</b> | <b>47</b> | <b>47</b> | <b>12; t<sub>0</sub>=1,3 s</b> | <b>Da</b> |

## 5.5. TS 35/20/10 kV DRNJE

Tablica 5.9. -postavke zaštite u TS 35/20/10 kV DRNJE

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H03         | 66,00  | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H04         | 66,00  | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H05         | 480,00 | 0,35<br>SI30xDT |         |         |          |          |           |           | 40,00   | 1,80    |
| H06         | 120,00 | 1,50<br>SI30xDT |         |         | 400,00   | 0,20     |           |           | 40,00   | 1,50    |
| K01         | 222,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 990,00   | 0,20     |           |           | 3,00    | 1,30    |
| K03         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K05         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K07         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K08         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K09         | 50,00  | 0,00<br>SI30xDT | 70,00   | 0,00    | 100,00   | 0,00     |           |           | 3,00    | 1,00    |
| K10         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K11         | 200,00 | 0,10<br>SI30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K12         | 222,00 | 0,20<br>SI30xDT |         |         | 990,00   | 0,20     |           |           | 3,00    | 1,30    |

Tablica 5.10. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
| K03         | 12,4                       | 38,6-12,4=26,2                              | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K05         | 1                          | 38,6-1=37,2                                 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |

|            |             |                |                               |           |
|------------|-------------|----------------|-------------------------------|-----------|
| K07        | 9,4         | 38,6-9,4=29,2  | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da        |
| K08        | 2,5         | 38,6-2,5= 36,1 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da        |
| K11        | 1,9         | 38,6-1,9= 36,7 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da        |
| <b>K12</b> | <b>38,6</b> | <b>38,6</b>    | <b>3; t<sub>0</sub>=1,3 s</b> | <b>Da</b> |

## 5.6. TS 35/20 kV LEGRAD

Tablica 5.11. -postavke zaštite u TS 35/20 kV LEGRAD

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]                     | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|----------------------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H01         | 66,00  | 0,20<br>IEC Normal inverse |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H04         | 120,00 | 0,30<br>IEC Normal inverse |         |         | 200,00   | 0,25     |           |           | 40,00   | 1,30    |
| H06         | 66,00  | 0,20<br>IEC Normal inverse |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| J01         | 200,00 | 0,10<br>IEC Normal inverse | 300,00  | 0,20    | 500,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 1,00    |
| J02         | 200,00 | 0,10<br>IEC Normal inverse | 300,00  | 0,20    | 500,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 1,00    |
| J03         | 220,00 | 0,3<br>IEC Normal inverse  | 500,00  | 0,20    | 1000,00  | 0,1      |           |           | 1,50    | 1,00    |
| J04         | 200,00 | 0,10<br>IEC Normal inverse | 300,00  | 0,20    | 500,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 1,00    |
| J05         | 200,00 | 0,10<br>IEC Normal inverse | 300,00  | 0,20    | 500,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 1,00    |
| J06         | 220,00 | 0,2<br>IEC Normal inverse  |         |         | 1000,00  | 0,1      |           |           | 1,50    | 1,10    |
| J09         | 200,00 | 0,10<br>IEC Normal inverse | 300,00  | 0,20    | 500,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 1,00    |
| J10         | 220,00 | 0,3<br>IEC Normal inverse  | 500,00  | 0,20    | 1000,00  | 0,1      |           |           | 1,50    | 1,00    |
| J11         | 200,00 | 0,10<br>IEC Normal inverse | 300,00  | 0,20    | 500,00   | 0,00     |           |           | 0,50    | 1,00    |
| J12         | 12     | 0,10<br>IEC Normal inverse | 100     | 0,20    |          |          |           |           | 0,50    | 1,00    |

Tablica 5.12. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
| J01         | 1,65                       | 6,4-1,65=4,75                               | 0,5; t <sub>0</sub> =1 s      | Da          |
| J02         | 5,1                        | 6,4-5,1=1,3                                 | 0,5; t <sub>0</sub> =1 s      | Da          |
| J03         | 1,75                       | 6,4-1,75=4,65                               | 1,5; t <sub>0</sub> =1 s      | Da          |
| J05         | 0,75                       | 6,4-0,75=5,65                               | 0,5; t <sub>0</sub> =1 s      | Da          |
| J11         | 0,75                       | 6,4-0,75=5,65                               | 0,5; t <sub>0</sub> =1 s      | Da          |

|     |     |     |                          |    |
|-----|-----|-----|--------------------------|----|
| J10 | 6,4 | 6,4 | 1,5; t <sub>0</sub> =1 s | Da |
|-----|-----|-----|--------------------------|----|

## 5.7. TS 35/10 kV NOVIGRAD

Tablica 5.13. -postavke zaštite u TS 35/10 kV NOVIGRAD

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H01         | 360,00 | 0,30<br>Si30xDT | 999,00  | 0,00    | 999,00   | 0,20     | 15,00     | 1,80      | 15,00   | 1,20    |
| H03         | 66,00  | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 330,00   | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H04         | 66,00  | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 330,00   | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H06         | 360,00 | 0,30<br>Si30xDT | 999,00  | 0,00    | 999,00   | 0,20     | 15,00     | 1,60      | 15,00   | 1,40    |
| K01         | 100,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K03         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K04         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K05         | 222,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 2,00    | 1,30    |
| K06         | 222,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 2,00    | 1,30    |
| K08         | 100,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K09         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K10         | 100,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |

Tablica 5.14. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
| K01         | 1,33                       | 23,8-1,33=22,47                             | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K03         | 16,8                       | 23,8-16,8=7                                 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K04         | 1                          | 23,8-1=22,8                                 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K08         | 1                          | 23,8-1=22,8                                 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K09         | 4,2                        | 23,8-4,2=19,6                               | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| <b>K10</b>  | <b>23,8</b>                | <b>23,8</b>                                 | <b>1; t<sub>0</sub>=1 s</b>   | <b>Da</b>   |

## 5.8. TS 35/10(20)kV ĐURĐEVAC

Tablica 5.15. -postavke zaštite u TS 35/10(20)kV ĐURĐEVAC

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H02         | 360,00 | 0,30<br>Si30xDT | 999,00  | 0,00    | 999,00   | 0,20     | 30,00     | 1,80      | 15,00   | 1,20    |
| H03         | 132,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1500,00  | 0,10     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H04         | 132,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1500,00  | 0,10     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H05         | 360,00 | 0,30<br>Si30xDT | 1000,00 | 0,00    | 1000,00  | 0,20     | 30,00     | 1,80      | 15,00   | 1,60    |
| H06         | 120,00 | 0,10<br>Si30xDT |         |         | 240,00   | 0,10     |           |           | 21,00   | 1,00    |
| J01         | 35,00  | 0,00            | 200,00  | 0,00    | 1000,00  | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| J02         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J04         | 300,00 | 0,10<br>Si30xDT | 500,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J05         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J06         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J07         | 440,00 | 0,20<br>Si30xDT | 1000,00 | 0,20    | 240,00   | 0,20     | 6,00      | 0,20      | 32,00   | 2,00    |
| J08         | 440,00 | 0,20<br>Si30xDT | 1000,00 | 0,20    | 240,00   | 0,20     | 6,00      | 0,20      | 32,00   | 2,00    |
| J09         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J10         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J11         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J12         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J13         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |
| J14         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     | 35,00     | 1,20      | 2,00    | 0,50    |

Tablica 5.16. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
| J02         | 4,9                        | 84,6-4,9=79,7                               | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |
| J04         | 18,8                       | 84,6-18,8=65,8                              | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |
| J05         | 8,6                        | 84,6-8,6=76                                 | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |
| J09         | 8,4                        | 84,6-8,4=76,2                               | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |
| J11         | 27,1                       | 84,6-27,1=57,5                              | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |
| J12         | 7,8                        | 84,6-7,8=76,8                               | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |
| J13         | 4,5                        | 84,6-4,5=80,1                               | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s      | Da          |



|     |      |               |                          |    |
|-----|------|---------------|--------------------------|----|
| J14 | 4,5  | 84,6-4,5=80,1 | 2; t <sub>0</sub> =0,5 s | Da |
| J07 | 84,6 | 84,6          | 32; t <sub>0</sub> =2 s  | Da |

## 5.9. TS 35/10 kV JANAF

Tablica 5.17. -postavke zaštite u TS 35/10 kV JANAF

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | I <sub>o</sub> >>> [A] | t <sub>o</sub> >>> [s] | I <sub>o</sub> > [A] | t <sub>o</sub> > [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| H01         | 66,00  | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 350,00   | 0,10     |                        |                        | 15,00                | 1,30                 |
| H02         | 66,00  | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 350,00   | 0,10     |                        |                        | 15,00                | 1,30                 |
| H03         | 300,00 | 2,35<br>Si30xDT | 999,00  | 0,00    |          |          |                        |                        | 15,00                | 1,00                 |
| H04         | 300,00 | 2,35<br>Si30xDT | 999,00  | 0,20    |          |          |                        |                        | 15,00                | 1,80                 |
| H05         | 50,00  | 0,10<br>Si30xDT |         |         | 600,00   | 0,00     |                        |                        | 15,00                | 0,50                 |
| K01         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K02         | 150,00 | 0,10<br>Si30xDT | 250,00  | 0,20    | 650,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K03         | 100,00 | 0,10<br>Si30xDT | 180,00  | 0,20    | 400,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K04         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K06         | 220,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |                        |                        | 4,00                 | 1,30                 |
| K07         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K08         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K09         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |                        |                        | 1,00                 | 1,00                 |
| K10         | 220,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |                        |                        | 4,00                 | 1,30                 |

Tablica 5.18. -usporedba struja zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A) | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|-------------------------------|-------------|
| K01         | 10,6                       | 33,6-10,6=23                                | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K02         | 6,2                        | 33,6-6,2=27,4                               | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K03         | 5                          | 33,6-5=28,6                                 | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K04         | 2,2                        | 33,6-2,2=31,4                               | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K07         | 10,5                       | 33,6-10,5= 23,1                             | 1; t <sub>0</sub> =1 s        | Da          |
| K10         | 33,6                       | 33,6  | 4; t <sub>0</sub> =1,3 s      | Da          |

## 5.10. TS 35/10(20) kV PITOMAČA

Tablica 5.19. -postavke zaštite u TS 35/10(20) kV PITOMAČA

| Vodno Polje | I> [A] | t> [s]          | I>> [A] | t>> [s] | I>>> [A] | t>>> [s] | Io>>> [A] | to>>> [s] | Io> [A] | to> [s] |
|-------------|--------|-----------------|---------|---------|----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|
| H01         | 360,00 | 0,30<br>Si30xDT | 999,00  | 0,00    | 999,00   | 0,20     | 15,00     | 1,40      | 15,00   | 1,20    |
| H02         | 132,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H04         | 132,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1500,00  | 0,20     |           |           | 15,00   | 1,30    |
| H05         | 360,00 | 0,30<br>Si30xDT | 999,00  | 0,00    | 999,00   | 0,20     | 15,00     | 1,40      | 15,00   | 1,20    |
| K01         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K02         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K03         | 440,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 30,00   | 1,30    |
| K04         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K05         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K07         | 440,00 | 0,20<br>Si30xDT | 600,00  | 0,20    | 1000,00  | 0,10     |           |           | 2,00    | 1,30    |
| K08         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K09         | 440,00 | 0,20<br>Si30xDT |         |         | 1100,00  | 0,20     |           |           | 30,00   | 1,30    |
| K10         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K11         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |
| K12         | 200,00 | 0,10<br>Si30xDT | 300,00  | 0,20    | 900,00   | 0,00     |           |           | 1,00    | 1,00    |

Tablica 5.20. -usporedba struje zemljospoja

| Vodno polje | I <sub>C</sub> mjereno (A) | $I_0^{K0,J0} = \sum_{j,k=1}^n I_0^{K,J}(A)$ | Postavka I <sub>0</sub> > (A)  | Zadovoljava |
|-------------|----------------------------|---|--------------------------------|-------------|
| K01         | 18,8                       | 42,4-18,8=23,6                              | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da          |
| K04         | 3,85                       | 42,4-3,85=38,55                             | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da          |
| K05         | 4,7                        | 42,4-4,7=37,7                               | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da          |
| K07         | 5,98                       | 42,4-5,98=36,42                             | 2; t <sub>0</sub> =1,3 s       | Da          |
| K08         | 1,3                        | 42,4-1,3=41,1                               | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da          |
| K11         | 9,18                       | 42,4-9,18=33,22                             | 1; t <sub>0</sub> =1 s         | Da          |
| <b>K09</b>  | <b>42,4</b>                | <b>42,4</b>                                 | <b>30; t<sub>0</sub>=1,3 s</b> | <b>Da</b>   |

## 6. ZAKLJUČAK

Na početku diplomskog rada objašnjene su teorijske osnove i matematički model jednopolne struje kratkog spoja u elektroenergetskoj mreži, kao i moguće izvedbe pojedinih sustava uzemljenja koji se koriste u distributivnim mrežama. Uzimajući u obzir različite vrste uzemljenja, mogu se pojaviti prenaponi i struje kvara u raznim oblicima i iznosima prilikom jednopolnih dozemnih kvarova što je prikazano fazorskim dijagramima.

U suradnji sa sumentorom iz HEP-ODS-a ustupljeni su podaci mjerenja kapacitivnih struja za nekoliko 35/10(20) kV transformatorskih stanica. Može se zaključiti kako su kapacitivne struje koje se pojavljuju u mreži znatno manjeg iznosa od pogonskih, a pošto su one jedan od najčešćih kvarova u distribucijskom sustavu, potrebno je zaštitu podesiti da ih pravovremeno detektira i ukloni kvar. Iz HEP-a su također dobiveni podaci za pojedine elemente distributivne mreže, kao i mogućnost korištenja programskog paketa Neplan u kojem je izračun kvarova bio i analiziran. Nakon unošenja parametara transformatora, vodova, kabela i nadređenih mreža u Neplan, analizirani su jednopolni, dvopolni i trolni kvarovi kako bi se dobile vrijednosti minimalnih struja kvara koje su mjerodavne za podešenje zaštite.

Dobivenim postavkama zaštite uspoređivane su mjerene kapacitivne struje kako bi se ustvrdilo da je zaštita u promatranim trafostanicama pravilno podešenja, te koliko će brzo otkloniti kvar s obzirom na iznos struje kvara. Postavke zaštite određene su tipski, odnosno onako kako se radi u praksi, jer niti jedna situacija u različitim mrežama ne može biti ista i puno faktora utječe na postavke zaštite.

## 7. LITERATURA

[1] Nikolovski, Srete: Zaštita u elektroenergetskom sustavu, Elektrotehnički fakultet Osijek, 2007.

[2] Christophe Prévé: Protection of Electrical Networks, ISTE Ltd, 2006

[3] Network Protection & Automation Guide, Edition May 2011

[4] Hanninen, S.: Single phase earth faults in high impedance grounded networks, VTT publications, 2001.

[5] Ćučić, R.; Komen, V.; Živić-Đurović, M.: Koncept uzemljenja zvjezdišta razdjelnih mreža, 2008.

O programskom paketu Neplan:

NEPLAN, Version 5.5.8..R2, NEPLAN AG Oberwaschtstr. 2 CH-8700 Kusnacht (Switzerland)

## 8. SAŽETAK

U ovom diplomskom radu objašnjene su teorijske osnove jednopolnih kvarova u elektroenergetskoj mreži. Fazorskim dijagramima prikazane su struje kvarova u distribucijskim mrežama za različite tipove mreža, odnosno različite izvedbe uzemljenja zvjezdišta transformatora. Prikazana su mjerenja kapacitivnih struja u pojedinim 35/10(20) kV trafostanicama. Provedena je analiza kvarova u distribucijskoj mreži u programskom paketu Neplan, te su dobivene minimalne struje jednopolnog, dvopolnog i trolnog kratkog spoja po pojedinim izvodima trafostanica. Dane su predložene postavke nadstrujnih releja za 35/10(20) kV trafostanice u kojima su bila prethodno opisana provedena mjerenja kapacitivnih struja. Kao konačan ishod ovog rada uspoređivane su tablično postavke zemljospojne zaštite sa mjerenim kapacitivnim strujama kvara, te je ustanovljeno da je zaštita pravilno podešena.

Ključne riječi: zemljospoj, nadstrujna zaštita, kapacitivna struja, uzemljenje transformatora, srednjenaponska mreža

## 9. ABSTRACT

This paper explains the theoretical foundations of single - pole failures in the power grid. Phasor diagrams show fault currents in distribution networks for different types of networks and different grounding systems of transformer neutral point. Measurements of capacitive currents in individual 35/10 (20) kV substations are presented. An analysis of faults in the distribution network in the Neplan software was performed, and the minimum structures of single-phase, phase to phase and three-phase short circuits were obtained for individual substation. The proposed settings of overcurrent relays for 35/10 (20) kV substations are given, in which the measurements of capacitive currents are previously described. As a final result of this paper, the table settings of earth fault protection were compared with the measured capacitive fault currents, and it was found that the protection was set correctly.

Keywords: earth fault, overcurrent protection, capacitive current, transformer grounding system, medium voltage power grid

## 10. ŽIVOTOPIS

Toni Capek rođen je 8. srpnja 1996. godine u Koprivnici. Pohađao osnovnu školu „Đuro Ester“ u Koprivnici, nakon koje upisuje srednju „Obrtničku školu Koprivnica“ za zanimanje elektrotehničar. Nakon završetka srednje škole 2015. godine upisuje „Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku“, gdje završava preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjera elektroenergetika. Po završetku upisuje iste godine program razlikovnih obveza kako bi ostvario uvjet za upis u diplomski sveučilišni studij. Trenutno je student 2. godine diplomskog studija elektrotehnike, smjera održiva elektroenergetika. Stručnu praksu obavljao je u HEP-ODS Elektri u Koprivnici, čiji je i stipendist od travnja 2020. Sudjelovao na 1. Međunarodnoj studentskoj Green konferenciji (ISC Green 2018). Poznaje rad u office paketu, te posjeduje vozačku dozvolu B kategorije.

---

Potpis autora