

В трёхфазной цепи произошло короткое замыкание фазы В

Методом симметричных составляющих определить фазные токи  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  и фазные напряжения  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  несимметричного участка и построить векторные диаграммы найденных фазных токов и напряжений и их симметричных составляющих.

$$j := \sqrt{-1}$$

$$a := e^{j \cdot 120 \text{deg}}$$

Исходные данные:

$$E_{\phi\Gamma} := 127 \text{ В}$$

$$Z_{Л1} := 5 + j \cdot 3 \text{ Ом}$$

$$Z_{Л2} := 3 + j \cdot 2 \text{ Ом}$$

$$Z_{Л0} := 1 + j \cdot 1 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Gamma1} := j \cdot 20 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Gamma2} := j \cdot 15 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Gamma0} := j \cdot 5 \text{ Ом}$$

$$Z_{Н1} := 25 + j \cdot 10 \text{ Ом}$$

$$Z_{Н2} := 30 + j \cdot 20 \text{ Ом}$$

$$Z_{Н0} := 10 + j \cdot 5 \text{ Ом}$$

$$Z_n := 5 \text{ Ом}$$

Составим схемы замещения и преобразуем их к простейшему виду:

Схема прямой последовательности:

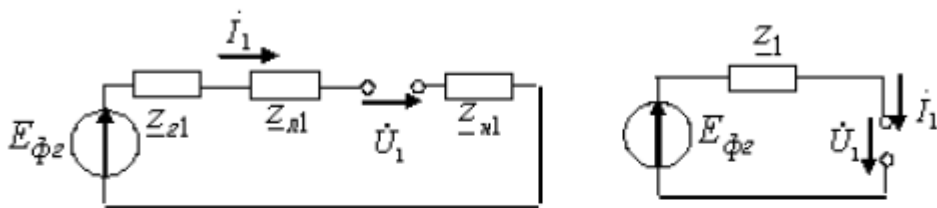


Схема обратной последовательности:

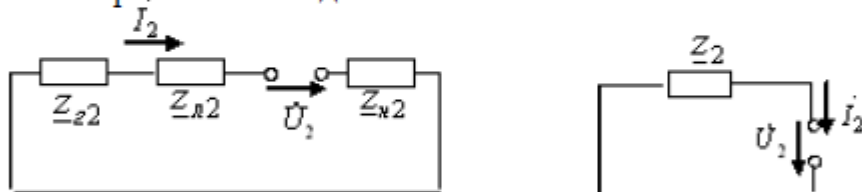
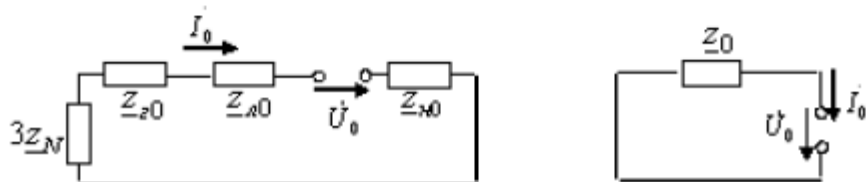


Схема нулевой последовательности:



Рассчитаем эквивалентную ЭДС в схеме прямой последовательности

$$E_{\Sigma 1} := \frac{E_{\phi 2} \cdot \frac{1}{Z_{\Gamma 1} + Z_{\text{Л1}}}}{\frac{1}{Z_{\Gamma 1} + Z_{\text{Л1}}} + \frac{1}{Z_{\text{Н1}}}}$$

$$E_{\Sigma 1} = 68.959 - 33.522i \text{ В}$$

Эквивалентные сопротивления ветвей:

$$Z_1 := \frac{(Z_{\Gamma 1} + Z_{\text{Л1}}) \cdot Z_{\text{Н1}}}{Z_{\Gamma 1} + Z_{\text{Л1}} + Z_{\text{Н1}}}$$

$$Z_1 = 8.786 + 11.169i \text{ Ом}$$

$$Z_2 := \frac{(Z_{\Gamma 2} + Z_{\text{Л2}}) \cdot Z_{\text{Н2}}}{Z_{\Gamma 2} + Z_{\text{Л2}} + Z_{\text{Н2}}}$$

$$Z_2 = 5.224 + 11.416i \text{ Ом}$$

$$Z_0 := \frac{(Z_{\Gamma 0} + Z_{\text{Л0}} + 3 \cdot Z_{\text{н}}) \cdot Z_{\text{Н0}}}{Z_{\Gamma 0} + Z_{\text{Л0}} + 3 \cdot Z_{\text{н}} + Z_{\text{Н0}}}$$

$$Z_0 = 6.173 + 2.773i \text{ Ом}$$

Составим систему уравнений ( $U_B=0$   $I_A=0$   $I_C=0$ )

given

$$Z_1 \cdot I_1 + U_1 = E_{\Sigma 1}$$

$$Z_2 \cdot I_2 + U_2 = 0$$

$$Z_0 \cdot I_0 + U_0 = 0$$

$$a^2 \cdot U_1 + a \cdot U_2 + U_0 = 0$$

$$I_1 + I_2 + I_0 = 0$$

$$a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 + I_0 = 0$$

$$f(I_0, I_1, I_2, U_0, U_1, U_2) := \text{find}(I_0, I_1, I_2, U_0, U_1, U_2)$$

$$f(1, 1, 1, 1, 1, 1) = \begin{pmatrix} -2.257 + 0.708i \\ 0.516 - 2.309i \\ 1.742 + 1.601i \\ 15.899 + 1.89i \\ 38.639 - 18.997i \\ 9.18 - 28.247i \end{pmatrix}$$

Симметричные составляющие токов в месте кз

$$I_0 := f(1, 1, 1, 1, 1, 1)_0 \quad I_1 := f(1, 1, 1, 1, 1, 1)_1 \quad I_2 := f(1, 1, 1, 1, 1, 1)_2$$

$$I_0 = -2.257 + 0.708i \quad \text{A}$$

$$|I_0| = 2.366 \quad \text{A}$$

$$\frac{\arg(I_0)}{\text{deg}} = 162.592$$

$$I_1 = 0.516 - 2.309i \quad \text{A}$$

$$|I_1| = 2.366 \quad \text{A}$$

$$\frac{\arg(I_1)}{\text{deg}} = -77.408$$

$$I_2 = 1.742 + 1.601i \quad \text{A}$$

$$|I_2| = 2.366 \quad \text{A}$$

$$\frac{\arg(I_2)}{\text{deg}} = 42.592$$

$$I_s := \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{pmatrix}$$

Симметричные составляющие напряжений в месте кз

$$U_0 := f(1, 1, 1, 1, 1, 1)_3 \quad U_1 := f(1, 1, 1, 1, 1, 1)_4 \quad U_2 := f(1, 1, 1, 1, 1, 1)_5$$

$$U_0 = 15.899 + 1.89i \quad |U_0| = 16.011 \text{ В} \quad \frac{\arg(U_0)}{\text{deg}} = 6.781$$

$$U_1 = 38.639 - 18.997i \quad |U_1| = 43.056 \text{ В} \quad \frac{\arg(U_1)}{\text{deg}} = -26.181$$

$$U_2 = 9.18 - 28.247i \quad |U_2| = 29.701 \text{ В} \quad \frac{\arg(U_2)}{\text{deg}} = -71.996$$

$$U_S := \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_0 \end{pmatrix}$$

$$F := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{pmatrix}$$

Токи в месте кз:

$$I_{K3} := F \cdot I_S$$

$$I_{K3} = \begin{pmatrix} 0 \\ -6.772 + 2.123i \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$I_A := I_{K3_0} \quad I_B := I_{K3_1} \quad I_C := I_{K3_2}$$

$$|I_A| = 0$$

$$|I_B| = 7.098 \text{ А} \quad \frac{\arg(I_B)}{\text{deg}} = 162.592$$

$$|I_C| = 0$$

Напряжения в месте кз:

$$U_{K3} := F \cdot U_S$$

$$U_{K3} = \begin{pmatrix} 63.718 - 45.353i \\ -5.706 \times 10^{-15} - 9.284i \times 10^{-15} \\ -16.022 + 51.025i \end{pmatrix}$$

$$U_A := U_{K3_0} \quad U_B := U_{K3_1} \quad U_C := U_{K3_2}$$

$$|U_A| = 78.21 \text{ В} \quad \frac{\arg(U_A)}{\text{deg}} = -35.443$$

$$|U_B| = 1.09 \times 10^{-14}$$

$$|U_C| = 53.481 \text{ В} \quad \frac{\arg(U_C)}{\text{deg}} = 107.433$$

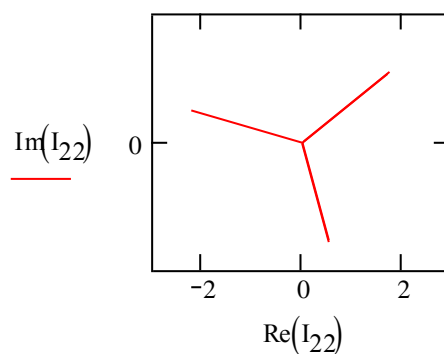
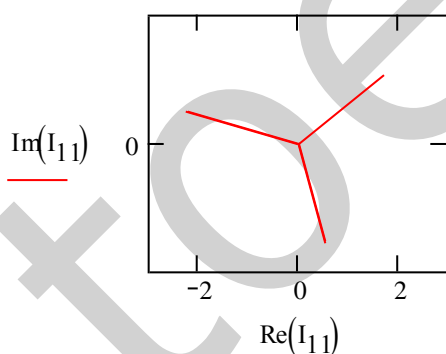
ВД симметричных составляющих токов:

прямая последовательность:

$$I_{11} := \begin{pmatrix} 0 \\ I_1 \\ 0 \\ a^2 \cdot I_1 \\ 0 \\ a \cdot I_1 \end{pmatrix}$$

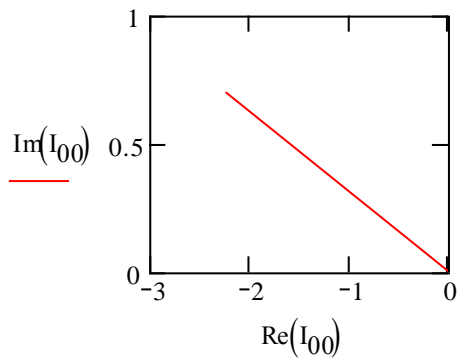
обратная последовательность:

$$I_{22} := \begin{pmatrix} 0 \\ I_2 \\ 0 \\ a^2 \cdot I_2 \\ 0 \\ a \cdot I_2 \end{pmatrix}$$



нулевая последовательность:

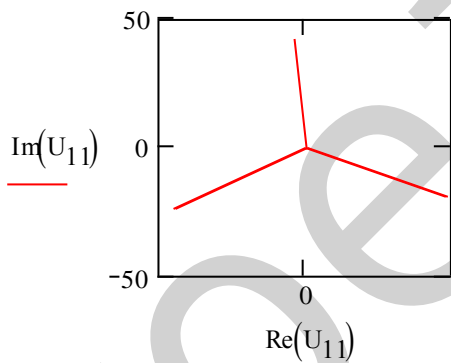
$$I_{00} := \begin{pmatrix} 0 \\ I_0 \end{pmatrix}$$



ВД симметричных составляющих напряжений

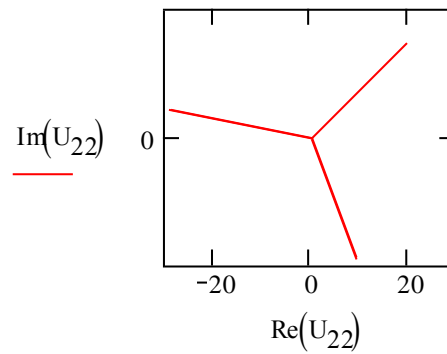
прямая последовательность:

$$U_{11} := \begin{pmatrix} 0 \\ U_1 \\ 0 \\ a^2 \cdot U_1 \\ 0 \\ a \cdot U_1 \end{pmatrix}$$



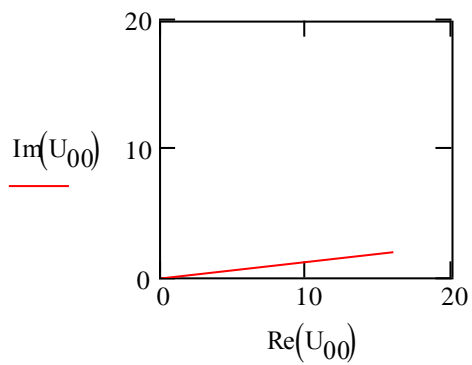
обратная последовательность:

$$U_{22} := \begin{pmatrix} 0 \\ U_2 \\ 0 \\ a^2 \cdot U_2 \\ 0 \\ a \cdot U_2 \end{pmatrix}$$



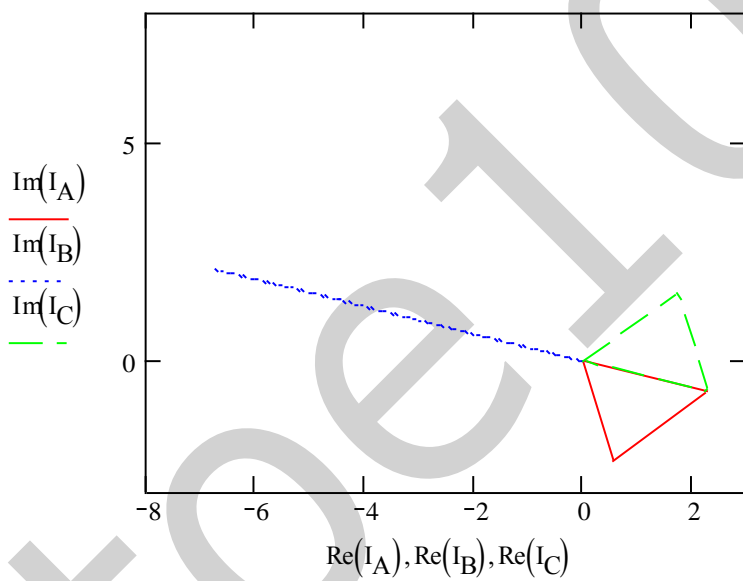
нулевая последовательность:

$$U_{00} := \begin{pmatrix} 0 \\ U_0 \end{pmatrix}$$



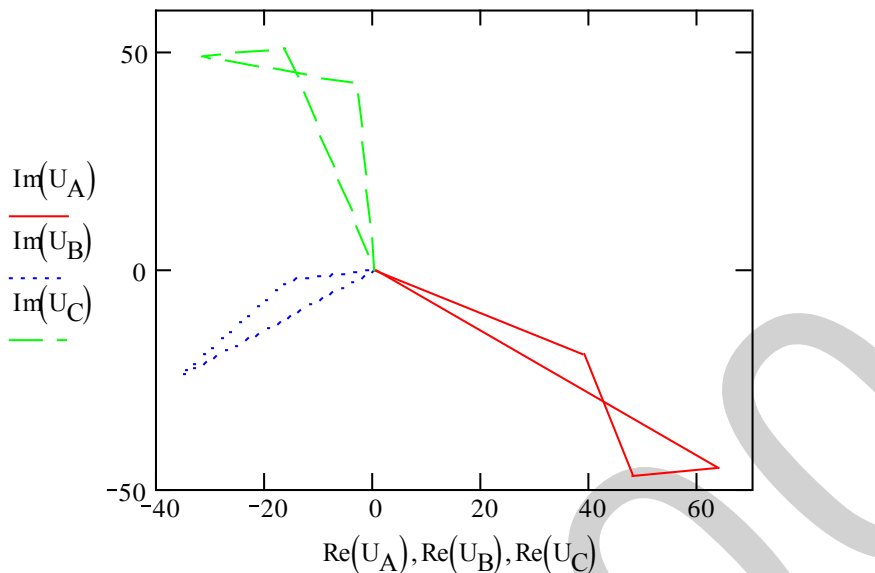
ВД токов в месте кз:

$$I_C := \begin{pmatrix} 0 \\ a \cdot I_1 \\ a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 \\ a \cdot I_1 + a^2 \cdot I_2 + I_0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad I_A := \begin{pmatrix} 0 \\ I_1 \\ I_1 + I_2 \\ I_1 + I_2 + I_0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad I_B := \begin{pmatrix} 0 \\ a^2 \cdot I_1 \\ a^2 \cdot I_1 + a \cdot I_2 \\ a^2 \cdot I_1 + a \cdot I_2 + I_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



ВД напряжений в месте кз:

$$U_C := \begin{pmatrix} 0 \\ a \cdot U_1 \\ a \cdot U_1 + a^2 \cdot U_2 \\ a \cdot U_1 + a^2 \cdot U_2 + U_0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad U_A := \begin{pmatrix} 0 \\ U_1 \\ U_1 + U_2 \\ U_1 + U_2 + U_0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad U_B := \begin{pmatrix} 0 \\ a^2 \cdot U_1 \\ a^2 \cdot U_1 + a \cdot U_2 \\ a^2 \cdot U_1 + a \cdot U_2 + U_0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



Симметричные составляющие токов в генераторе:

$$I_{\Gamma 1} := \frac{E_{\Phi \Gamma} - U_1}{Z_{\Gamma 1} + Z_{Л11}}$$

$$I_{\Gamma 1} = 1.586 - 3.497i \text{ A} \quad |I_{\Gamma 1}| = 3.84 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{\Gamma 1})}{\text{deg}} = -65.602$$

$$I_{\Gamma 2} := \frac{-U_2}{Z_{\Gamma 2} + Z_{Л12}}$$

$$I_{\Gamma 2} = 1.519 + 0.808i \text{ A} \quad |I_{\Gamma 2}| = 1.721 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{\Gamma 2})}{\text{deg}} = 28.012$$

$$I_{\Gamma 0} := \frac{-U_0}{Z_{\Gamma 0} + Z_{Л10} + 3 \cdot Z_n}$$

$$I_{\Gamma 0} = -0.91 + 0.223i \text{ A} \quad |I_{\Gamma 0}| = 0.937 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{\Gamma 0})}{\text{deg}} = 166.225$$

$$I_{S\Gamma} := \begin{pmatrix} I_{\Gamma 1} \\ I_{\Gamma 2} \\ I_{\Gamma 0} \end{pmatrix}$$

Фазные токи генератора:

$$I_{\Phi \Gamma} := F \cdot I_{S\Gamma}$$



$$I_{\Phi\Gamma} = \begin{pmatrix} 2.195 - 2.466i \\ -6.191 + 1.509i \\ 1.266 + 1.626i \end{pmatrix}$$

$$I_{A\Gamma} := I_{\Phi\Gamma_0} \quad I_{A\Gamma} = 2.195 - 2.466i \text{ A} \quad |I_{A\Gamma}| = 3.301 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{A\Gamma})}{\text{deg}} = -48.323$$

$$I_{B\Gamma} := I_{\Phi\Gamma_1} \quad I_{B\Gamma} = -6.191 + 1.509i \text{ A} \quad |I_{B\Gamma}| = 6.372 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{B\Gamma})}{\text{deg}} = 166.298$$

$$I_{C\Gamma} := I_{\Phi\Gamma_2} \quad I_{C\Gamma} = 1.266 + 1.626i \text{ A} \quad |I_{C\Gamma}| = 2.06 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{C\Gamma})}{\text{deg}} = 52.097$$

Симметричные составляющие токов в нагрузке

$$I_{H1} := \frac{U_1}{Z_{H1}} \quad I_{H1} = 1.07 - 1.188i \text{ A} \quad |I_{H1}| = 1.599 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{H1})}{\text{deg}} = -47.982$$

$$I_{H2} := \frac{U_2}{Z_{H2}} \quad I_{H2} = -0.223 - 0.793i \text{ A} \quad |I_{H2}| = 0.824 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{H2})}{\text{deg}} = -105.686$$

$$I_{H0} := \frac{U_0}{Z_{H0}} \quad I_{H0} = 1.348 - 0.485i \text{ A} \quad |I_{H0}| = 1.432 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{H0})}{\text{deg}} = -19.784$$

$$I_{\Gamma 1} - I_1 - I_{H1} = 1.11i \times 10^{-15} \text{ A} \quad I_{\Gamma 2} - I_2 - I_{H2} = 0 \text{ A} \quad I_{\Gamma 0} - I_0 - I_{H0} = 0 \text{ A}$$

Фазные токи нагрузки:

$$I_{SH} := \begin{pmatrix} I_{H1} \\ I_{H2} \\ I_{H0} \end{pmatrix}$$

$$I_{\Phi H} := F \cdot I_{SH}$$

$$I_{\Phi H} = \begin{pmatrix} 2.195 - 2.466i \\ 0.582 - 0.614i \\ 1.266 + 1.626i \end{pmatrix}$$

$$I_{AH} := I_{\Phi H_0} \quad |I_{AH}| = 3.301 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{AH})}{\text{deg}} = -48.323 \quad I_{AH} = 2.195 - 2.466i \text{ A}$$

$$I_{BH} := I_{\Phi H_1} \text{ A} \quad |I_{BH}| = 0.846 \quad \frac{\arg(I_{BH})}{\text{deg}} = -46.549 \quad I_{BH} = 0.582 - 0.614i$$

$$I_{CH} := I_{\Phi H_2} \quad |I_{CH}| = 2.06 \text{ A} \quad \frac{\arg(I_{CH})}{\text{deg}} = 52.097 \quad I_{CH} = 1.266 + 1.626i \text{ A}$$