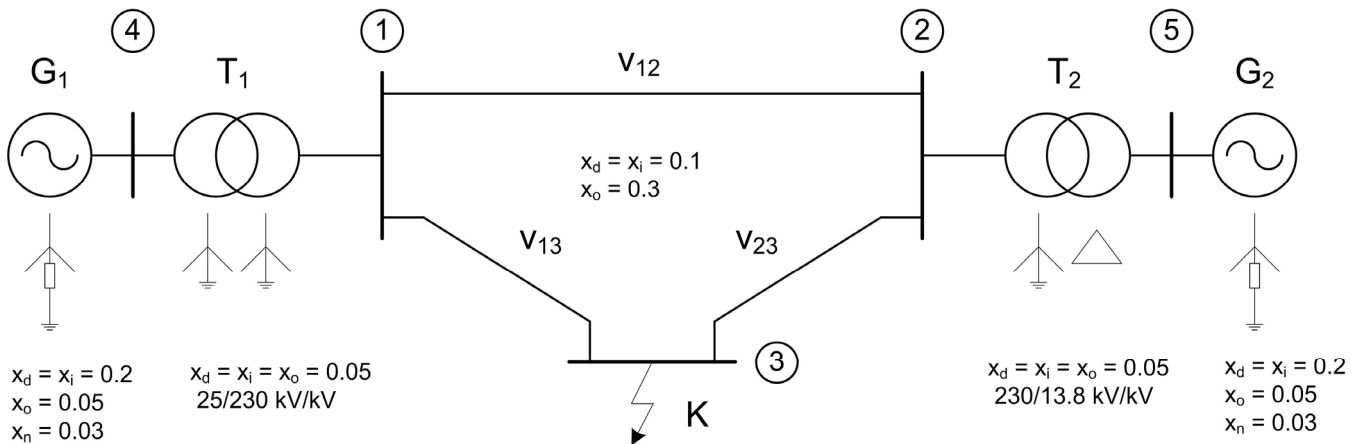


1. Za EES dat na slici:

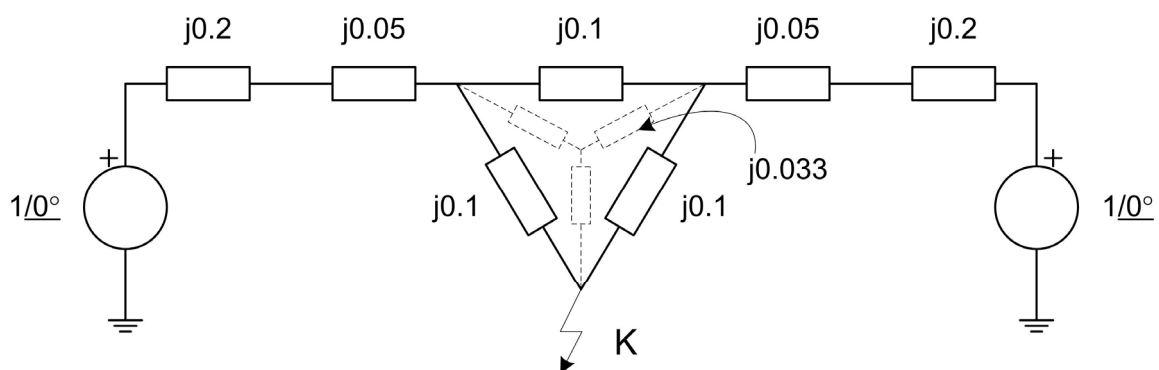
- a) odrediti bazne struje i impedanse elemenata ako je $S_B = 100$ MVA, a naponi jednaki nominalnim vrijednostima napona pojedinih naponskih nivoa,
 b) Nacrtati ekvivalentne šeme direktnog, inverznog i nultog redosljeda.



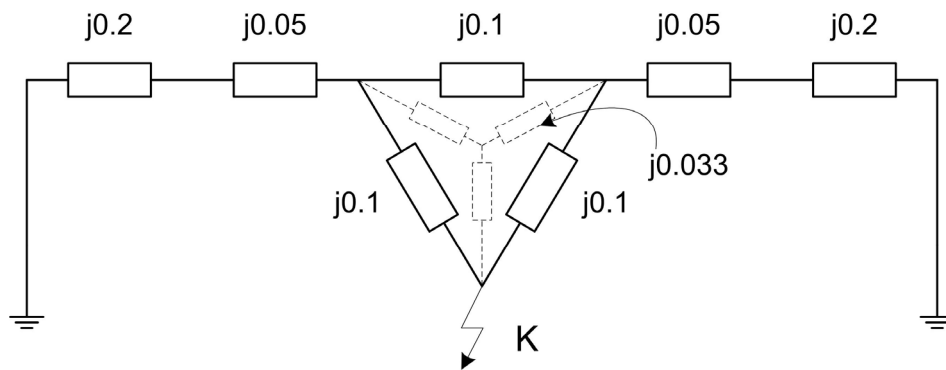
- a) $S_B = 100$ MVA

$$\begin{aligned}
 U_{B1} &= 25 \text{ kV} & Z_{B1} &= \frac{U_{B1}^2}{S_B} = 6.25 \, \Omega & I_{B1} &= \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{B1}} = 2310 \text{ A} \\
 U_{B2} &= 230 \text{ kV} & Z_{B2} &= \frac{U_{B2}^2}{S_B} = 529 \, \Omega & I_{B2} &= \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{B2}} = 251 \text{ A} \\
 U_{B3} &= 13.8 \text{ kV} & Z_{B3} &= \frac{U_{B3}^2}{S_B} = 1905 \, \Omega & I_{B3G} &= \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{B3}} = 4184 \text{ A} \\
 & & & & I_{B3T} &= \frac{S_B}{U_{B3}} = 7246 \text{ A}
 \end{aligned}$$

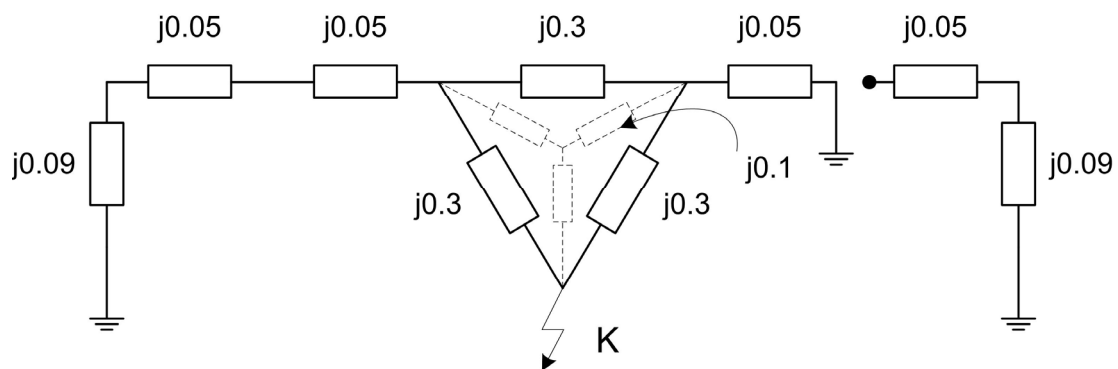
- b) Direktni redosljed:



c) Inverzni redosljed:



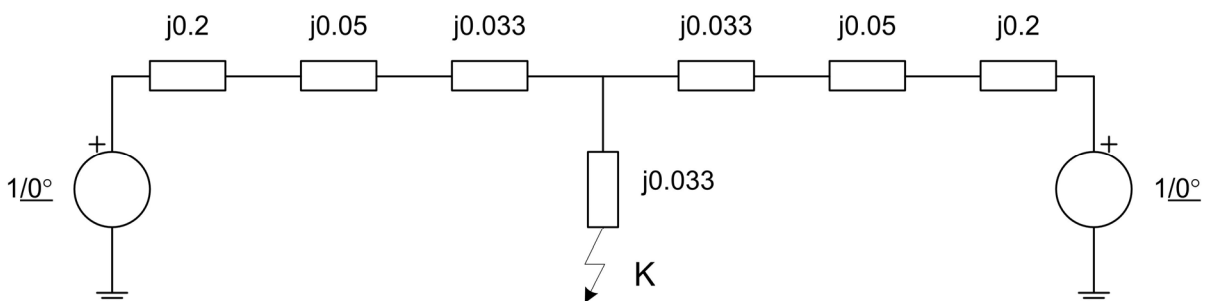
d) Nulti redosljed:



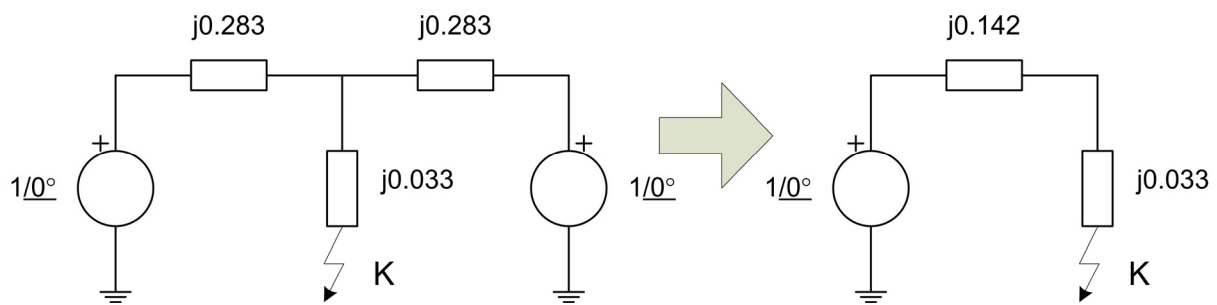
Potrebno je svesti šeme na što jednostavniji oblik vodeći računa da se očuva čvor u kome je došlo do kvara (mjesto kvara).

Prema tome, kako je mjesto kvara označeno sa K, onda je lako uočiti trougao impedansi u šemama sva tri redosljeda koje je moguće transformisati u zvijezdu. Tada je,

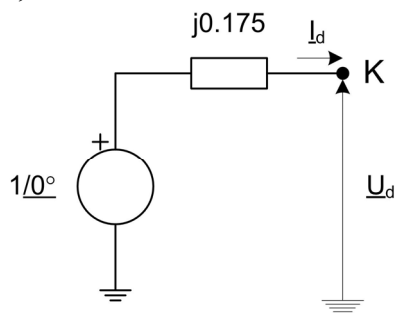
za direktni redosljed



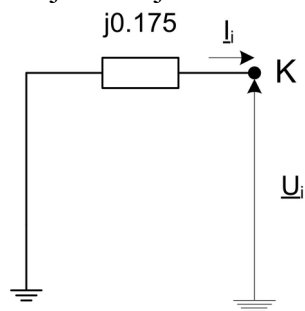
Daljim ekvivalentiranjem dobija se,



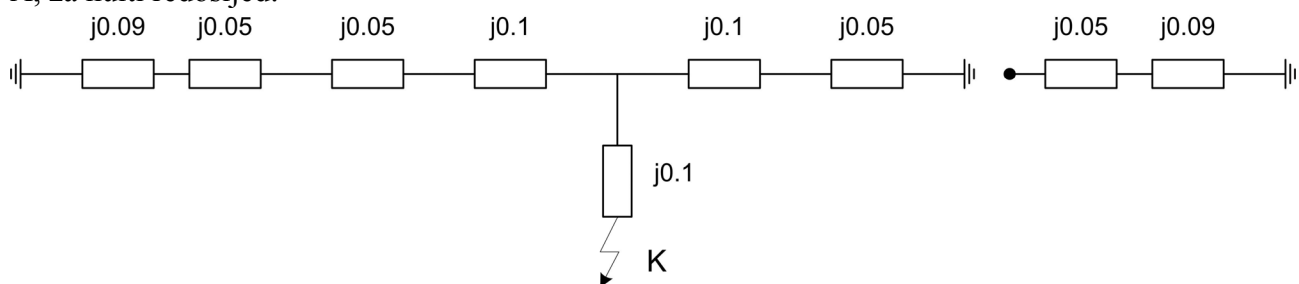
na kraju, za direktni redosljed dobija se osnovna šema direktnog redosljeda gdje su označeni smjer struje i napona direktnog redosljeda,



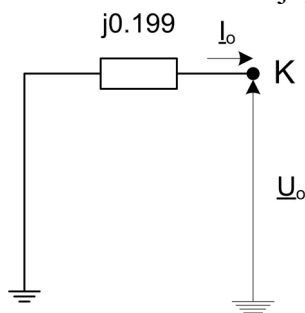
Analognim postupkom, za inverzni redosljed dobija se:



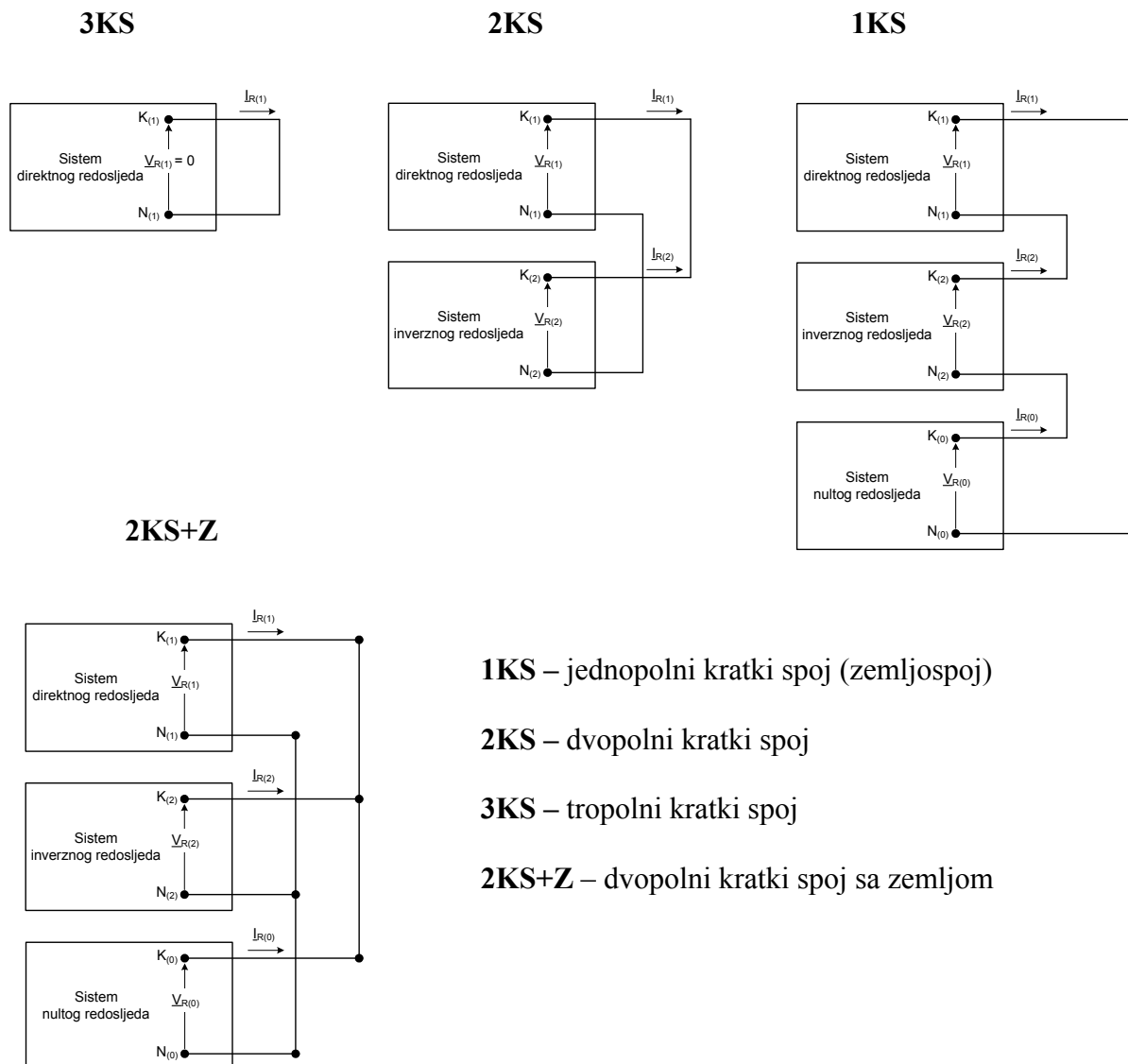
A, za nulti redosljed:



daljim ekvivalentiranjem dolazi se do konačne transformacije,



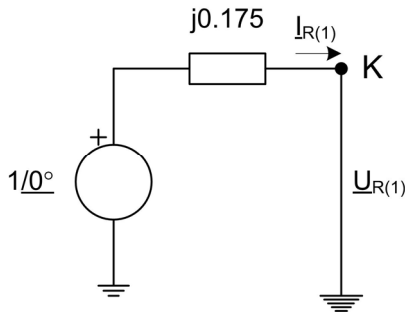
Sada, zavisno od tipa kvara, koristi se jedno od ekvivalentnih kola iz literature (slika dolje) i vrši se proračun traženih veličina (najčešće struje kvara i napona na mjestu kvara) koje određuju kasnije podešavanja zaštite.



Ako se veličine dobijne u dijelu zadatka pod a), onda se može izračunati struja u fazama na mjestu kvara na sljedeći način zavisno od vrste kvara:

3KS

Posmatra se samo šema direktnog redosljeda sa slike,



$$I_{R(1)} = \frac{1/0^\circ}{j0.175} = -j5.71$$

$$I_{R(2)} = I_{R(0)} = 0$$

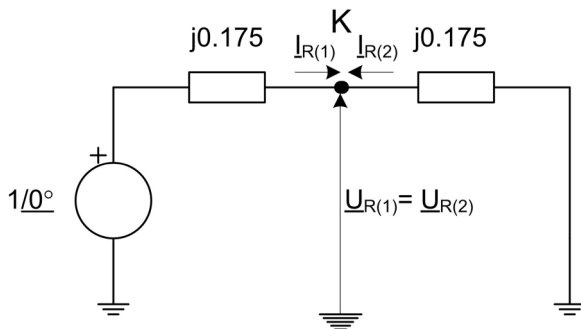
$$I_R = I_{R(1)} + I_{R(2)} + I_{R(0)} = I_{R(1)} = -j5.71 = 5.71/-90^\circ$$

$$I_S = I_{S(1)} + I_{S(2)} + I_{S(0)} = \underline{a}^2 I_{R(1)} + \underline{a} I_{R(2)} + I_{R(0)} = \underline{a}^2 I_{R(1)} = 5.71/150^\circ$$

$$I_T = I_{T(1)} + I_{T(2)} + I_{T(0)} = \underline{a} I_{R(1)} + \underline{a}^2 I_{R(2)} + I_{R(0)} = \underline{a} I_{R(1)} = 5.71/30^\circ$$

$$\underline{U}_R = \underline{U}_S = \underline{U}_T = 0$$

2KS (između faza ST)



$$I_{R(1)} = -I_{R(2)} = \frac{1/0^\circ}{j0.175 + j0.175} = -j2.86$$

$$I_{R(0)} = 0$$

$$U_{R(1)} = U_{R(2)} = 1 - j0.175(-j2.86) = 0.5$$

$$U_{R(0)} = 0$$

$$I_R = I_{R(1)} + I_{R(2)} + I_{R(0)} = I_{R(1)} = 0$$

$$I_S = I_{S(1)} + I_{S(2)} + I_{S(0)} = \underline{a}^2 I_{R(1)} + \underline{a} I_{R(2)} + I_{R(0)} = -4.95$$

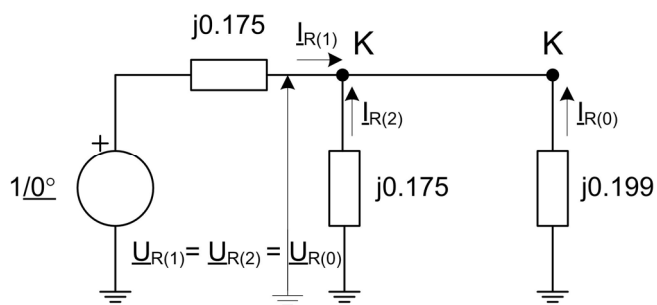
$$I_T = -I_S = 4.95$$

$$U_R = U_{R(1)} + U_{R(2)} + U_{R(0)} = 1$$

$$U_S = U_{S(1)} + U_{S(2)} + U_{S(0)} = \underline{a}^2 U_{R(1)} + \underline{a} U_{R(2)} + U_{R(0)} = -0.5$$

$$U_T = U_{T(1)} + U_{T(2)} + U_{T(0)} = \underline{a} U_{R(1)} + \underline{a}^2 U_{R(2)} + U_{R(0)} = -0.5$$

2KS+Z (između faza S i T i zemlje)



$$I_{R(1)} = -j3.73$$

$$I_{R(2)} = j1.99$$

$$I_{R(0)} = j1.75$$

$$I_R = I_{R(1)} + I_{R(2)} + I_{R(0)} = 0$$

$$I_S = I_{S(1)} + I_{S(2)} + I_{S(0)} = \underline{a}^2 I_{R(1)} + \underline{a} I_{R(2)} + I_{R(0)} = 5.6/152.1^\circ$$

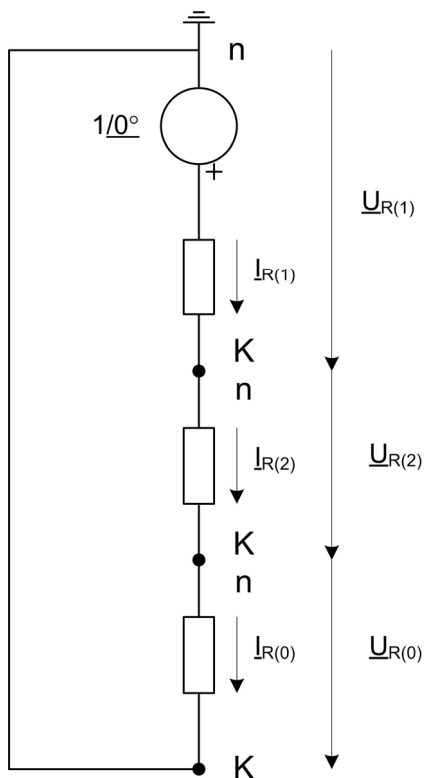
$$I_T = I_{T(1)} + I_{T(2)} + I_{T(0)} = \underline{a} I_{R(1)} + \underline{a}^2 I_{R(2)} + I_{R(0)} = 5.6/27.9^\circ$$

$$U_{R(1)} = U_{R(2)} = U_{R(0)} = -Z_{R(2)} I_{R(2)} = 0.348$$

$$U_R = U_{R(1)} + U_{R(2)} + U_{R(0)} = 1.044$$

$$U_S = U_T = 0$$

1KS (faza R)



$$I_{R(1)} = I_{R(2)} = I_{R(0)} = -j1.82$$

$$I_R = I_{R(1)} + I_{R(2)} + I_{R(0)} = -j5.46$$

$$I_S = I_{S(1)} + I_{S(2)} + I_{S(0)} = 0$$

$$I_T = I_{T(1)} + I_{T(2)} + I_{T(0)} = 0$$

$$U_{R(1)} = 1 - j0.175(-j1.82) = 0.681$$

$$U_{R(2)} = -j0.175(-j1.82) = -0.319$$

$$U_{R(0)} = -j0.199(-j1.82) = -0.362$$

$$U_R = U_{R(1)} + U_{R(2)} + U_{R(0)} = 0$$

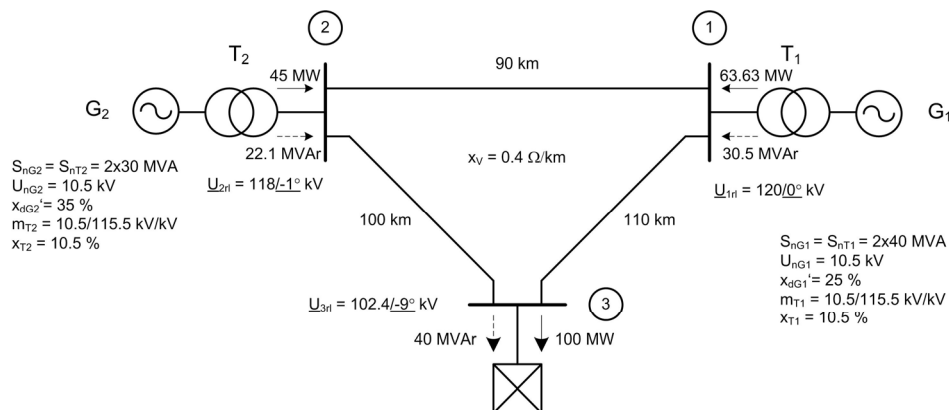
$$U_S = U_{S(1)} + U_{S(2)} + U_{S(0)} = \underline{a^2}U_{R(1)} + \underline{a}U_{R(2)} + U_{R(0)} = 1.022/238^\circ$$

$$U_T = U_{T(1)} + U_{T(2)} + U_{T(0)} = \underline{a}U_{R(1)} + \underline{a^2}U_{R(2)} + U_{R(0)} = -1.022/122^\circ$$

Na kraju, množeći sve proračunate vrijednosti sa odgovarajućim baznim veličinama, dobija se prava vrijednost (apsolutne vrijednosti) struje kvara i napona u svim fazama.

2. Na slici je jednopolno prikazan trofazni EE sistem,

- Ako su ulazni podaci zadati iz riješenog problema raspodjele snaga i napona (naponi čvorova, injektirane snage u čvorovima, ems izvora), odrediti metodom stvarnih elektromotornih sila struju kvara na sabirnicama 1, na kojima je došlo do trofaznog kratkog spoja.
- U slučaju da podaci pod a) koji se tiču napona i raspodjela snaga nisu poznati, odrediti istim metodom struju kvara u slučaju 3KS na istom mjestu.



$$X_{G1+T1} = \frac{25}{100} \frac{(10.5)^2}{80} \frac{(115.5)^2}{(10.5)^2} + \frac{10.5}{100} \frac{(115.5)^2}{80} = 59.1974 \Omega$$

$$X_{G2+T2} = \frac{35}{100} \frac{(10.5)^2}{60} \frac{(115.5)^2}{(10.5)^2} + \frac{10.5}{100} \frac{(115.5)^2}{60} = 101.1635 \Omega$$

$$X_{v12} = 0.4 \cdot 90 = 36 \Omega$$

$$X_{v23} = 0.4 \cdot 100 = 40 \Omega$$

$$X_{v13} = 0.4 \cdot 110 = 44 \Omega$$

$$R_p = \frac{U_p^2}{S_p} \cos \varphi = \frac{102.4^2}{\sqrt{100^2 + 40^2}} \frac{100}{\sqrt{100^2 + 40^2}} = 90.3968 \Omega$$

$$X_p = \frac{U_p^2}{S_p} \sin \varphi = \frac{102.4^2}{\sqrt{100^2 + 40^2}} \frac{40}{\sqrt{100^2 + 40^2}} = 36.1587 \Omega$$

a) Iz radnih uslova mogu se odrediti vrijednosti elektromotornih sila generatora

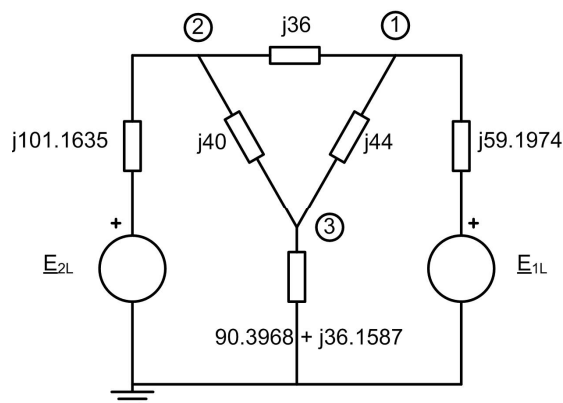
$$\underline{E}_{1L} = 120 + \frac{30.5 \cdot 59.1974}{120} + j \frac{63.63 \cdot 59.1974}{120} = 135.05 + j31.39 = 138.65 / 13.1^\circ \text{ kV}$$

Slovo „L“ u indeksu ukazuje da se radi o linijskoj vrijednosti.

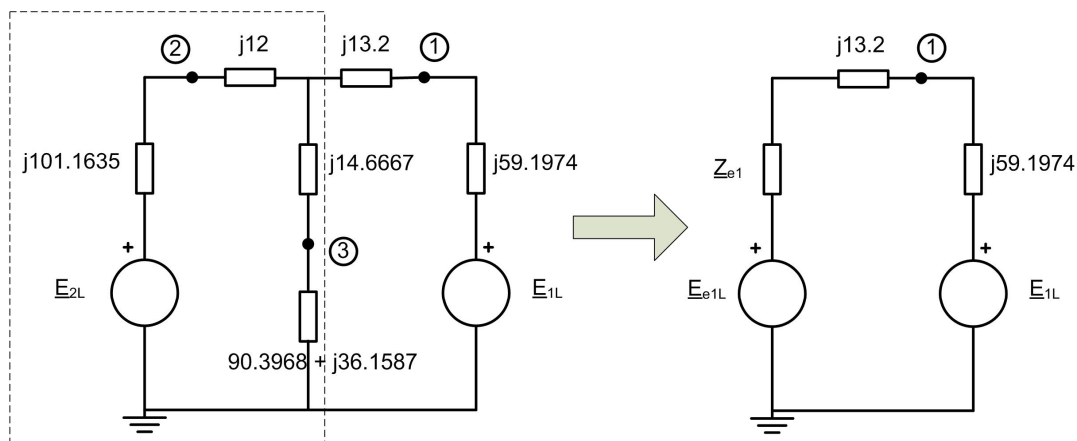
$$\underline{E}_{2L} = 118 + \frac{22.1 \cdot 101.1635}{118} + j \frac{45 \cdot 101.1635}{118} = 142.28 / 15.7^\circ \text{ kV}$$

Međutim, potrebno je korigovati dobijeni fazni stav za vrijednost ugla za koji zaostaje $\underline{U}_r$ za faznom osom (a to je ugao od 1°), pa je

$$\underline{E}_{2L} = 142.28 / 14.7^\circ \text{ kV}$$



Vodeći računa da se kvar desio u čvoru 1, može se izvršiti ekvivalentiranje posmatrane šeme tako što se transfiguriše trougao impedansi (vodovi) u zvijezdu.

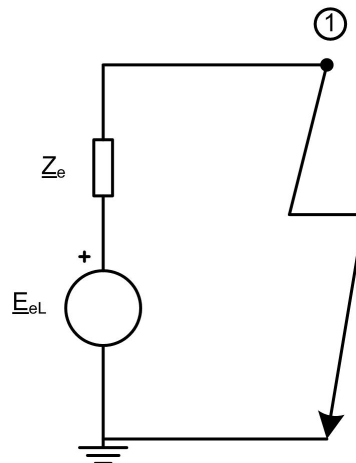


Sa slike gore, može se uočiti dio šeme koji je uokviren gdje je moguće izvršiti transfiguraciju na osnovu pravila o paralelnim granama sa generatorima i dobiti ekvivalentni generator sa ems $\underline{E}_{e1L}$ i impedansom $\underline{Z}_{e1}$.

$$\underline{Z}_{e1} = \frac{(j101.1635+j12)(j14.6667+90.3968+j36.1587)}{(j101.1635+j12+j14.6667+90.3968+j36.1587)} = 33.015+j53.272 = 62.6729/\underline{58.2^\circ} \Omega$$

$$\underline{E}_{e1L} = \frac{E_{2L} (j14.6667+90.3968+j36.1587)}{(j101.1635+j12+j14.6667+90.3968+j36.1587)} = 75.32-j23.151 = 78.797/\underline{-17.074^\circ} \text{ kV}$$

Koristeći isti princip kao i kod prethodne šeme, može se izvršiti dalje ekvivalentiranje šeme kada se dobija šema,



gdje su

$$\underline{Z}_e = \frac{(Z_{e1} + j13.2) j59.1974}{(Z_{e1} + j13.2 + j59.1974)} = 6.853 + j33.112 = 33.814/\underline{78.323^\circ} \Omega$$

$$\underline{E}_e = \frac{\underline{E}_{e1L} \cdot j59.1974 + \underline{E}_{1L} (Z_{e1} + j13.2)}{(j59.1974 + \underline{Z}_{e1} + j13.2)} = 115.037 + j0.491 = 115.037/\underline{0.245^\circ} \text{ kV}$$

Sada je struja kvara,

$$I_K = \frac{\underline{E}_{eL}}{\sqrt{3} \underline{Z}_e} = \frac{115.037/\underline{0.245^\circ}}{\sqrt{3} \cdot 33.814/\underline{78.323^\circ}} = 1.964/\underline{-78.078^\circ} = (0.405 - j1.922) \text{ kA}.$$

b) Sada je potrebno riješiti isti problem, ali uzimajući u obzir da nisu poznate veličine dobijene iz proračuna tokova snaga. Kako nisu raspoloživi nikakvi podaci koji se tiču režima rada posmatranog EES-a, pretpostavlja se da je u praznom hodu i onda se sprovodi proračun.

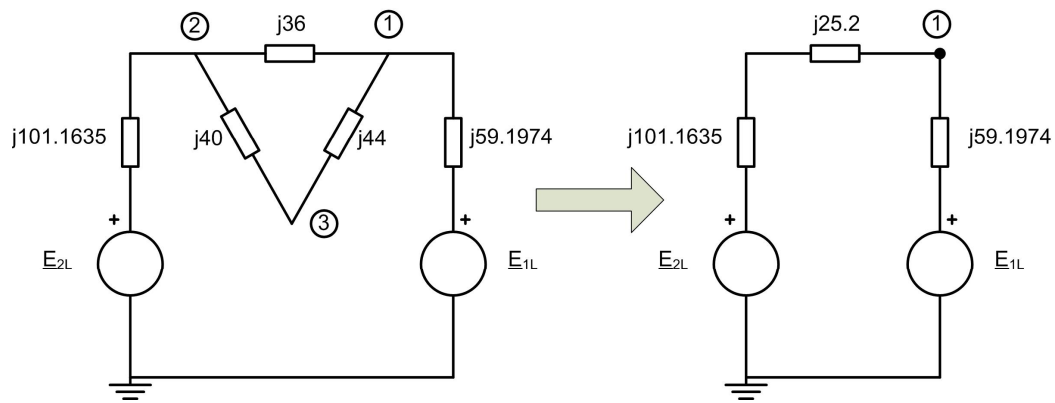
Kako je system u praznom hodu to važi,

$$\underline{E}_{1L} = 115.5 \underline{/0^\circ}$$

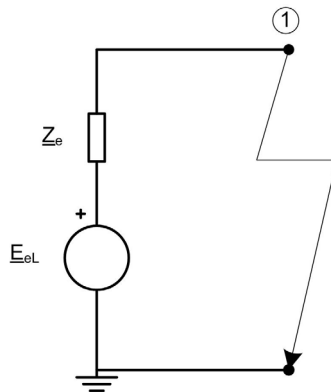
$$\underline{E}_{2L} = 115.5 \underline{/0^\circ}$$

a, takođe je potrebno napomenuti da u slučaju praznog hoda, potrošače ne uzimamo u obzir jer ne predstavljaju nikakvo opterećenje.

Uzimajući naprijed rečeno u obzir ekvivalentna šema problema je,



Daljim ekvivalentiranjem paralelnih izvora dolazi se do,



gdje je,

$$Z_e = \frac{(j101.1635 + j25.2)(j59.1974)}{(j101.1635 + j25.2 + j59.1974)} = j40.312 \Omega$$

$$E_{eL} = \frac{E_{2L} \cdot j59.1974 + E_{1L} (j101.1635 + j25.2)}{(j59.1974 + j101.1635 + j25.2)} = 115.5 / 0^\circ \text{ kV}$$

Sada je struja kvara,

$$I_K = \frac{E_{eL}}{\sqrt{3} \cdot j40.312} = \frac{115.5}{\sqrt{3} \cdot j40.312} = -j1.654 \text{ kA}$$

Na kraju, upoređivanjem rezultata sa dobijenom strujom kvara u slučaju pod a) zaključuje se da odstupanje nije veliko (oko 19% manja struja) što ukazuje na to da je moguće sprovesti dovoljno kvalitetne proračune na sistemu u praznom hodu, tj. ne poznavajući režimske parametre.