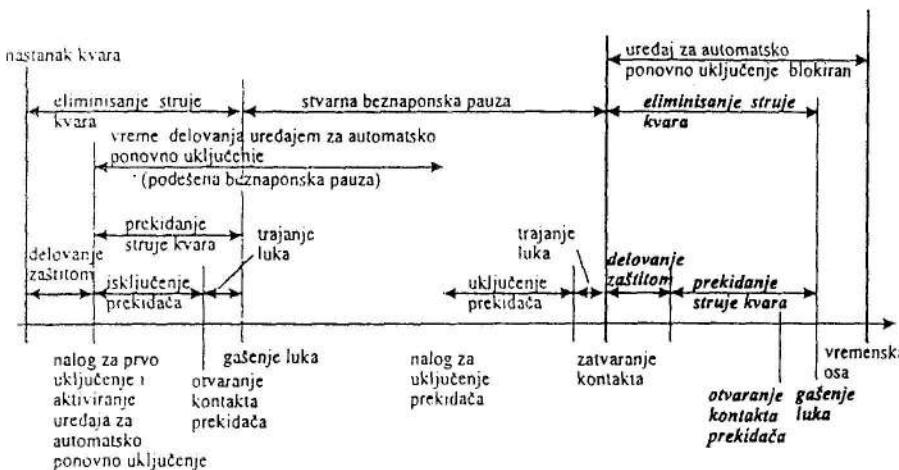


- standardno aktiviranje (pomoću releja) i
- pomoću signala sa prekidača (kada se koriste primarne zaštite).

Na slici 3.24 prikazan je ciklus uspešnog i ciklus neuspešnog automatskog ponovnog uključenja. Ako je ciklus automatskog ponovnog uključenja uspešan (dakle, u pitanju je prolazni kvar), nakon zatvaranja kontaktata i uključenja prekidača na delu vremenske ose koji odgovara periodu kada je uređaj za automatsko ponovno uključenje blokiran, nema nikakvih dogadaja. Uredaj za automatsko ponovno uključenje mora da bude izvesno vreme blokiran da bi se prekidač ohladio i na taj način pripremio za sledeći slučaj automatskog ponovnog uključenja.

U slučaju neuspešnog automatskog ponovnog uključenja (dakle, kvar je trajan) ponavlja se procedura za eliminisanje struje kvara i svi dogadaji pri tom označeni su na slici 3.24 italic slovima. Istovremeno, uređaj za automatsko ponovno uključenje je blokiran sada prvenstveno zbog sprečavanja ponovnog uključenja na trajni kvar.



Slika 3.24. - Ciklus uspešnog (neuspešnog) automatskog ponovnog uključenja

U našoj zemlji se nakon neuspešnog ponovnog uključenja ostavlja mogućnost dispečeru da, po svojoj proceni, pokuša nakon nešto duže pauze (obično nakon nekoliko minuta) ponovo uključenje faze sa kvarom (ovaj nalog je ručni) ili da definitivno isključi vod iz pogona.

### 3.6. TERMIČKA ZAŠTITA

Kod pojave prevelikog zagrevanja vodova dolazi do povećanja ugiba iznad dozvoljenog, zbog čega se smanjuje sigurnosna visina između provodnika i tla. U našoj zemlji se dalekovodi normalno projektuju za temperaturu do +40°C, a na mestima ukrštanja za temperaturu od +60°C, pri čemu postoji i 1 metar rezervnog ugiba, tako da ne sme da se dopusti značajnije povećanje ugiba.

Kod zagrevanja provodnika vazdušnih vodova iznad dozvoljene temperature postoji opasnost od isticanja masti koja se stavlja na čelični deo AlČe provodnika (koja predstavlja zaštitu od korozije). Kod kablova dolazi do ubrzanih starenja izolacije, a u težim slučajevima i do trajnog oštećenja.

Termička zaštita vodova bi podrazumevala zaštitu kojom bi se delovalo kada temperatura provodnika premaši neku zadanu vrednost. U praksi se termička zaštita najčešće izvodi kao zaštita od preopterećenja, odnosno, zaštitom se deluje ako je preopterećenje veće od nekog zadatog. Očigledno, ovakav način zaštite je manje kvalitetan, jer se ne uvažava stvarna temperatura provodnika. Zaštita od preopterećenja se izvodi u dva stepena:

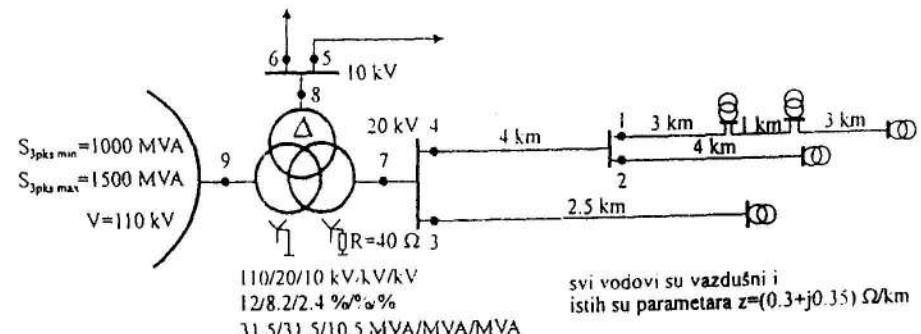
- Prvi stepen se podešava na 1.05 do 1.1  $I_{\text{trajno dozvoljeno}}$  i njim se deluje nakon 10 s do 30 s na signalizaciju, a nakon 15 do 30 minuta na isključenje prekidača štićenog voda.
- Drugi stepen se podešava na 1.3 do 1.8  $I_{\text{trajno dozvoljeno}}$  i deluje se trenutno na signalizaciju, a nakon 15 s do 30 s na isključenje prekidača štićenog voda.

Normalna snaga koja se može prenositi vodovima data je tehničkim preporukama. Ta snaga zavisi od preseka provodnika voda. Za vodove 110 kV (AlČe 240/40 mm<sup>2</sup>) to je 100 MVA, za 220 kV (AlČe 360/60 mm<sup>2</sup>) 275 MVA, (AlČe 490/65 mm<sup>2</sup>) 305 MVA, za 400 kV (AlČe 2x490/65 mm<sup>2</sup>) 830 MVA. Na vazdušnim vodovima se zaštita od preopterećenja dva puta godišnje podešava - za letnji i zimski režim. Prethodno navedene vrednosti odgovaraju letnjem režimu, dok su vrednosti za zimski dva puta veće.

### 3.7. ZADACI

#### Zadatak 3.7.1

Izračunati vremensko podešenje prekostrujnih zaštit namenjenih zaštiti od međuafaznih kratkih spojeva označenih kružicima i brojevima od 1 do 9 na izvodima transformatorske stanice 110/20/10 kV/kV/kV sa slike 3.25.



Slika 3.25. - Razmatrana distributivna mreža 10 kV i 20 kV

Za zaštite 1, 2 i 4 izabrat i odgovarajuće strujno podešenje. Maksimalne radne struje kroz zaštite 1 i 2 iznose 70 A i 50 A, a odgovarajući faktori snage iznose  $\cos\theta_1=0.95$  i  $\cos\theta_2=1$ , respektivno. Koliko bi iznosilo strujno podešenje releja 1? Osnovni podaci o distributivnoj mreži su dati na samoj slici.

**Rešenje:**

Postupak vremenskog podešenja zaštita započinje od zaštita na krajnjim deonicama izvoda. Tako se vremensko podešenje zaštita 1, 2, 3, 5 i 6 postavlja na  $t_1=t_2=t_3=t_5=t_6=0.5$  s.

Zaštita 4 se podešava na:

$$t_4 = \max\{t_1, t_2\} + \Delta t = \max\{0.5, 0.5\} + 0.5 = 1 \text{ s},$$

a zaštita 7 na:

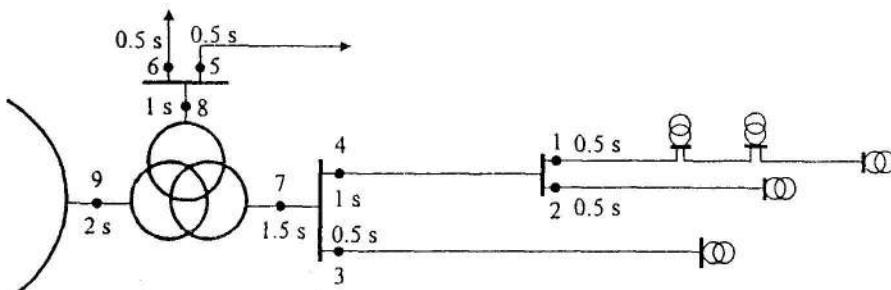
$$t_7 = \max\{t_3, t_4\} + \Delta t = \max\{0.5, 1\} + 0.5 = 1.5 \text{ s}.$$

Istim postupkom se dolazi do vrednosti podešenja zaštita 8 i 9 koja iznose:

$$t_8 = \max\{t_5, t_6\} + \Delta t = \max\{0.5, 0.5\} + 0.5 = 1 \text{ s}$$

$$t_9 = \max\{t_7, t_8\} + \Delta t = \max\{1.5, 1\} + 0.5 = 2 \text{ s}.$$

Vrednosti ovih podešenja su prikazana na slici 3.26.



Slika 3.26. - Vrednosti vremenskih podešenja zaštita sa slike 3.25

Za izbor strujnog podešenja zaštita, potrebno je raspolagati sa vrednosti  $I_{\text{radno maksimalno}}$ . Za zaštitu 1 ta vrednost iznosi 70 A. Na osnovu izraza (3.2) i (3.3) dobija se:

$$I_1 = \frac{k_{\text{sigurnosti}} \cdot k_{\text{samopuštanja}} \cdot I_{\text{radno maksimalno}}}{a}$$

Vrednost koeficijenta samopuštanja nije data u zadatku, pa se može usvojiti proizvoljna vrednost u opsegu od 1 do 6. Neka je, u okviru ovog zadatka,  $k_{\text{samopuštanja}}=1$ , odnosno,

podrazumeva se da je udeo asinhronih motora u potrošnji zanemarljiv, a za vrednosti ostalih koeficijenata se uzimaju uobičajene vrednosti ( $k_{\text{sigurnosti}}=1.2$ ,  $a=0.85$ ):

$$I_1 = \frac{1.2 \cdot 1 \cdot 70}{0.85} = 98.8 \text{ A.}$$

Izbor podešenja releja 1 se izračunava na sledeći način. U slučaju da se primenjuje trofazna zaštita ili zaštita u dve faze, svaki od releja se napaja preko posebnog strujnog transformatora (slike 3.4 i 3.5), što znači da je  $k_{\text{spoj}}=1$  izraza (3.2) jednak 1, pa se podešenje releja 1  $i_1$  bira kao:

$$i_1 = \frac{k_{\text{spoj}} \cdot I_1}{P_1},$$

gde su sve veličine poznate, osim prenosnog odnosa strujnog transformatora  $P_1$ . Prenosni odnos strujnog transformatora se bira na osnovu maksimalne radne struje kroz zaštitu. Kako je ta struja ( $I_{\text{radno maksimalno}}$ ) u ovom slučaju 70 A, odgovarajući strujni transformator bi bio prenosnog odnosa 75/5 A/A, pa bi prema tome podešenje releja iznosilo:

$$i_1 = \frac{1.98.8}{75/5} = 6.6 \text{ A.}$$

Vrednosti podešenja releja se biraju kao relativne vrednosti u odnosu na njegovu nominalnu struju. Neka je nominalna struja ovog releja 5 A. U tom slučaju je podešenje releja 1 u relativnim vrednostima jedнако:

$$i_{\text{relejal}} = \frac{i_1}{I_{\text{nominalno relejal}}} = \frac{6.6}{5} = 1.32.$$

Podešenje releja se najčešće izražava baš kao  $i_1 = 1.32 \cdot I_{\text{nominalno relejal}}$ .

Analogno se dolazi do vrednosti podešenja zaštite 2 koja iznosi  $I_2=70.6$  A.

Za proračun strujnog podešenja zaštite 4, potrebno je, kao i kod zaštite 1 i 2, odrediti  $I_{\text{radno maksimalno } 4}$ . Ta vrednost se približno određuje tako što se vektorski saberi struje delova izvoda koji se napajaju preko izvoda gde se nalazi zaštitu 4. U slučaju većeg broja takvih delova potrebno je kod proračuna struje izvoda koristiti i faktor jednovremenosti  $k_{\text{jednovremenosti}} \leq 1$ . Struja  $I_{\text{radno maksimalno } 4}$  se izračunava kao:

$$I_{\text{radno maksimalno } 4} =$$

$$= \sqrt{(I_{\text{radno maksimalno } 1} \cos\theta_1 + I_{\text{radno maksimalno } 2} \cos\theta_2)^2 + (I_{\text{radno maksimalno } 1} \sin\theta_1 + I_{\text{radno maksimalno } 2} \sin\theta_2)^2} = \\ = \sqrt{(70 \cdot 0.95 + 50 \cdot 1)^2 + (70 \cdot 0.31 + 50 \cdot 0)^2} = 118.5 \text{ A.}$$

tako da je struja  $I_4$ :

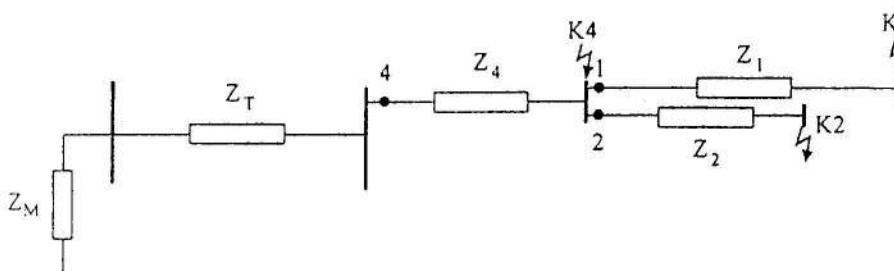
$$I_4 = \frac{1.2 \cdot 1 \cdot 118.5}{0.85} = 167.3 \text{ A.}$$

Da bi dobijene vrednosti strujnih podešenja zaštita predstavljale i stvarne vrednosti podešenja zaštita, neophodno je proveriti osetljivost zaštita. Kod zaštite 1 i 2 postoji samo osnovna zona štićenja, dok kod zaštite 4 postoji i osnovna i rezervna zona. Za ove provere je potrebno izračunati minimalne vrednosti struja kratkih spojeva na krajevima zona štićenja. Za pomenute provere je potrebno odrediti za koji tip kratkog spoja se dobija minimalna struja kratkog spoja. Struje dvopolnog kratkog spoja su manje od struja tropolnog kratkog spoja, pošto su vrednosti impedansi za inverzni režim jednake sa vrednostima impedansi za direktni režim. Pošta je mreža 20 kV uzemljena preko otpornika postavljenog u zvezdištu transformatora 110/20/10 kV/kV/kV sa 20 kV strane, struje dvopolnog kratkog spoja sa zemljom su veće od struja dvopolnog kratkog spoja bez zemlje. Prema tome, proveru je potrebno izvršiti za dvopolini kratak spoj bez zemlje.

Budući da su vrednosti impedansi za direktni režim iste sa vrednostima impedansi za inverzni režim, umesto proračuna dvopolnog kratkog spoja, može se proračunati režim sa tropolnim kratkim spojem koji je jednostavniji, a množenjem dobijenih vrednosti struja za tropolni kratak spoj sa  $\sqrt{3}/2$  dobiti tražene struje dvopolnog kratkog spoja. Kod proračuna minimalnih struja dvopolnog kratkog spoja treba koristiti minimalnu snagu kratkog spoja prenosne mreže, a vrednosti otpora provodnika vodova preračunati prema izrazu (3.5).

Za proračune koji slede najjednostavnije je razmatrani elektroenergetski sistem sa slike 3.25 svesti na jedan naponski nivo. S obzirom da su sva razmatranja na naponskom nivou od 20 kV, najpraktičnije je elektroenergetski sistem svesti na taj naponski nivo.

Odgovarajuća šema sistema za proračune kratkih spojeva za proveru osetljivosti zaštita 1, 2 i 4, svedena na naponski nivo od 20 kV, prikazana je na slici 3.27. Svi delovi distributivne mreže koji nisu od interesa za ovaj proračun izostavljeni su sa slike 3.27. Potrebno je obratiti pažnju na ekvivalentnu šemu tronamotajnog transformatora. S obzirom da je distributivna mreža napajana sa 10 kV sabirnica pasivna, sa te strane ne postoji mogućnost napajanja mesta kratkog spoja. Zato nije neophodno pri proračunu uzimati u obzir tu stranu transformatora, nego se potpuno tačan proračun može izvesti uvažavajući samo ostala dva namota transformatora. Na taj način se tronamotajni transformator u proračunima zamjenjuje odgovarajućim dvonamotajnim.



Slika 3.27. - Ekvivalentna šema za direktni režim distributivne mreže sa slike 3.25

Vrednosti impedansi sa slike 3.27 se izračunavaju uz sledeće pretpostavke:

1. impedansa  $Z_m$  se izračunava na osnovu podatka o minimalnoj snagi kratkog spoja mreže 110 kV iz koje se napaja razmatrana distributivna mreža i
2. vrednosti otpora vazdušnih vodova se izračunavaju prema izrazu (3.5) za temperaturu  $\theta_{max}=200^\circ C$  (koja je u ovom slučaju primenjena na podužnu otpornost voda):

$$r_{ks \min} = (1+0.004(\theta_{max}-20)) \cdot r_{20^\circ C} = (1+0.004(200-20)) \cdot 0.3 = 0.516 \Omega/km$$

pa se sve podužne vrednosti otpora povećavaju sa 0.3 Ω/km na 0.516 Ω/km.

Ostali proračuni su standardni. Impedansa mreže na naponskom nivou 110 kV  $Z_{110m}$  je:

$$Z_{110m} = \frac{V^2}{S_{3pk \min}} = \frac{110^2}{1000} = 12.1 \Omega.$$

Ova vrednost impedanse se svodi na naponski nivo 20 kV deljenjem sa kvadratom prenosnog odnosa transformatora:

$$Z_M = \frac{Z_{110m}}{p_T^2} = \frac{12.1}{(110/20)^2} = 0.4 \Omega.$$

Impedansa transformatora iznosi:

$$Z_T = \frac{u_{k12} \cdot V_n^2}{100 \cdot S_T} = \frac{12 \cdot 20^2}{100 \cdot 31.5} = 1.52 \Omega.$$

Impedanse  $Z_1$ ,  $Z_2$  i  $Z_4$  su:

$$Z_1 = z_{200^\circ C} \cdot I_1 = (0.516 + j0.35) \cdot (3+1+3) = (3.61 + j2.45) \Omega,$$

$$Z_2 = (0.516 + j0.35) \cdot 4 = (2.06 + j1.4) \Omega,$$

$$Z_4 = (0.516 + j0.35) \cdot 4 = (2.06 + j1.4) \Omega.$$

Vrednost ekvivalentne impedanse za proračun struje kratkog spoja za kratak spoj na mestu K1 iznosi:

$$Z_{el1} = Z_M + Z_T + Z_4 + Z_1 = j0.4 + j1.52 + (2.06 + j1.4) + (3.61 + j2.45) = (5.67 + j5.77) \Omega,$$

dok je modul ove impedanse:

$$Z_{el1m} = \sqrt{5.67^2 + 5.77^2} = 8.09 \Omega.$$

Pošta su u pitanju proračuni struje minimalnog kratkog spoja, koeficijent c kojim se množi napon ekvivalentnog naponskog izvora na mestu kratkog spoja je  $c=1$  (tabela 1). Na taj način vrednost modula struje tropolnog kratkog spoja na mestu kratkog spoja iznosi:

$$I_{3K1} = \frac{c \cdot V_n / \sqrt{3}}{Z_{el1m}} = \frac{1 \cdot 20 / \sqrt{3}}{8.09} = 143 \text{ kA},$$

na osnovu koje se izračunava vrednost struje dvopolnog kratkog spoja:

$$I_{2KI} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{3KI} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1.43 = 1.24 \text{ kA}.$$

Koefficijent osetljivosti za zaštitu 1 u osnovnoj zoni iznosi:

$$k_{\text{osetljivosti}1} = \frac{I_{2KI}}{I_1} = \frac{1.24}{0.0988} = 12.6,$$

Što je više od minimalne zahtevane vrednosti za osnovnu zonu koja iznosi 1.5. Na sličan način se proverava i osetljivost zaštite 2. Impedansa  $Z_{e2}$  i njen modul su:

$$Z_{e2} = Z_M + Z_T + Z_4 + Z_2 = j0.4 + j1.52 + (2.06 + j1.4) + (2.06 + j1.4) = (4.12 + j4.72) \Omega,$$

$$Z_{e2m} = \sqrt{4.12^2 + 4.72^2} = 6.26 \Omega.$$

Vrednost struje dvopolnog kratkog spoja na mestu K2 je:

$$I_{2K2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{V_n / \sqrt{3}}{Z_{e2m}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{20 / \sqrt{3}}{6.26} = 1.6 \text{ kA}.$$

Koefficijent osetljivosti za zaštitu 2 u osnovnoj zoni iznosi:

$$k_{\text{osetljivosti}2} = \frac{I_{2K2}}{I_2} = \frac{1.6}{0.0706} = 22.7,$$

Što je ponovo više od minimalne zahtevane vrednosti za osnovnu zonu koja iznosi 1.5.

Za proveru osetljivosti zaštite 4 u osnovnoj zoni potrebno je izračunati impedansu  $Z_{e4}$  i njen modul:

$$Z_{e4} = Z_M + Z_T + Z_4 + Z_2 = j0.4 + j1.52 + (2.06 + j1.4) + (2.06 + j3.32) \Omega,$$

$$Z_{e4m} = \sqrt{2.06^2 + 3.32^2} = 3.9 \Omega.$$

Vrednost struje dvopolnog kratkog spoja na mestu K4 je:

$$I_{2K4} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{V_n / \sqrt{3}}{Z_{e4m}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{20 / \sqrt{3}}{3.9} = 2.56 \text{ kA}.$$

Koefficijent osetljivosti za zaštitu 2 u osnovnoj zoni iznosi:

$$k_{\text{osetljivosti}4} = \frac{I_{2K4}}{I_4} = \frac{2.56}{0.167} = 15.3,$$

Što je ponovo više od minimalne zahtevane vrednosti za osnovnu zonu koja iznosi 1.5.

Za proveru osetljivosti u rezervnoj zoni potrebno je izabrati najkritičniji slučaj, odnosno, kvar na kraju rezervne zone kod koga je struja najmanja. Zaštitu 4 ima dve rezervne zone. Vrednosu

struja kratkih spojeva na krajevima tih zona iznose 1.24 kA i 1.6 kA, pa je manja vrednost od ove dve 1.24 kA. Sa ovom vrednošću struje se proverava osetljivost u rezervnoj zoni štićenja:

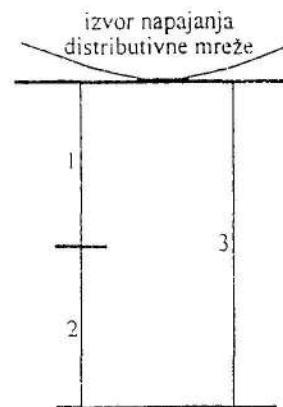
$$k_{\text{osetljivosti}4r} = \frac{I_{2KI}}{I_4} = \frac{1.24}{0.167} = 7.425,$$

Što je više od minimalne zahtevane vrednosti za rezervnu zonu koja iznosi 1.2.

Potrebno je napomenuti da za proveru osetljivosti ne moraju uvek biti relevantne zone sa većom dužinom. Primena provodnika različitih preseka može dovesti do toga da minimalne struje kratkih spojeva na kraćim zonama mogu biti manje nego na krajevima dužih zona.

### Zadatak 3.7.2

Vremenski podešiti zaštite u petljastoj distributivnoj mreži sa slike 3.28. Nakon toga razmotriti kod kojih zaštita treba postaviti i usmerni član kako bi se obezbedila puna funkcionalnost - selektivnost zaštita u toj mreži.



Slika 3.28. - Razmatrana petljasta distributivna mreža

Rešenje:

Postupak vremenskog podešenja započinje tako što se presecanjem sabirnica sa kojih se razmatrana petljasta distributivna mreža napaja (napojnih sabirnica) na dva sistema sabirnica, petljasta mreža svodi na dvostrano napajan vod. U primeru sa slike 3.28, napojne sabirnice su one uz izvor napajanja distributivne mreže. Za izbor vremenskog podešenja dvostrano napajanog voda se primenjuje postupak superpozicije. Prvo se smatra da je takav vod napajan sa jedne strane dok se sa druge smatra da je pasivna mreža, da bi se zatim podešenje vršilo sa druge strane za koju se sada

## 1. ZADACI

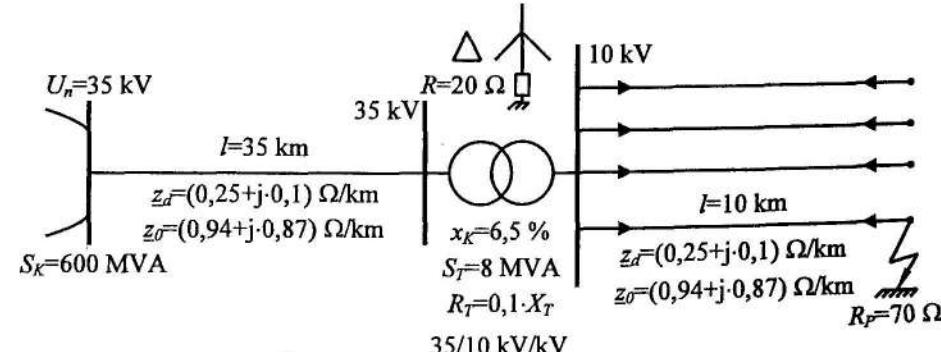
### 1.1 ZAŠTITA VODOVA

1. Na 35 kV distributivnu mrežu preko kabla dužine 35 km i transformatora 35/10 kV priključeno je više kablovskih vodova. Potrebno je podesiti kratkospojnu, prekostrujnu i zemljospojnu zaštitu jednog od 10 kV-nih kablova. Podaci potrebni za proračun dati su na slici, a zemljospojnu zaštitu podesiti za slučaj:

- da je neutralna tačka transformatora uzemljena preko omskog otpora  $R=20 \Omega$  i da je prelazni otpor na mestu kvara  $70 \Omega$ , i
- da je mreža 10 kV sa izolovanom neutralnom tačkom sa nadzemnim vodovima ukupne dužine 100 km, bez prelaznog otpora na mestu kvara i nultog kapaciteta  $c_0=5,5 \text{ nF/km}$ .

Strujni transformatori za zaštitu imaju prenosni odnos 200/5 A/A. Releji kojima se raspolaže su naznačene struje  $I_n=5 \text{ A}$ , sa opsegom podešavanja:

kratkospojni  $I>>: (4-10) \cdot I_n$ ,  
 prekostrujni  $I>: (0,9-1,8) I_n$ ,  
 zemljospojni prekostrujni  $I_0 > : (0,3-0,6) \cdot I_n$  (ovaj relaj je  $\cos\phi$  tipa i predviđen je za zemljospojnu zaštitu u mreži uzemljenoj preko otpornika),  
 zemljospojni relaj snage  $W_0 >: (1\%-10\%) \cdot U_n I_n \cdot \sin\phi$ ,  $U_n=100 \text{ V}$ ,  $I_n=5 \text{ A}$  (ovaj relaj je  $\sin\phi$  tipa i predviđen je za zemljospojnu zaštitu izolovane mreže).  
 Odnos reagovanja releja je  $\alpha=0,9$ . Koeficijent sigurnosti je  $k=1,3$ , a dozvoljeno maksimalno opterećenje kabla je  $I_{POG \max}=250 \text{ A}$ .



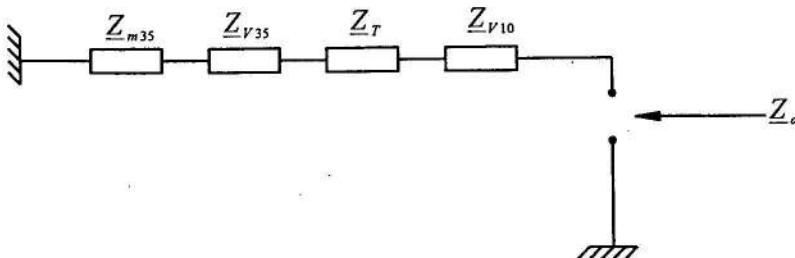
Sl. 1 Šema i parametri elemenata

## Rešenje

### Podešavanje kratkospojne zaštite

Osnovni nedostatak prekostrujne zaštite distributivnih mreža je predugo vreme reagovanja kada ima više deonica. Zbog toga se najčešće kombinuju tzv. kratkospojna ( $I_{>}$ ) i prekostrujna zaštita ( $I_{>>}$ ). Kratkospojna zaštita reaguje trenutno (nema namernog vremenskog kašnjenja) pri većim vrednostima struja kratkih spojeva, dok se prekostrujna zaštita vremenski stepenuje od potrošača prema izvorima. Vremensko stepenovanje biće prikazano u sledećem primeru, pa ovde neće biti urađeno. Kombinovanjem kratkospojne i prekostrujne zaštite postiže se brzo reagovanje pri bliskim kvarovima. Međutim, zbog postizanja selektivnosti, kratkospojna zaštita ne može se strujno podesiti tako da reaguje pri kvarovima na celoj dužini, pa postoji mrtva zona. To je onaj deo voda u blizini susednih sabirница gde, ako nastane kvar, zaštita ne može da ga detektuje, pa je dodatna prekostrujna zaštita neophodna.

Najpre je potrebno podesiti kratkospojnu zaštitu. Ona se podešava na osnovu struje trofaznog kratkog spoja na susednim sabirnicama. Da zaštita ne bi reagovala pri kvarovima iza transformatora, za koje je zadužena druga zaštita, treba uzeti u obzir koeficijent sigurnosti. To je zbog toga što releji nisu apsolutno tačni i zbog toga što su parametri vodova poznati samo približno. Treba izračunati struju trofaznog kratkog spoja. Koristi se sledeća zamenska šema:



Sl. 2 Zamenska šema direktnog redosleda

Reaktansa mreže, svedena na 10 kV stranu, je:

$$Z_{m35} = \frac{U^2}{S_K} = \frac{35^2}{600} \cdot \left( \frac{10}{35} \right)^2 = \frac{10^2}{600} \Omega = 0,167 \Omega .$$

Direktna impedansa 35 kV kablovskog voda, dugog 35 km, je:

$$Z_{V35} = Z_{V35} \cdot l_{V35} \cdot \left( \frac{10}{35} \right)^2 = (0,25 + j \cdot 0,1) \cdot 35 \cdot \left( \frac{10}{35} \right)^2 = (0,71 + j \cdot 0,285) \Omega .$$

Reaktansa transformatora je:

$$X_T = \frac{x_K}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{10^2}{8} = 0,81 \Omega .$$

Omska otpornost transformatora iznosi, po uslovu zadatka, 10 % reaktanse, pa je:

$$R_T = 0,1 \cdot X_T = 0,1 \cdot 0,81 \Omega = 0,081 \Omega .$$

Direktna impedansa 10 km dugog, 10 kV-nog kablovskog voda je:

$$Z_{V10} = Z_{V10} \cdot l_{V35} = (0,25 + j \cdot 0,1) \cdot 10 \Omega = (2,5 + j \cdot 1) \Omega .$$

Struja metalnog trofaznog kratkog spoja na kraju kabla 10 kV je:

$$I_K^3 = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot (Z_{m35} + Z_{V35} + Z_T + Z_{V10})} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot (3,291 + j \cdot 2,26)} = 1,446 \text{ kA} .$$

Međutim, ovde treba ukazati na jednu važnu činjenicu. Kratkospojnu zaštitu treba podesiti prema maksimalnoj struci kratkog spoja da se ne bi desilo da zaštita neselektivno reaguje pri kvaru na početku susednog voda.

Struja kratkog spoja zavisi od više faktora. Prvi je vrsta kvara. Najveća je struja trofaznog kratkog spoja, bez obzira da li postoji spoj sa zemljom ili ne. Spoj sa zemljom ne utiče na vrednost struje trofaznog kvara, već samo na prepone prilikom prekidanja struje kvara. Zatim sledi dvofazni kratak spoj sa zemljom, a najmanja je struja dvofaznog kratkog spoja bez spoja sa zemljom. Radi se o zaštiti od međufaznih kvarova, pa se jednofazni kratak spoj ne uzima u obzir. Dakle, kratkospojnu zaštitu treba podesiti prepostavljajući trofazni kratak spoj na susednim sabirnicama.

Drugi uticajni faktor je snaga kratkog spoja mreže koja napaja kabl 35 kV. Ona zavisi od toga koliko je generatora i kojom snagom priključeno na mrežu. Snaga zavisi i

od toga koji su elementi mreže u pogonu. Kada želimo da izračunamo najveću struju trofaznog kratkog spoja, logično je da ćemo računati sa najvećom snagom trofaznog kratkog spoja (zadatak 4). Ona je predmet posebne analize i treba da bude poznata. U ovom zadatku je, radi jednostavnosti, data samo jedna vrednost snage trofaznog kratkog spoja.

Treći faktor je tačnost ulaznih podataka o elementima mreže. Ta tačnost zavisi od načina na koji su oni izračunati. Ovu grešku uzimamo u obzir pomoću koeficijenta sigurnosti (u ovom slučaju  $k=1,3$ ).

Cetvrti uticajni parametar je napon, koji nikada nije jednak naznačenom, već je u granicama  $\pm 10\%$  u odnosu na naznačeni napon. Propisima je definisan i najviši napon opreme, za koji je oprema konstruisana. Napon u mreži ne treba da bude viši od ovog napona. Napon u mreži 10 kV može biti viši i niži od 10 kV. Najviši napon opreme je 12 kV. Ukoliko je napon za 10% viši od 10 kV, i struja kratkog spoja je za toliko viša. Zbog toga je u [3, str. 78] data tabela sa vrednostima koeficijenta  $c$  kojim treba pomnožiti napon ekvivalentnog izvora na mestu kratkog spoja kada se izračunava struja kvara. Za visok napon (napon viši od 1 kV) taj koeficijent je 1,1, pri čemu proizvod koeficijenta  $c$  i naznačenog napona naponskog izvora ne sme da premaši najviši napon opreme.

Kratkospojni relej podešava se prema izrazu:

$$I_{pod} = \frac{k \cdot c \cdot I_K^{(3)}}{P_i} = \frac{1,3 \cdot 1,1 \cdot 1440}{200} A = 51,5 A = 10,3 \cdot I_n ,$$

gde je  $I_n$  – naznačena struja releja, koja iznosi 5A.

Ovako podešena zaštita trenutno štiti vod pri bliskim kratkim spojevima, pa se zove kratkospojna zaštita. Pri trofaznom kratkom spoju zaštićen je veći, a pri dvofaznim nešto manji deo voda (zadatak 4).

### Podešavanje prekostrujne zaštite

Ova zaštita štiti od kvarova koje ne može da detektuje kratkospojna zaštita. To su kvarovi u blizini sabirnice na udaljenom kraju voda. Ona reaguje sa vremenskom zadrškom pri strujnim opterećenjima koja prelaze vrednosti dozvoljenih struina opterećenja voda (maksimalna pogonska struja), kao i pri udaljenim kratkim spojevima. Zove se prekostrujna zaštita. Prema [16], prekostrujna zaštita nije, po pravilu, zaštita od termičkog preopterećenja voda. Za to se koristi "preventivna zaštita" od preopterećenja, koja se ostvaruje redovnim praćenjem i prognozom opterećenja konzuma koji se napaja preko štićenog voda i analizom mogućeg opterećenja voda u normalnim i havarijskim uslovima.

Prekostrujna zaštita se podešava prema izrazu:

$$I_{pod} = k \cdot \frac{I_{POG \max}}{a \cdot p_i} = 1,3 \cdot \frac{250}{0,9 \cdot \frac{200}{5}} A = 9 A = 1,8 \cdot I_n .$$

Kratkospojna i prekostrujna zaštita mogu biti dvofazne u slučaju da se utvrdi da one ne mogu biti zaštićene od zemljospojeva. To je slučaj kod mreža uzemljenih preko male impedanse kada je struja kvara manja od maksimalne pogonske struje ili kada relej nije dovoljno osjetljiv. U izolovanim mrežama struja zemljospojja je uvek veoma mala, pa je tu sigurno potrebno primeniti posebnu zemljospojnu zaštitu za zemljospojeve, a posebnu za međufazne kvarove. Ukoliko su releji za zaštitu od međufaznih kratkih spojeva postavljeni u fazama L1 i L3, pri kvaru L1-L2 reaguje relej u fazi L1. Ako je kvar L2-L3, reaguje relej u fazi L3, a kod kvara L1-L3 reagovao bi jedan od releja u fazama L1 i L3. Naravno, zaštita može biti i trofazna, što povećava pouzdanost u slučaju otkaza nekog od releja. U mrežama gde bi struja zemljospojja bila veća od podešene struje releja, uz dovoljnu osjetljivost na kraju rezervne zone štićenja, zaštita bi bila trofazna i ne bi bila neophodna posebna zaštita od zemljospojeva. U našem primeru u oba slučaja potrebno je izvesti posebnu zemljospojnu zaštitu.

Potrebno je proveriti koeficijent osjetljivosti. Koeficijent osjetljivosti je broj koji pokazuje koliko puta je minimalna struja kvara (dakle, struja u najnepovoljnijim uslovima za relej) veća od podešene struje releja. Što je struja kvara veća, relej je lakše detektuje, bez obzira na konstrukciju releja (elektromehanička, statička, mikroprocesorska). Reagovanje releja je neizvesno kada su struja kvara (koja treba da izazove reagovanje releja) i podešena struja reagovanja releja bliske po vrednosti. Zbog toga je poželjno da koeficijent osjetljivosti bude što veći. U ovom zadatku dati su podaci jedino o štićenom kablu, pa će biti izračunat koeficijent osjetljivosti za dvofazni kvar na kraju osnovne zone štićenja:

$$k_{os} = \frac{I_{K \min}}{I'_{pod}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K \min}^{(3)} \cdot c}{I'_{pod}} = \frac{0,866 \cdot 1440 \cdot 1}{9 \cdot \frac{200}{5}} = 3,46 ,$$

što je veće od 1,5, koliko se obično zahteva.

U našem slučaju je, zbog jedne vrednosti snage kratkog spoja napojne mreže minimalna struja trofaznog kratkog spoja jednaka maksimalnoj. U realnim slučajevima kada su poznate minimalna i maksimalna snaga kratkog spoja, za izračunavanje koeficijenta osjetljivosti treba uzeti minimalnu snagu kratkog spoja (zadatak 4). Koeficijent  $c$  je, prema [3, str. 78], jednak 1.