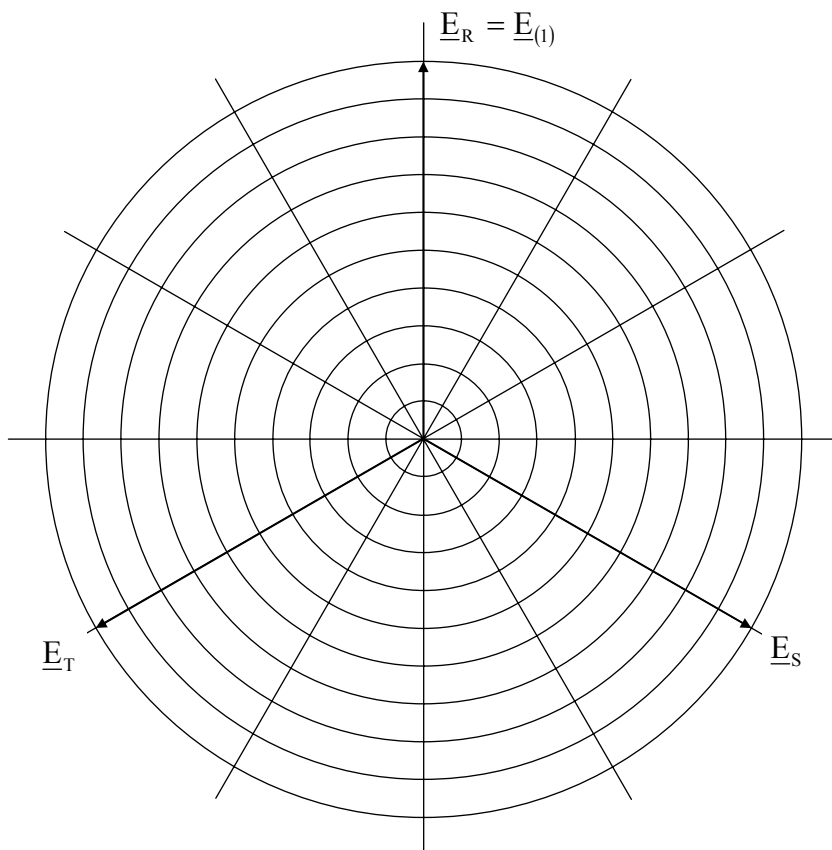
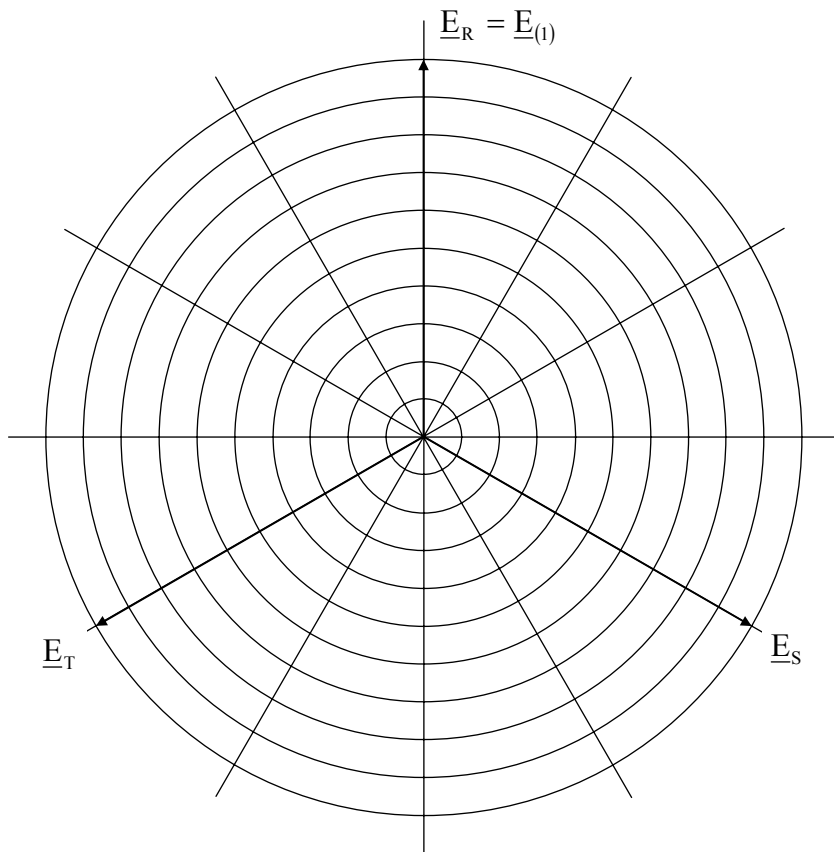
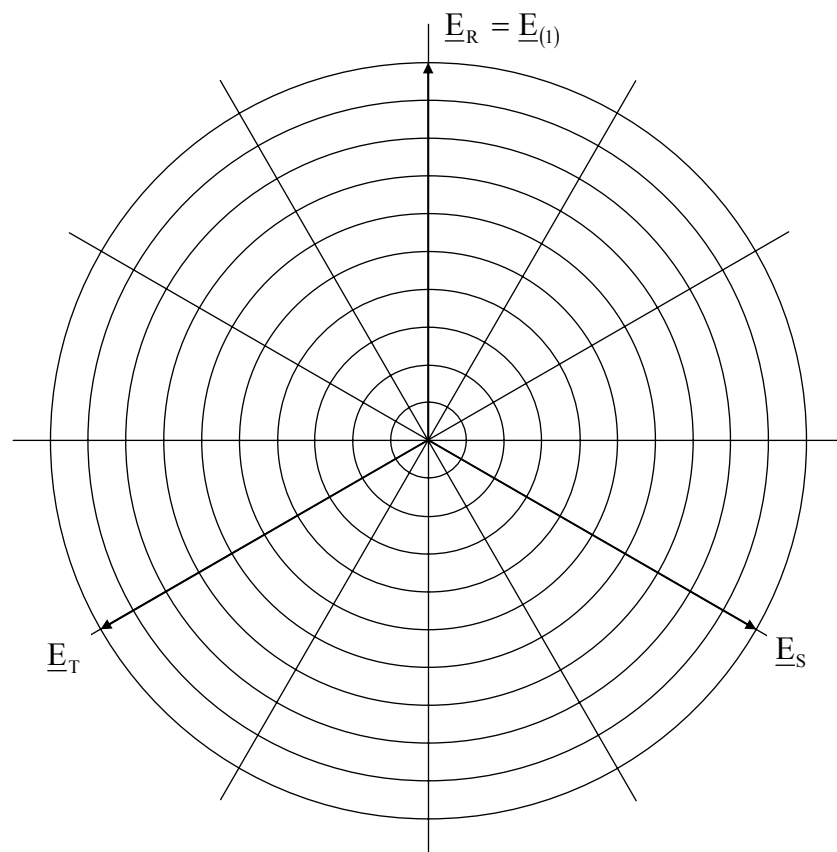
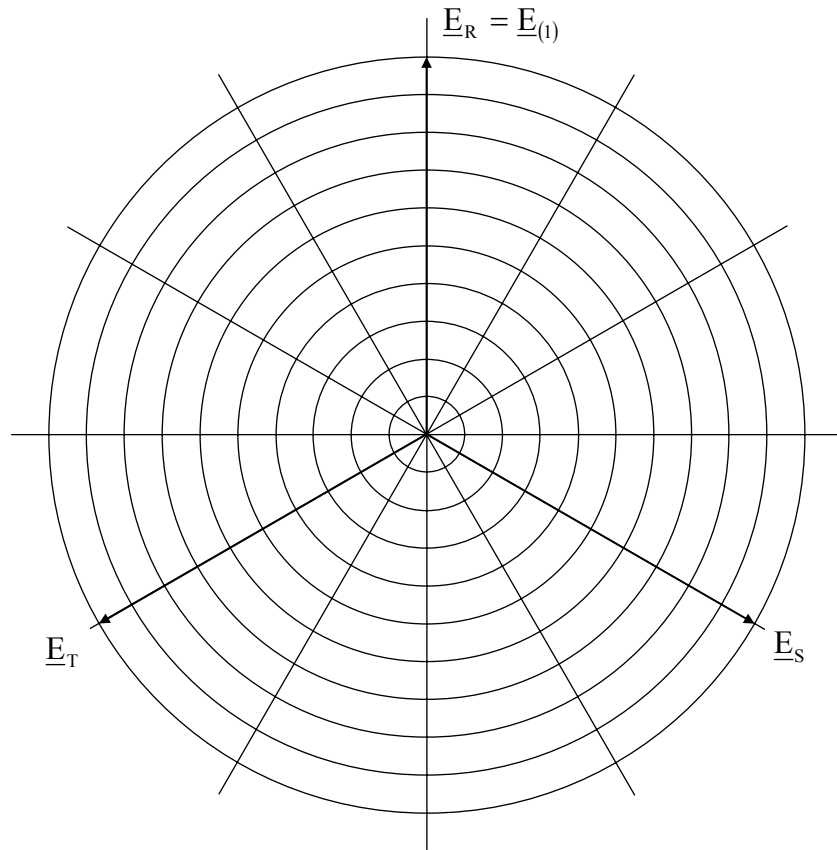


**ZAŁĄCZNIK NR 1. PODKLĄDY DO RYSOWANIA WYKRESÓW WSKAZOWYCH**

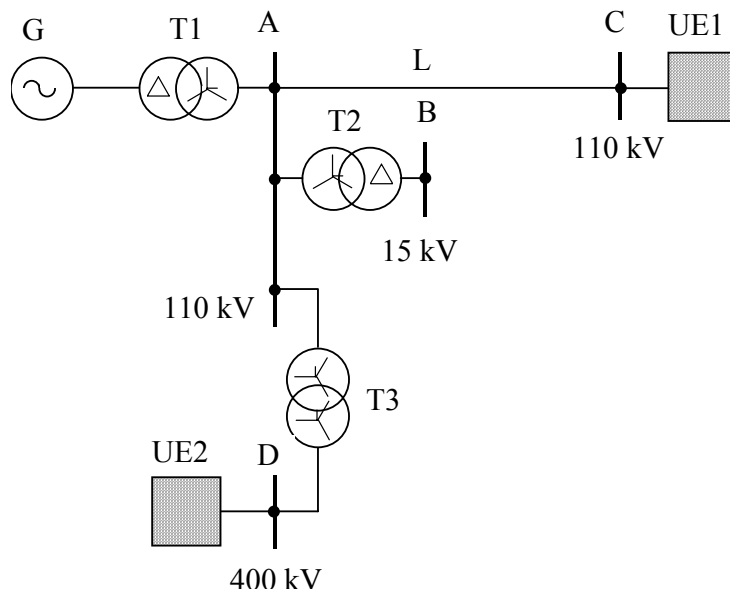




ZAŁĄCZNIK NR 2. PRZYKŁADOWE ZADANIA EGZAMINACYJNE

Zadanie 1

Dany jest układ elektroenergetyczny jak na poniższym rysunku.



Rys. Z.1 Schemat sieci.

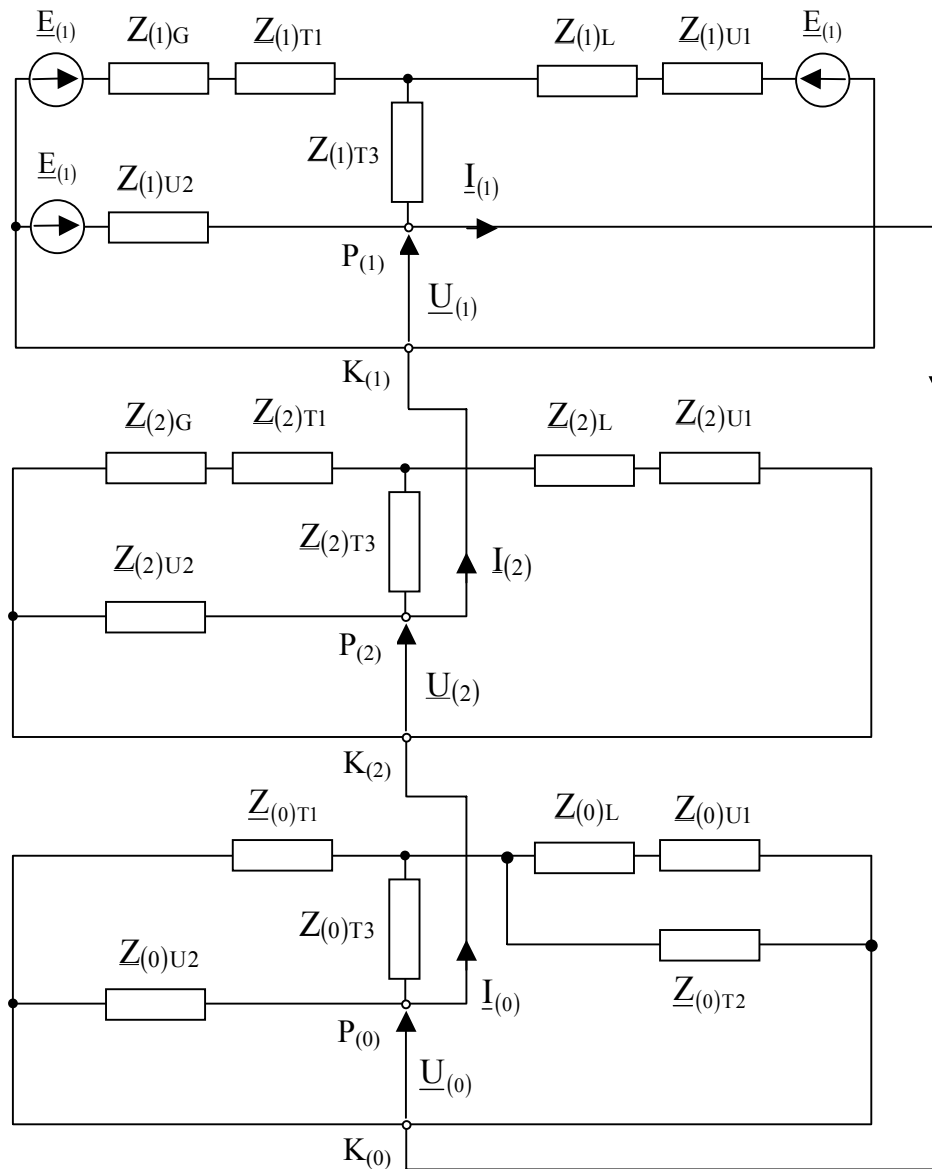
Dane znamionowe elementów sieci:

G:	$U_N=15 \text{ kV};$	$S_N=500 \text{ MVA};$	$X''_d\% = 15\%;$
T1:	$S_N=500 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{110 \text{ kV}}{15 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11 \%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
T2:	$S_N=50 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{110 \text{ kV}}{15 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11 \%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
L:	$X_{(1)L}=8.0 \ \Omega$	$X_{(0)L}=25.0 \ \Omega;$	
UE1:	$S_Z=2500 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U}}{X_{(1)U}} = 1.2 ;$	
T3:	$S_N=500 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{400 \text{ kV}}{110 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=15 \%;$
	YNyn0;	rdzeń pięciokolumnowy;	
UE2:	$S_Z=10000 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U}}{X_{(1)U}} = 1.5 ;$	

Dla zwarcia jednofazowego na szynach D należy obliczyć napięcie na szynach B.

**Rozwiązanie**

1. Schemat zastępczy dla składowych symetrycznych



Rys. Z.2 Schemat zastępczy sieci dla składowych symetrycznych.

2. Przyjmujemy moc podstawową  $S_{pod} = 500$  MVA.
3. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zgodnej

$$X_{(1)G} = \frac{X''_{d\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NG}} = \frac{15}{100} \frac{500}{500} = 0.15$$

$$X_{(1)T1} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NT1}} = \frac{11}{100} \frac{500}{500} = 0.11$$

$$X_{(1)T2} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NT2}} = \frac{11}{100} \frac{500}{50} = 1.1$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$X_{(1)T3} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{NT2}} = \frac{15}{100} \frac{500}{500} = 0.15$$

$$X_{(1)L} = X_{(1)L} \cdot \frac{S_{\text{pod}}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 8 \cdot \frac{500}{(1.05 \cdot 110)^2} = 0.30$$

$$X_{(1)U1} = \frac{S_{\text{pod}}}{S_Z} = \frac{500}{2500} = 0.20$$

$$X_{(1)U2} = \frac{S_{\text{pod}}}{S_Z} = \frac{500}{10000} = 0.05$$

4. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zerowej

$$X_{(0)T1} = 0.9 X_{(1)T1} = 0.9 \cdot 0.11 = 0.099$$

$$X_{(0)T2} = 0.9 X_{(1)T2} = 0.9 \cdot 1.1 = 0.99$$

$$X_{(0)T3} = X_{(1)T3} = 0.15$$

$$X_{(0)L} = X_{(0)L} \cdot \frac{S_{\text{pod}}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 25 \cdot \frac{500}{(1.05 \cdot 110)^2} = 0.937$$

$$X_{(0)U1} = \left( \frac{X_{(0)U1}}{X_{(1)U1}} \right) X_{(1)U1} = 1.2 \cdot 0.2 = 0.24$$

$$X_{(0)U2} = \left( \frac{X_{(0)U2}}{X_{(1)U2}} \right) X_{(1)U2} = 1.5 \cdot 0.05 = 0.075$$

5. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zgodnej i przeciwnej

$$X_{(1)A1} = X_{(1)G} + X_{(1)T1} = 0.15 + 0.11 = 0.26$$

$$X_{(1)A2} = X_{(1)U1} + X_{(1)L} = 0.2 + 0.3 = 0.50$$

$$X_{(1)A} = \frac{X_{(1)A1} \cdot X_{(1)A2}}{X_{(1)A1} + X_{(1)A2}} = \frac{0.26 \cdot 0.5}{0.26 + 0.5} = 0.171$$

$$X_{(1)D} = X_{(1)A} + X_{(1)T3} = 0.171 + 0.15 = 0.321$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$X_{(1)} = \frac{X_{(1)D} \cdot X_{(1)U2}}{X_{(1)D} + X_{(1)U2}} = \frac{0.321 \cdot 0.05}{0.321 + 0.05} = 0.0433$$

$$X_{(2)} = X_{(1)} = 0.0433$$

6. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zerowej

$$X_{(0)C} = X_{(0)U1} + X_{(0)L} = 0.24 + 0.937 = 1.18$$

$$X_{(0)A1} = \frac{X_{(0)C} \cdot X_{(0)T2}}{X_{(0)C} + X_{(0)T2}} = \frac{1.18 \cdot 0.99}{1.18 + 0.99} = 0.538$$

$$X_{(0)A} = \frac{X_{(0)A1} \cdot X_{(0)T1}}{X_{(0)A1} + X_{(0)T1}} = \frac{0.538 \cdot 0.099}{0.538 + 0.099} = 0.0836$$

$$X_{(0)D} = X_{(0)A} + X_{(0)T3} = 0.0836 + 0.15 = 0.234$$

$$X_{(0)} = \frac{X_{(0)D} \cdot X_{(0)U2}}{X_{(0)D} + X_{(0)U2}} = \frac{0.234 \cdot 0.075}{0.234 + 0.075} = 0.0568$$

czyli

$$\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} = \frac{0.0568}{0.0433} = 1.31$$

7. Obliczenie prądów w miejsc zwarcia

$$I_{(1)} = I_{(2)} = I_{(0)} = \frac{E_{(1)}}{j(X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)})} = \frac{1.05}{j(0.0433 + 0.0433 + 0.0568)} = -j7.32$$

7. Obliczenie napięć w miejsc zwarcia jedynie dla składowej zgodnej i przeciwnej albowiem napięcie na szynach B zawiera tylko te dwie składowe

$$\underline{U}_{(1)} = \underline{E}_{(1)} - \underline{Z}_{(1)} I_{(1)} = 1.05 - j0.0433 \cdot (-j7.32) = 1.05 - 0.317 = 0.733$$

$$\underline{U}_{(2)} = -\underline{Z}_{(2)} I_{(2)} = -j0.0433 \cdot (-j7.32) = -0.317$$

8. Obliczenie prądów dla składowej zgodnej i przeciwnej płynących w transformatorze T3

$$I_{(1)T3} = I_{(1)} \frac{X_{(1)}}{X_{(1)D}} = I_{(1)} \frac{X_{(1)U2}}{X_{(1)D} + X_{(1)U2}} = -j7.32 \frac{j0.0433}{j0.321} = -j0.987$$

$$I_{(2)T3} = I_{(1)T3} = -j0.987$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

9. Obliczenie napięć dla składowej zgodnej i przeciwnej na szynach A

$$\underline{U}_{(1)A} = \underline{U}_{(1)} + jX_{(1)T3} \cdot I_{(1)T3} = 0.733 + j0.15 \cdot (-j0.987) = 0.881$$

$$\underline{U}_{(2)A} = \underline{U}_{(2)} + jX_{(2)T3} \cdot I_{(2)T3} = -0.317 + j0.15 \cdot (-j0.987) = -0.169$$

10. Obliczenie napięć na szynach B

$$\underline{U}_{(1)B} = \underline{U}_{(1)A} \cdot e^{-j330^\circ} = 0.881 \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$\underline{U}_{(2)B} = \underline{U}_{(2)A} \cdot e^{j330^\circ} = -0.169 \cdot e^{j330^\circ}$$

$$\underline{U}_{(0)B} = 0$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{RB} &= \underline{U}_{(0)B} + \underline{U}_{(1)B} + \underline{U}_{(2)B} = \\ &= 0.881 \cdot [\cos(-330) + j\sin(-330)] - 0.169 \cdot [\cos(330) + j\sin(330)] = \\ &= 0.617 + j0.525 = 0.810 \cdot e^{j40.4^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{SB} &= \underline{U}_{(0)B} + a^2 \cdot \underline{U}_{(1)B} + a \cdot \underline{U}_{(2)B} = \\ &= 0.881 \cdot e^{-j330} \cdot e^{j240} - 0.169 \cdot e^{j330} \cdot e^{j120} = 0.881 \cdot e^{-j90} - 0.169 \cdot e^{j90} = -j1.05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{U}_{TB} &= \underline{U}_{(0)B} + a \cdot \underline{U}_{(1)B} + a^2 \cdot \underline{U}_{(2)B} = \\ &= 0.881 \cdot e^{-j330} \cdot e^{j120} - 0.169 \cdot e^{j330} \cdot e^{j240} = 0.881 \cdot e^{-j210} - 0.169 \cdot e^{j210} = \\ &= 0.881 \cdot [\cos(-210) + j\sin(-210)] - 0.169 \cdot [\cos(210) + j\sin(210)] = \\ &= -0.617 + j0.525 = 0.810 \cdot e^{j130.4^\circ} \end{aligned}$$

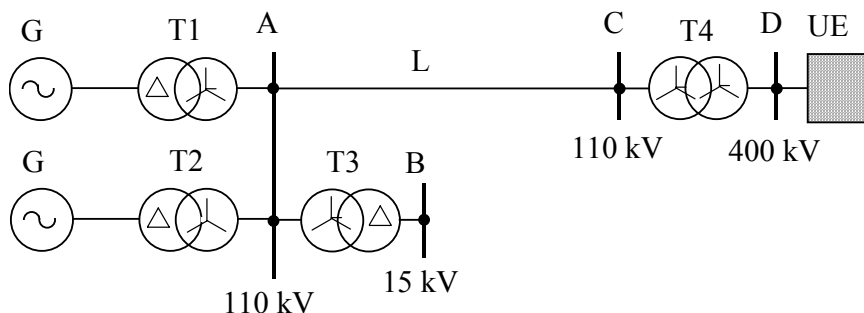
$$U_{\text{podf}} = \frac{1.05 \cdot U_N}{\sqrt{3}} = \frac{1.05 \cdot 15}{\sqrt{3}} = 9.09 \text{ kV}$$

$$U_{RB} = U_{TB} = 0.810 \cdot 9.09 = 7.36 \text{ kV}$$

$$U_{SB} = 1.05 \cdot 9.09 = 9.54 \text{ kV}$$

**Zadanie 2**

Dany jest układ elektroenergetyczny jak na poniższym rysunku.



Rys. Z.3 Schemat sieci.

Dane znamionowe elementów sieci:

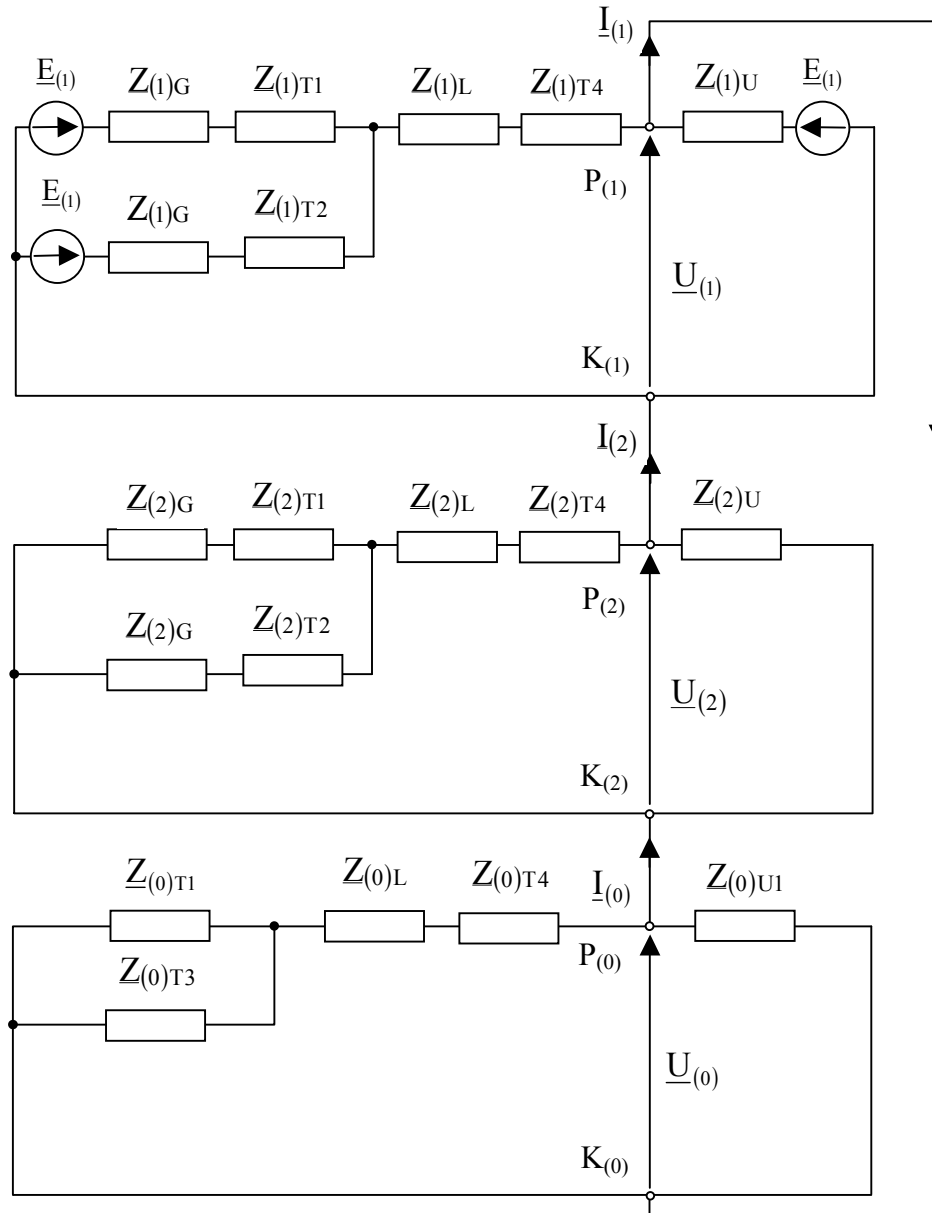
G:	$U_N=15 \text{ kV};$	$S_N=250 \text{ MVA};$	$X''_{d0} = 14\%;$
T1:	$S_N=250 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{110 \text{ kV}}{15 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11\%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
T2:	$S_N=250 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{110 \text{ kV}}{15 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11\%;$
	Yd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
T3:	$S_N=50 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{110 \text{ kV}}{15 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11\%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
L:	$X_{(1)L}=10.0 \Omega$	$X_{(0)L}=30.0 \Omega;$	
UE:	$S_z=10000 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U}}{X_{(1)U}} = 1.2;$	
T4:	$S_N=500 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{400 \text{ kV}}{110 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=15\%;$
	YNyn0;	rdzeń pięciokolumnowy;	

Dla zwarcia jednofazowego na szynach D należy obliczyć prądy w generatorach.

**Rozwiązanie**

1. Schemat zastępczy dla składowych symetrycznych





Rys. Z.4 Schemat zastępczy sieci dla składowych symetrycznych

2. Przyjmujemy moc podstawową  $S_{pod} = 250$  MVA.
3. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zgodnej

$$X_{(1)G} = \frac{X''_d\%}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NG}} = \frac{14}{100} \frac{250}{250} = 0.14$$

$$X_{(1)T1} = X_{(1)T2} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NT1}} = \frac{11}{100} \frac{250}{250} = 0.11$$

$$X_{(1)T3} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NT2}} = \frac{11}{100} \frac{250}{25} = 1.1$$

$$X_{(1)T4} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{NT2}} = \frac{15}{100} \frac{250}{500} = 0.075$$

$$X_{(1)L} = X_{(1)L} \cdot \frac{S_{\text{pod}}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 10 \cdot \frac{250}{(1.05 \cdot 110)^2} = 0.187$$

$$X_{(1)U} = \frac{S_{\text{pod}}}{S_Z} = \frac{250}{10000} = 0.025$$

4. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zerowej

$$X_{(0)T1} = 0.9 X_{(1)T1} = 0.9 \cdot 0.11 = 0.099$$

$$X_{(0)T3} = 0.9 X_{(1)T3} = 0.9 \cdot 1.1 = 0.99$$

$$X_{(0)T4} = X_{(1)T4} = 0.075$$

$$X_{(0)L} = X_{(0)L} \cdot \frac{S_{\text{pod}}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 30 \cdot \frac{250}{(1.05 \cdot 110)^2} = 0.562$$

$$X_{(0)U} = \left( \frac{X_{(0)U}}{X_{(1)U}} \right) X_{(1)U} = 1.2 \cdot 0.025 = 0.03$$

5. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zgodnej i przeciwnej

$$X_{(1)A} = \frac{1}{2} (X_{(1)G} + X_{(1)T1}) = \frac{1}{2} (0.14 + 0.11) = 0.125$$

$$X_{(1)D} = X_{(1)A} + X_{(1)L} + X_{(1)T4} = 0.125 + 0.187 + 0.075 = 0.387$$

$$X_{(1)} = \frac{X_{(1)D} \cdot X_{(1)U}}{X_{(1)D} + X_{(1)U}} = \frac{0.387 \cdot 0.025}{0.387 + 0.025} = 0.0235$$

$$X_{(2)} = X_{(1)} = 0.0235$$

6. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zerowej

$$X_{(0)A} = \frac{X_{(0)T1} \cdot X_{(0)T3}}{X_{(0)T1} + X_{(0)T3}} = \frac{0.099 \cdot 0.99}{0.099 + 0.99} = 0.09$$

$$X_{(0)D} = X_{(0)A} + X_{(0)L} + X_{(0)T4} = 0.09 + 0.562 + 0.075 = 0.727$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$X_{(0)} = \frac{X_{(0)D} \cdot X_{(0)U}}{X_{(0)D} + X_{(0)U}} = \frac{0.727 \cdot 0.03}{0.727 + 0.03} = 0.0288$$

czyli

$$\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} = \frac{0.0288}{0.0235} = 1.23$$

7. Obliczenie prądów w miejsc zwarcia

$$I_{(1)} = I_{(2)} = I_{(0)} = \frac{E_{(1)}}{j(X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)})} = \frac{1.05}{j(0.0235 + 0.0235 + 0.0288)} = -j13.9$$

8. Obliczenie prądów dla składowej zgodnej i przeciwnej płynących w transformatorze T4 albowiem prąd w generatorach zawiera tylko te dwie składowe

$$I_{(1)T4} = I_{(1)} \frac{X_{(1)}}{X_{(1)D}} = I_{(1)} \frac{X_{(1)U}}{X_{(1)D} + X_{(1)U}} = -j13.9 \frac{j0.0235}{j0.384} = -j0.851$$

$$I_{(2)T4} = I_{(1)T4} = -j0.851$$

9. Obliczenie prądów płynących w generatorach

$$I_{(1)G} = \frac{1}{2} I_{(1)T4} \cdot e^{-j330^\circ} = -j0.426 \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$I_{(2)G} = \frac{1}{2} I_{(2)T4} \cdot e^{j330^\circ} = -j0.426 \cdot e^{j330^\circ}$$

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

$$\begin{aligned} I_{RG} &= I_{(0)G} + I_{(1)G} + I_{(2)G} = \\ &= -j0.426 \cdot [\cos(-330) + j\sin(-330)] - j0.426 \cdot [\cos(330) + j\sin(330)] = -j0.738 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{SG} &= I_{(0)G} + a^2 \cdot I_{(1)G} + a \cdot I_{(2)G} = \\ &= -j0.426 \cdot e^{-j330} \cdot e^{j240} - j0.426 \cdot e^{j330} \cdot e^{j120} = -j0.426 \cdot e^{-j90} - j0.426 \cdot e^{j90} = 0.0 \end{aligned}$$

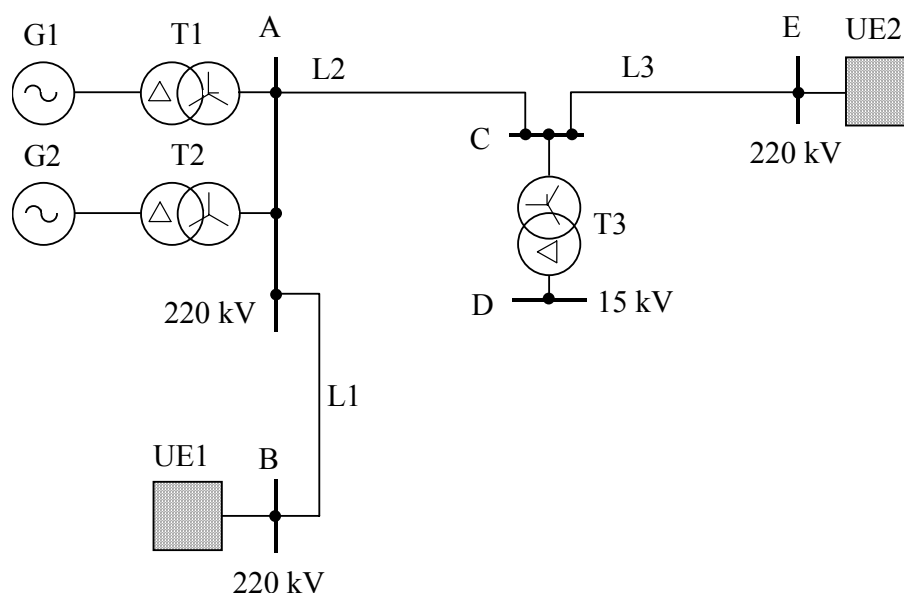
$$\begin{aligned} I_{TG} &= I_{(0)G} + a \cdot I_{(1)G} + a^2 \cdot I_{(2)G} = \\ &= -j0.426 \cdot [e^{-j330} \cdot e^{j120} + e^{j330} \cdot e^{j240}] = -j0.426 \cdot [e^{-j210} + e^{j210}] = \\ &= -j0.426 \cdot [\cos(-210) + j\sin(-210) + \cos(210) + j\sin(210)] = j0.738 \end{aligned}$$

$$I_{pod} = \frac{S_{pod}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 15} = 9.16 \text{ kA}$$

$$I_{RG} = I_{TG} = 0.738 \cdot 9.16 = 6.76 \text{ kA}$$

**Zadanie 3**

Dany jest układ elektroenergetyczny jak na poniższym rysunku.



Rys. Z.5 Schemat sieci.

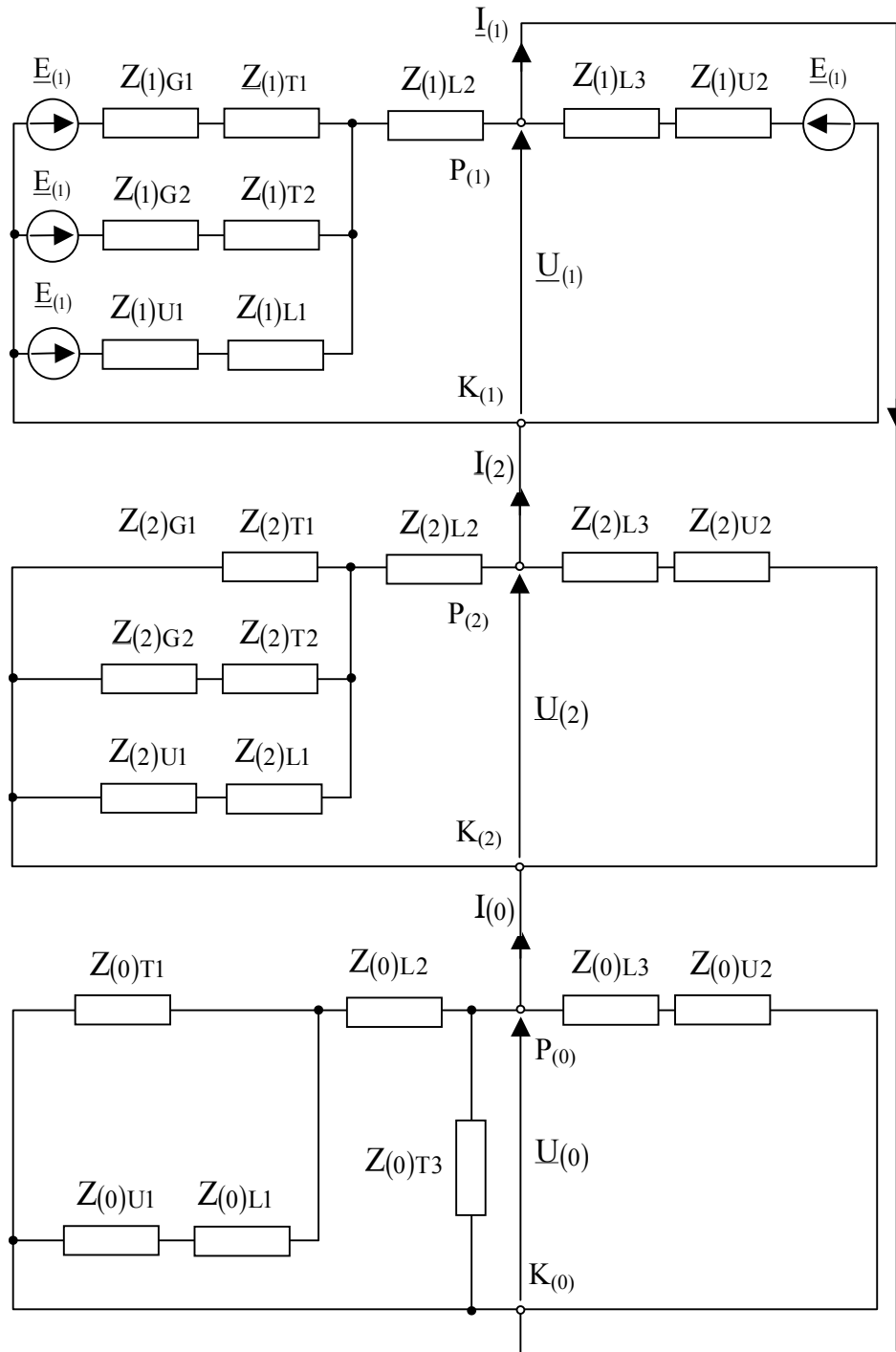
Dane znamionowe elementów sieci:

G1, G2:	$U_N=22 \text{ kV};$	$S_N=426 \text{ MVA};$	$X''_d\% = 24\%;$
T1:	$S_N=426 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{220 \text{ kV}}{22 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=15\%;$
	YNd1;	rdzeń trójkolumnowy;	
T2:	$S_N=426 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{220 \text{ kV}}{22 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=15\%;$
	Yd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
T3:	$S_N=25 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{220 \text{ kV}}{15 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11\%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
L1:	$X_{(1)L}=40.0 \Omega$	$X_{(0)L}=100.0 \Omega;$	
L2:	$X_{(1)L}=20.0 \Omega$	$X_{(0)L}=60.0 \Omega;$	
L3:	$X_{(1)L}=60.0 \Omega$	$X_{(0)L}=160.0 \Omega;$	
UE1:	$S_Z=8000 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U1}}{X_{(1)U1}} = 1.5;$	
UE2:	$S_Z=6000 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U2}}{X_{(1)U2}} = 1.2;$	

Dla zwarcia jednofazowego na szynach C należy obliczyć prądy w generatorach G1 i G2.

**Rozwiązanie**

1. Schemat zastępczy dla składowych symetrycznych



Rys. Z.6 Schemat zastępczy sieci dla składowych symetrycznych

2. Przyjmujemy moc podstawową  $S_{pod} = 426$  MVA.
3. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zgodnej

$$X_{(1)G1} = X_{(1)G2} = \frac{X_{d\%}''}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NG}} = \frac{24}{100} \frac{426}{426} = 0.24$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$X_{(1)T1} = X_{(1)T2} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NT1}} = \frac{15}{100} \frac{426}{426} = 0.15$$

$$X_{(1)T3} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{pod}}{S_{NT2}} = \frac{11}{100} \frac{426}{25} = 1.87$$

$$X_{(1)L1} = X_{(1)L1} \cdot \frac{S_{pod}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 40 \cdot \frac{426}{(1.05 \cdot 220)^2} = 0.319$$

$$X_{(1)L2} = X_{(1)L2} \cdot \frac{S_{pod}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 20 \cdot \frac{426}{(1.05 \cdot 220)^2} = 0.160$$

$$X_{(1)L3} = X_{(1)L3} \cdot \frac{S_{pod}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 60 \cdot \frac{426}{(1.05 \cdot 220)^2} = 0.479$$

$$X_{(1)U1} = \frac{S_{pod}}{S_Z} = \frac{426}{8000} = 0.0533$$

$$X_{(1)U2} = \frac{S_{pod}}{S_Z} = \frac{426}{6000} = 0.0710$$

4. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zerowej

$$X_{(0)T1} = 0.9 X_{(1)T1} = 0.9 \cdot 0.15 = 0.135$$

$$X_{(0)T3} = 0.9 X_{(1)T3} = 0.9 \cdot 1.87 = 1.68$$

$$X_{(0)L1} = X_{(0)L1} \cdot \frac{S_{pod}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 100 \cdot \frac{426}{(1.05 \cdot 220)^2} = 0.798$$

$$X_{(0)L2} = X_{(0)L2} \cdot \frac{S_{pod}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 60 \cdot \frac{426}{(1.05 \cdot 220)^2} = 0.479$$

$$X_{(0)L3} = X_{(0)L3} \cdot \frac{S_{pod}}{(1.05 \cdot U_{NL})^2} = 160 \cdot \frac{426}{(1.05 \cdot 220)^2} = 1.28$$

$$X_{(0)U1} = \left( \frac{X_{(0)U1}}{X_{(1)U1}} \right) X_{(1)U1} = 1.5 \cdot 0.0533 = 0.0799$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$X_{(0)U2} = \left( \frac{X_{(0)U2}}{X_{(1)U2}} \right) X_{(1)U2} = 1.2 \cdot 0.071 = 0.0852$$

5. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zgodnej i przeciwnej

$$X_{(1)A1} = \frac{1}{2} (X_{(1)G1} + X_{(1)T1}) = \frac{1}{2} (0.24 + 0.15) = 0.195$$

$$X_{(1)A} = \frac{X_{(1)A1} \cdot (X_{(1)L1} + X_{(1)U1})}{X_{(1)A1} + X_{(1)L1} + X_{(1)U1}} = \frac{0.195 \cdot (0.319 + 0.0533)}{0.195 + 0.319 + 0.0533} = 0.128$$

$$X_{(1)CA} = X_{(1)A} + X_{(1)L2} = 0.128 + 0.16 = 0.288$$

$$X_{(1)CE} = X_{(1)U2} + X_{(1)L3} = 0.071 + 0.479 = 0.55$$

$$X_{(1)} = \frac{X_{(1)CA} \cdot X_{(1)CE}}{X_{(1)CA} + X_{(1)CE}} = \frac{0.288 \cdot 0.55}{0.288 + 0.55} = 0.189$$

$$X_{(2)} = X_{(1)} = 0.189$$

6. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zerowej

$$X_{(0)A} = \frac{X_{(0)T1} \cdot (X_{(0)L1} + X_{(0)U1})}{X_{(0)T1} + X_{(0)L1} + X_{(0)U1}} = \frac{0.135 \cdot (0.798 + 0.0799)}{0.135 + 0.798 + 0.0799} = 0.117$$

$$X_{(0)CA} = X_{(0)A} + X_{(0)L2} = 0.117 + 0.479 = 0.596$$

$$X_{(0)CE} = X_{(0)U2} + X_{(0)L3} = 0.0852 + 1.28 = 1.37$$

$$X_{(0)CED} = \frac{X_{(0)CE} \cdot X_{(0)T3}}{X_{(0)CE} + X_{(0)T3}} = \frac{1.37 \cdot 1.68}{1.37 + 1.68} = 0.755$$

$$X_{(0)} = \frac{X_{(0)CED} \cdot X_{(0)CA}}{X_{(0)CED} + X_{(0)CA}} = \frac{0.755 \cdot 0.596}{0.755 + 0.596} = 0.333$$

czyli

$$\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} = \frac{0.333}{0.189} = 1.76$$

Stosunek  $\frac{X_{(0)}}{X_{(1)}}$  = 1.76 na szynach C jest zbyt duży. W tej sytuacji należałoby w stacji C zainstalować dwa transformatory.

7. Obliczenie prądów w miejsc zwarcia

$$I_{(1)} = I_{(2)} = I_{(0)} = \frac{E_{(1)}}{j(X_{(1)} + X_{(2)} + X_{(0)})} = \frac{1.05}{j(0.189 + 0.189 + 0.333)} = -j1.48$$

8. Obliczenie prądów dla składowej zgodnej i przeciwnej płynących w linii L2 albowiem prąd w generatorach zawiera tylko te dwie składowe

$$I_{(1)L2} = I_{(1)} \frac{X_{(1)}}{X_{(1)CA}} = -j1.48 \frac{j0.189}{j0.288} = -j0.971$$

$$I_{(2)L2} = I_{(1)L2} = -j0.971$$

9. Obliczenie prądów dla składowej zgodnej i przeciwnej płynących w generatorach G1 i G2

$$I_{(1)G12} = I_{(1)L2} \frac{X_{(1)A}}{X_{(1)A1}} = -j0.971 \frac{j0.128}{j0.195} = -j0.637$$

$$I_{(2)G12} = I_{(1)G12} = -j0.637$$

10. Obliczenie prądów płynących w generatorze G1

$$I_{(1)G1} = \frac{1}{2} I_{(1)G12} \cdot e^{j30^\circ} = -j0.319 \cdot e^{j30^\circ}$$

$$I_{(2)G1} = \frac{1}{2} I_{(2)G12} \cdot e^{-j30^\circ} = -j0.319 \cdot e^{-j30^\circ}$$

$$I_{(0)G1} = 0$$

$$\begin{aligned} I_{RG1} &= I_{(0)G1} + I_{(1)G1} + I_{(2)G1} = \\ &= -j0.319 \cdot [\cos(30) + j\sin(30)] - j0.319 \cdot [\cos(-30) + j\sin(-30)] = -j0.553 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{SG1} &= I_{(0)G1} + a^2 \cdot I_{(1)G1} + a \cdot I_{(2)G1} = \\ &= -j0.319 \cdot e^{j30} \cdot e^{j240} - j0.319 \cdot e^{-j30} \cdot e^{j120} = -j0.319 \cdot e^{-j90} - j0.319 \cdot e^{j90} = 0.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{TG1} &= I_{(0)G1} + a \cdot I_{(1)G1} + a^2 \cdot I_{(2)G1} = \\ &= -j0.319 \cdot [e^{j30} \cdot e^{j120} + e^{-j30} \cdot e^{j240}] = -j0.319 \cdot [e^{j150} + e^{j210}] = \\ &= -j0.319 \cdot [\cos(150) + j\sin(150) + \cos(210) + j\sin(210)] = j0.553 \end{aligned}$$

$$I_{pod} = \frac{S_{pod}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{426}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 22} = 10.6 \text{ kA}$$



## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$I_{RG1} = I_{TG1} = 0.553 \cdot 10.6 = 5.86 \text{ kA}$$

11. Obliczenie prądów płynących w generatorze G2

$$I_{(1)G2} = \frac{1}{2} I_{(1)G12} \cdot e^{-j330^\circ} = -j0.319 \cdot e^{-j330^\circ}$$

$$I_{(2)G2} = \frac{1}{2} I_{(2)G12} \cdot e^{j330^\circ} = -j0.319 \cdot e^{j330^\circ}$$

$$I_{(0)G2} = 0$$

$$\begin{aligned} I_{RG1} &= I_{(0)G1} + I_{(1)G1} + I_{(2)G1} = \\ &= -j0.319 \cdot [\cos(-330) + j\sin(-330)] - j0.319 \cdot [\cos(330) + j\sin(330)] = -j0.553 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{SG1} &= I_{(0)G1} + a^2 \cdot I_{(1)G1} + a \cdot I_{(2)G1} = \\ &= -j0.319 \cdot e^{-j330} \cdot e^{j240} - j0.319 \cdot e^{j330} \cdot e^{j120} = -j0.319 \cdot e^{-j90} - j0.319 \cdot e^{j90} = 0.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{TG1} &= I_{(0)G1} + a \cdot I_{(1)G1} + a^2 \cdot I_{(2)G1} = \\ &= -j0.319 \cdot [e^{-j330} \cdot e^{j120} + e^{j330} \cdot e^{j240}] = -j0.319 \cdot [e^{-j210} + e^{j210}] = \\ &= -j0.319 \cdot [\cos(-210) + j\sin(-210) + \cos(210) + j\sin(210)] = j0.553 \end{aligned}$$

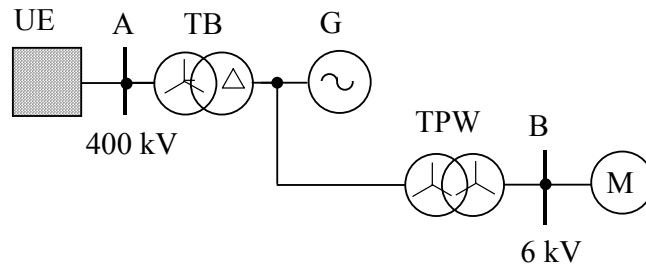
$$I_{pod} = \frac{S_{pod}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{426}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 22} = 10.6 \text{ kA}$$

$$I_{RG1} = I_{TG1} = 0.553 \cdot 10.6 = 5.86 \text{ kA}$$

### Zadanie 4

Dany jest układ elektroenergetyczny jak na poniższym rysunku.

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych



Rys. Z.7 Schemat sieci

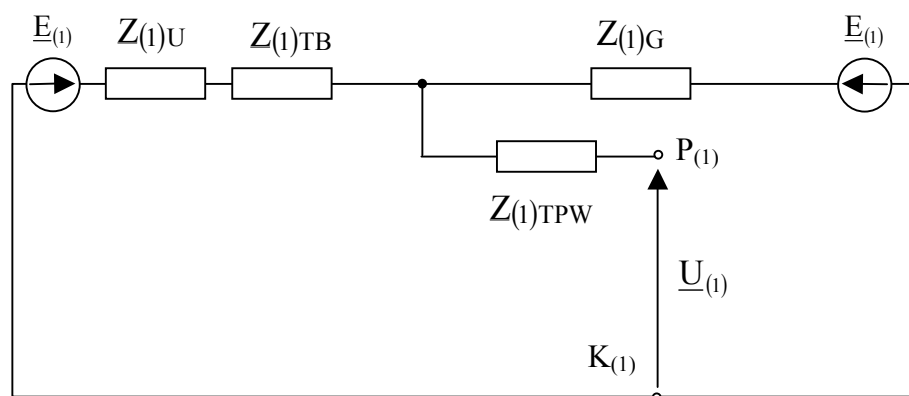
Dane znamionowe elementów sieci:

G:	$U_N=22 \text{ kV};$	$S_N=426 \text{ MVA};$	$X_d'' = 18\%;$
TB:	$S_N=426 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{400 \text{ kV}}{22 \text{ kV}};$	$\Delta U_z = 15\%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
TPW:	$S_N=40 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{22 \text{ kV}}{6 \text{ kV}};$	$\Delta U_z = 11\%;$
	Yy0;	rdzeń trójkolumnowy;	
UE:	$S_z=10000 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U}}{X_{(1)U}} = 1.5;$	$\sum S_{NG} = 20000 \text{ MVA};$
M:	$\sum P_{NM} = 30 \text{ MW};$	$U_N=6 \text{ kV};$	$k_f=5.2;$
	$\eta_N = 0.92;$	$\cos \varphi_N = 0.9;$	

Dla zwarcia trójfazowego na szynach B należy obliczyć prąd zastępczy cieplny dla  $t_z=0.5 \text{ s}$  stosując metodę indywidualnego zanikania.

### Rozwiązanie

1. Schemat zastępczy dla składowej symetrycznej zgodnej



Rys. Z.8 Schemat zastępczy sieci dla składowych symetrycznych

2. Przyjmujemy moc podstawową  $S_{pod} = 426 \text{ MVA}$ .
3. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zgodnej

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$X_{(1)G} = \frac{X_{d\%}''}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{\text{NG}}} = \frac{18}{100} \frac{426}{426} = 0.18$$

$$X_{(1)TB} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{\text{NT1}}} = \frac{15}{100} \frac{426}{426} = 0.15$$

$$X_{(1)TPW} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{\text{NT2}}} = \frac{11}{100} \frac{426}{40} = 1.17$$

$$X_{(1)U1} = \frac{S_{\text{pod}}}{S_Z} = \frac{426}{10000} = 0.0426$$

4. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zgodnej

$$X_{(1)A} = \frac{X_{(1)G} \cdot (X_{(1)TB} + X_{(1)U})}{X_{(1)G} + X_{(1)TB} + X_{(1)U}} = \frac{0.18 \cdot (0.15 + 0.0426)}{0.18 + 0.15 + 0.0426} = 0.0930$$

$$X_{(1)} = X_{(1)A} + X_{(1)TPW} = 0.0930 + 1.17 = 1.26$$

5. Obliczenie prądów w miejsc zwarcia

$$I_{(1)} = \frac{E_{(1)}}{jX_{(1)}} = \frac{1.05}{j1.26} = -j0.833$$

6. Obliczenie prądów w poszczególnych źródłach

$$I_{(1)G} = I_{(1)} \frac{X_{(1)A}}{X_{(1)G}} = -j0.833 \frac{j0.093}{j0.18} = -j0.431$$

$$I_{(1)U} = I_{(1)} \frac{X_{(1)A}}{X_{(1)TB} + X_{(1)U}} = -j0.833 \frac{j0.093}{j(0.15 + 0.0426)} = -j0.402$$

$$I_{\text{pod}} = \frac{S_{\text{pod}}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{426}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 6} = 39.0 \text{ kA}$$

$$I_{(1)G} = 0.431 \cdot 39.0 = 16.8 \text{ kA}$$

$$I_{(1)U} = 0.402 \cdot 39.0 = 15.7 \text{ kA}$$

7. Obliczenie prądów zastępczych cieplnych od poszczególnych źródłach

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$I_{NG} = \frac{S_{NG}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{426}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 6} = 39.0 \text{ kA}$$

$$I_{NU} = \frac{\sum S_{NG}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 6} = 3670 \text{ kA}$$

$$\frac{I_{(1)G}}{I_{NG}} = \frac{16.8}{39.0} = 0.431 \quad t_z=0.5 \text{ s} \quad \text{z wykresu odczytano} \quad k_c=1.05$$

$$\frac{I_{(1)U}}{I_{NU}} = \frac{15.7}{3570} = 0.00428 \quad t_z=0.5 \text{ s} \quad \text{z wykresu odczytano} \quad k_c=1.05$$

$$I_{tzG} = m \cdot k_c \cdot I_{(1)G} = 1 \cdot 1.05 \cdot 16.8 = 17.6 \text{ kA}$$

$$I_{tzU} = m \cdot k_c \cdot I_{(1)U} = 1 \cdot 1.05 \cdot 15.7 = 16.5 \text{ kA}$$

8. Obliczenie prądu zastępczego cieplnego płynącego od generatora i zastępczego systemu elektroenergetycznego

$$I_{tz} = I_{tzG} + I_{tzU} = 17.6 + 16.5 = 34.1 \text{ kA}$$

9. Obliczenie prądu zastępczego cieplnego płynącego od silnika asynchronicznego

$$I_{NM} = \frac{\sum P_{NM}}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \eta_N \cdot \cos \varphi_N} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0.92 \cdot 0.9} = 3.49 \text{ kA}$$

$$k_{cM} = \sqrt{\frac{3.0}{t_z}} = \sqrt{\frac{3.0}{0.5}} = 2.45$$

$$\Delta I_{tz} = k_{cM} \cdot I_{NM} = 2.45 \cdot 3.49 = 8.55 \text{ kA}$$

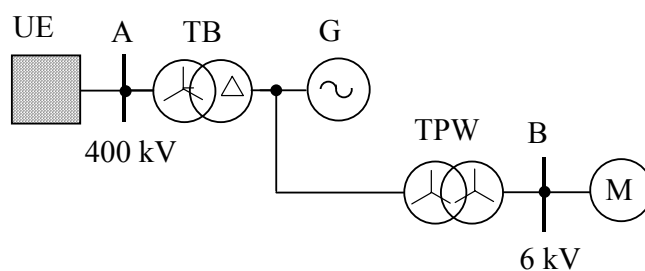
10. Obliczenie prądu zastępczego cieplnego płynącego od silnika asynchronicznego, generatora i zastępczego systemu elektroenergetycznego

$$I_{tzM} = I_{tz} + \Delta I_{tz} = 34.1 + 8.55 = 42.7 \text{ kA}$$

### Zadanie 5

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

Dany jest układ elektroenergetyczny jak na rysunku.



Rys. Z.9 Schemat sieci

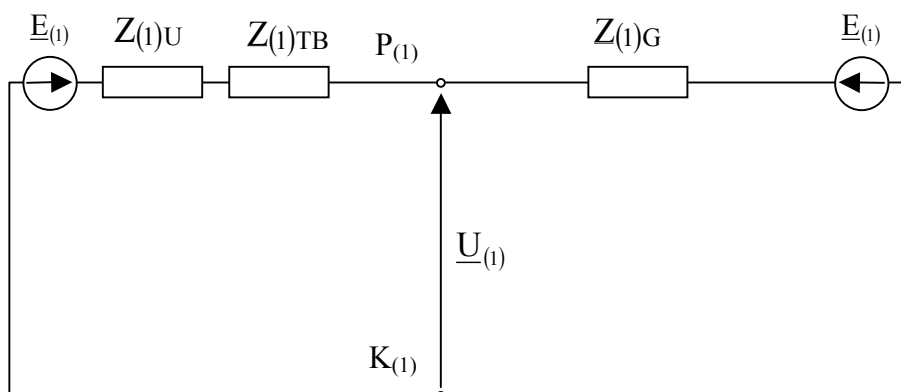
Dane znamionowe elementów sieci:

G:	$U_N=22 \text{ kV};$	$S_N=426 \text{ MVA};$	$X''_{d\%} = 18\%;$
TB:	$S_N=426 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{400 \text{ kV}}{22 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=15\%;$
	YNd11;	rdzeń trójkolumnowy;	
TPW:	$S_N=40 \text{ MVA};$	$\vartheta = \frac{22 \text{ kV}}{6 \text{ kV}};$	$\Delta U_{z\%}=11\%;$
	Yy0;	rdzeń trójkolumnowy;	
UE:	$S_Z=10000 \text{ MVA};$	$\frac{X_{(0)U}}{X_{(1)U}} = 1.5;$	$\sum S_{NG} = 20000 \text{ MVA};$
M:	$\sum P_{NM} = 30 \text{ MW};$	$U_N=6 \text{ kV};$	$k_r=5.2;$
	$\eta_N = 0.92;$	$\cos \varphi_N = 0.9;$	

Dla zwarcia trójfazowego na zaciskach generatora należy obliczyć prąd zastępczy cieplny dla  $t_z=0.5 \text{ s}$  stosując metodę indywidualnego zanikania.

### Rozwiązanie

1. Schemat zastępczy dla składowej symetrycznej zgodnej



Rys. Z.10 Schemat zastępczy sieci dla składowych symetrycznych

2. Przyjmujemy moc podstawową  $S_{pod}= 426 \text{ MVA}$ .

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

3. Obliczenie impedancji elementów dla składowej zgodnej

$$X_{(1)G} = \frac{X_{d\%}''}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{\text{NG}}} = \frac{18}{100} \frac{426}{426} = 0.18$$

$$X_{(1)TB} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{\text{NT1}}} = \frac{15}{100} \frac{426}{426} = 0.15$$

$$X_{(1)TPW} = \frac{\Delta U_{Z\%}}{100} \frac{S_{\text{pod}}}{S_{\text{NT2}}} = \frac{11}{100} \frac{426}{40} = 1.17$$

$$X_{(1)U1} = \frac{S_{\text{pod}}}{S_Z} = \frac{426}{10000} = 0.0426$$

4. Obliczenie impedancji zwarciowej dla składowej zgodnej

$$X_{(1)} = \frac{X_{(1)G} \cdot (X_{(1)TB} + X_{(1)U})}{X_{(1)G} + X_{(1)TB} + X_{(1)U}} = \frac{0.18 \cdot (0.15 + 0.0426)}{0.18 + 0.15 + 0.0426} = 0.0930$$

4. Obliczenie prądów w miejsc zwarcia

$$I_{(1)} = \frac{E_{(1)}}{jX_{(1)}} = \frac{1.05}{j0.093} = -j11.3$$

5. Obliczenie prądów w poszczególnych źródłach

$$I_{(1)G} = I_{(1)} \frac{X_{(1)}}{X_{(1)G}} = -j11.3 \frac{j0.093}{j0.18} = -j5.84$$

$$I_{(1)U} = I_{(1)} \frac{X_{(1)}}{X_{(1)TB} + X_{(1)U}} = -j11.3 \frac{j0.093}{j(0.15 + 0.0426)} = -j5.46$$

$$I_{\text{pod}} = \frac{S_{\text{pod}}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{426}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 22} = 10.6 \text{ kA}$$

$$I_{(1)G} = 5.84 \cdot 10.6 = 61.9 \text{ kA}$$

$$I_{(1)U} = 5.46 \cdot 10.6 = 57.9 \text{ kA}$$

6. Obliczenie prądów zastępczych ciepłych od poszczególnych źródłach

$$I_{\text{NG}} = \frac{S_{\text{NG}}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{426}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 22} = 10.6 \text{ kA}$$

## A. Kanicki: Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych

---

$$I_{NU} = \frac{\sum S_{NG}}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot U_N} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 1.05 \cdot 22} = 500 \text{ kA}$$

$$\frac{I_{(1)G}}{I_{NG}} = \frac{61.9}{10.6} = 5.84 \quad t_z=0.5 \text{ s} \quad \text{z wykresu odczytano} \quad k_c=0.9$$

$$\frac{I_{(1)U}}{I_{NU}} = \frac{57.9}{500} = 0.116 \quad t_z=0.5 \text{ s} \quad \text{z wykresu odczytano} \quad k_c=1.05$$

$$I_{tzG} = m \cdot k_{tz} \cdot I_{(1)G} = 1 \cdot 0.9 \cdot 61.9 = 55.7 \text{ kA}$$

$$I_{tzU} = m \cdot k_{tz} \cdot I_{(1)U} = 1 \cdot 1.05 \cdot 57.9 = 60.8 \text{ kA}$$

7. Obliczenie prądu zastępczego cieplnego płynącego od generatora i zastępczego systemu elektroenergetycznego

$$I_{tz} = I_{tzG} + I_{tzU} = 55.7 + 60.8 = 117 \text{ kA}$$

8. Sprawdzenie czy silnik asynchroniczny należy uwzględnić w obliczeniach prądu zastępczego cieplnego

$$S_Z = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_P = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot m \cdot (I_{(1)G} + I_{(1)U}) = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 1 \cdot (61.9 + 57.9) = 4560 \text{ MVA}$$

$$\sum P_{NM} = 30 \text{ MW} > \frac{S_{NTPW}}{120 \frac{S_{NTPW}}{S_Z} - 0.4} = \frac{40}{120 \frac{40}{4560} - 0.4} = 61.3 \text{ MVA}$$

Silnik asynchroniczny nie jest źródłem prądu zastępczego cieplnego