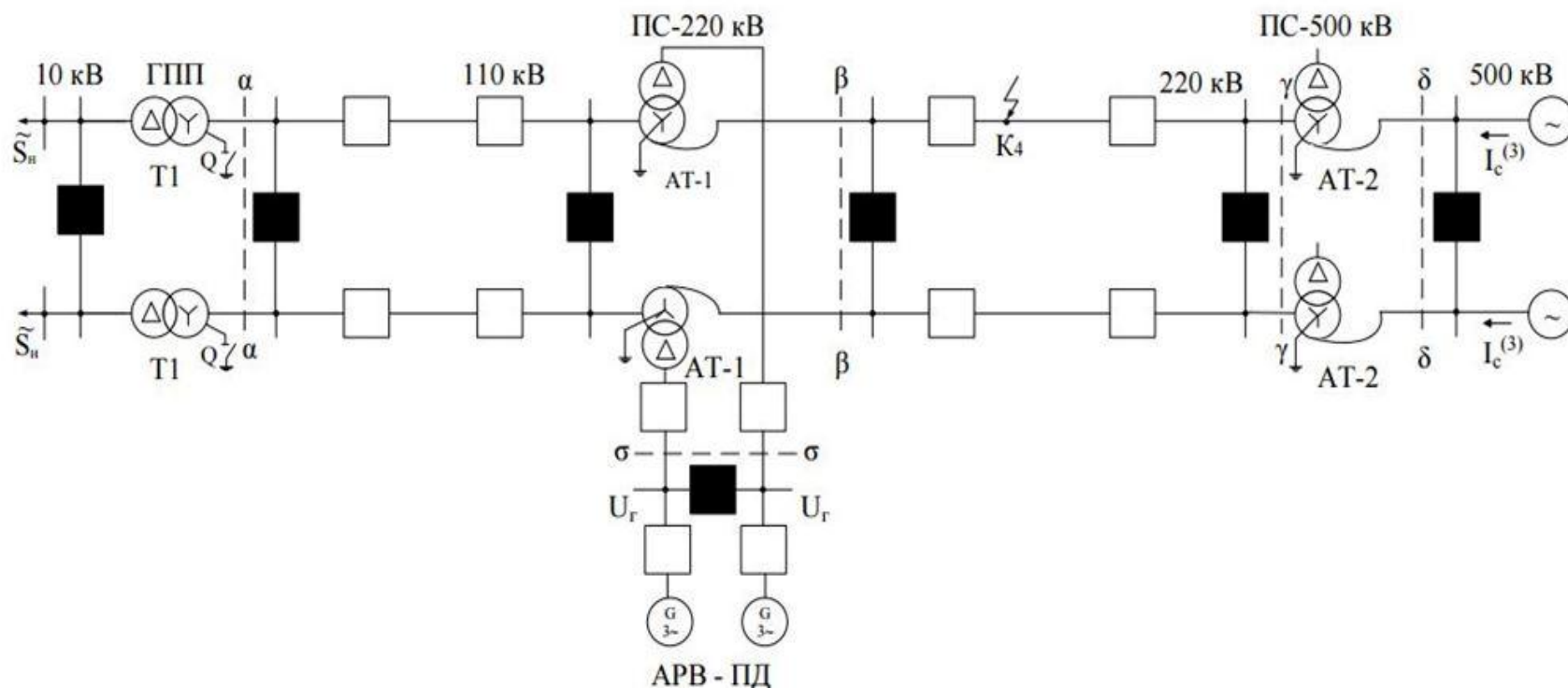


Расчет переходных режимов и анализ устойчивости системы электроснабжения крупного промышленного предприятия

Вариант 29

Студент группы ЭО-14-2: Фролов С.Н.

Исходная схема системы электроснабжения



Расчётная схема

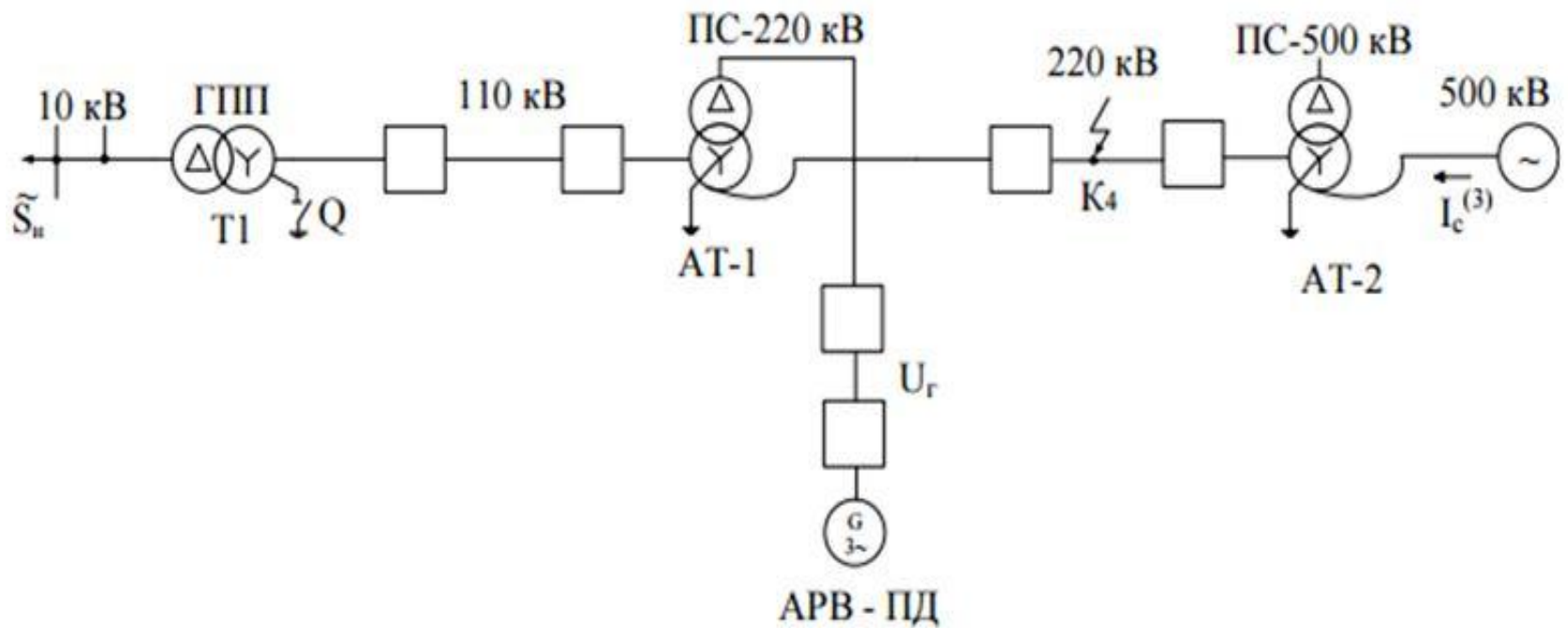
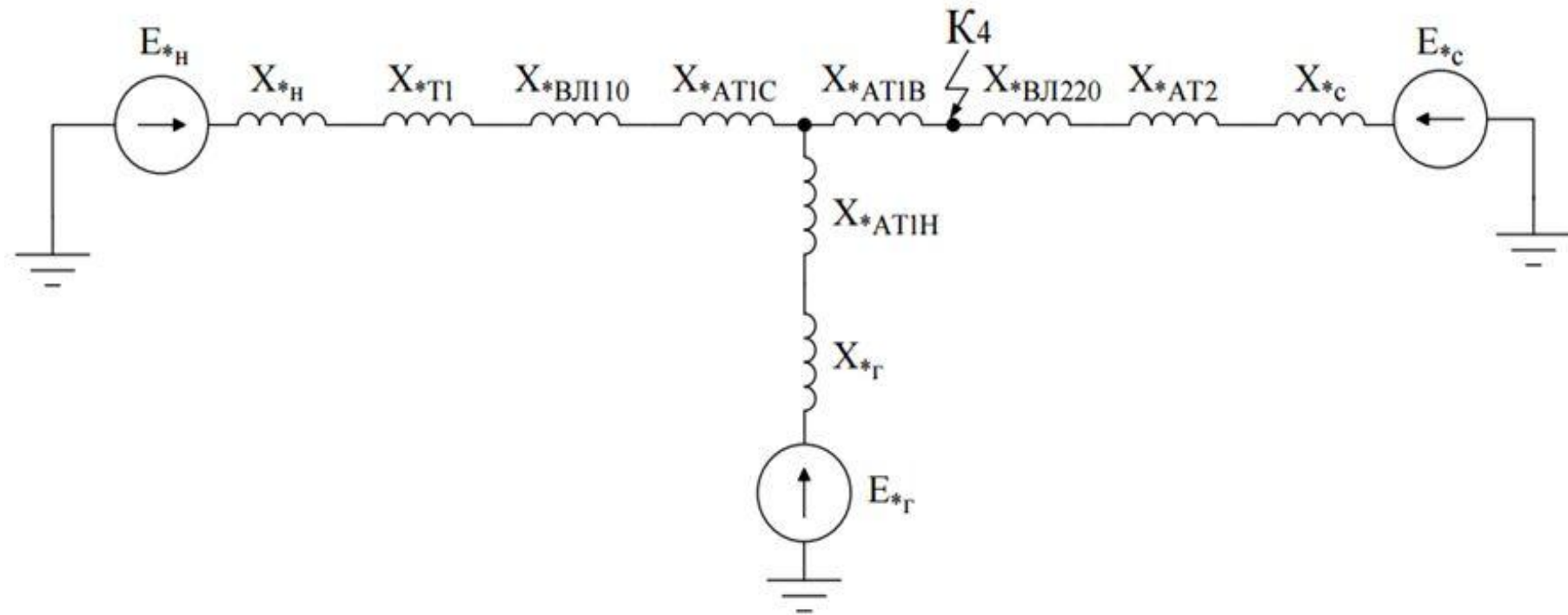
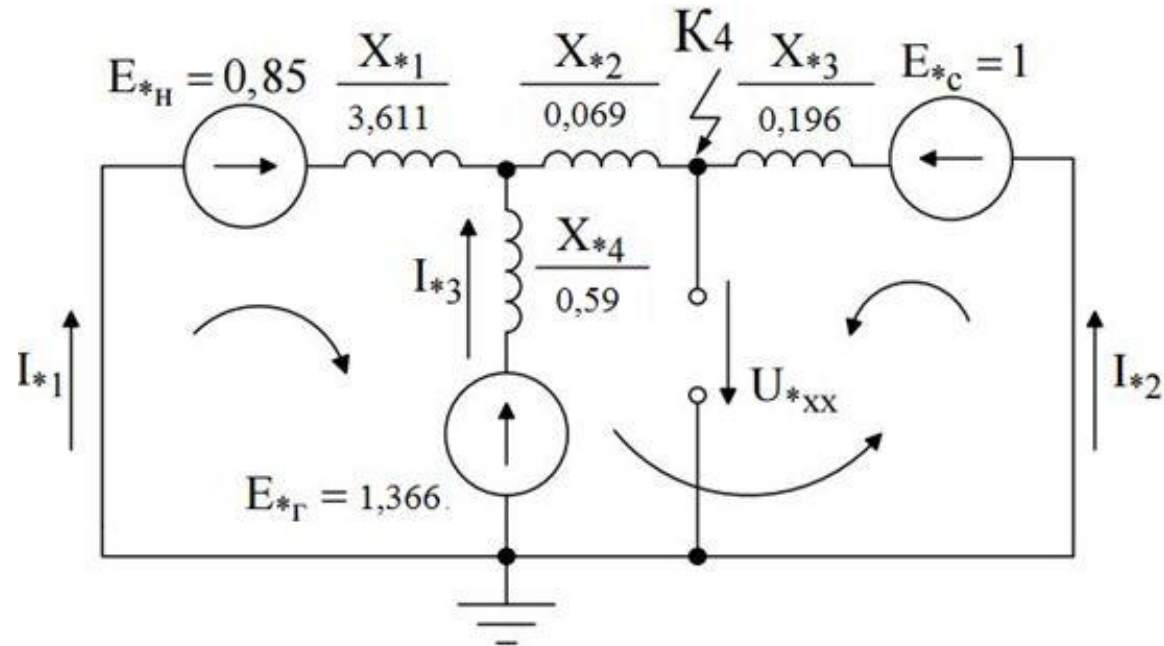


Схема замещения прямой последовательности



Упрощенная схема замещения прямой последовательности



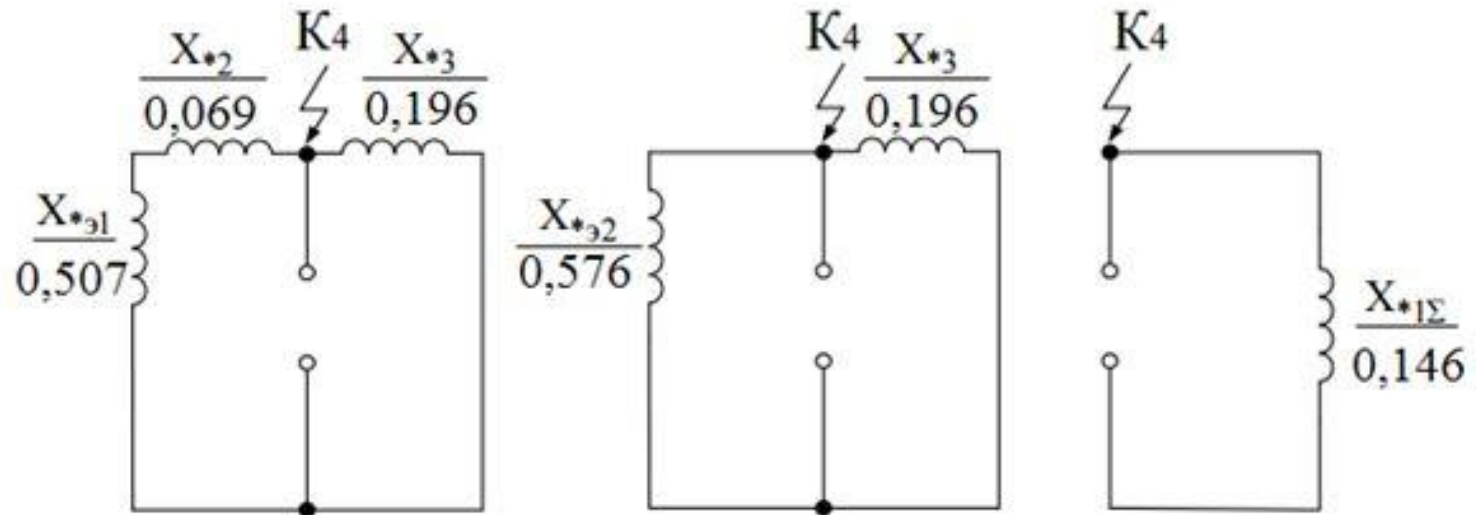
$$X_{*1} = X_{*H} + X_{*T1} + X_{*БЛ110} + X_{*АТ1С} = 0 + 0,081 + 0,688 + 2,842 = 3,611, \text{ o.e.};$$

$$X_{*2} = X_{*АТ1В} = 0,069, \text{ o.e.};$$

$$X_{*3} = X_{*БЛ220} + X_{*АТ2} + X_{*c} = 0,098 + 0,092 + 0,0055 = 0,196, \text{ o.e.};$$

$$X_{*4} = X_{*АТ1Н} + X_{*Г} = 0,125 + 0,465 = 0,59, \text{ o.e.}$$

Эквивалентное сопротивление схемы



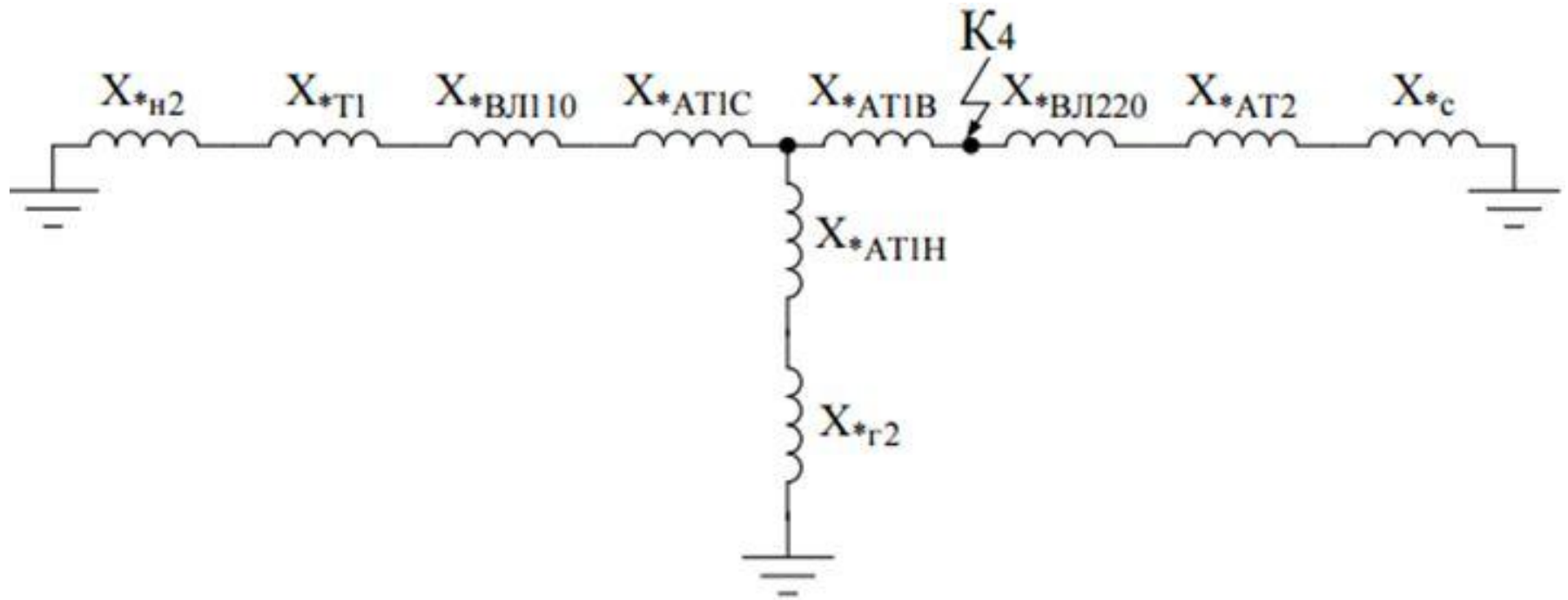
$$X_{*31} = \frac{X_{*1} \cdot X_{*4}}{X_{*1} + X_{*4}} = \frac{3,611 \cdot 0,59}{3,611 + 0,59} = 0,507, \text{ o.e.}$$

$$X_{*32} = X_{*31} + X_{*2} = 0,069 + 0,507 = 0,576, \text{ o.e.}$$

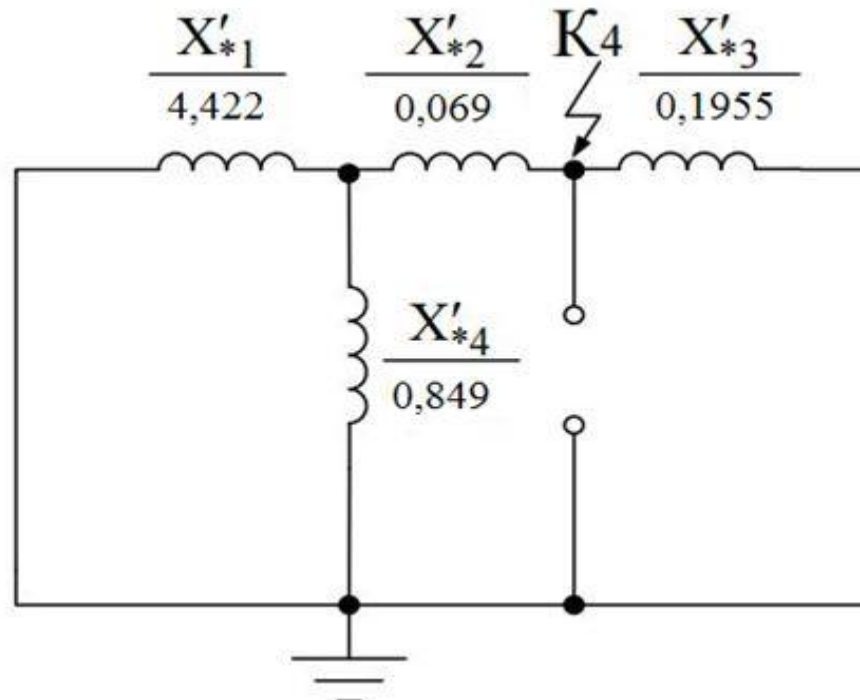
$$X_{*1\Sigma} = \frac{X_{*32} \cdot X_{*3}}{X_{*2} + X_{*3}} = \frac{0,196 \cdot 0,576}{0,196 + 0,576} = 0,146, \text{ o.e.}$$



Схема замещения обратной последовательности



Упрощенная схема замещения обратной последовательности



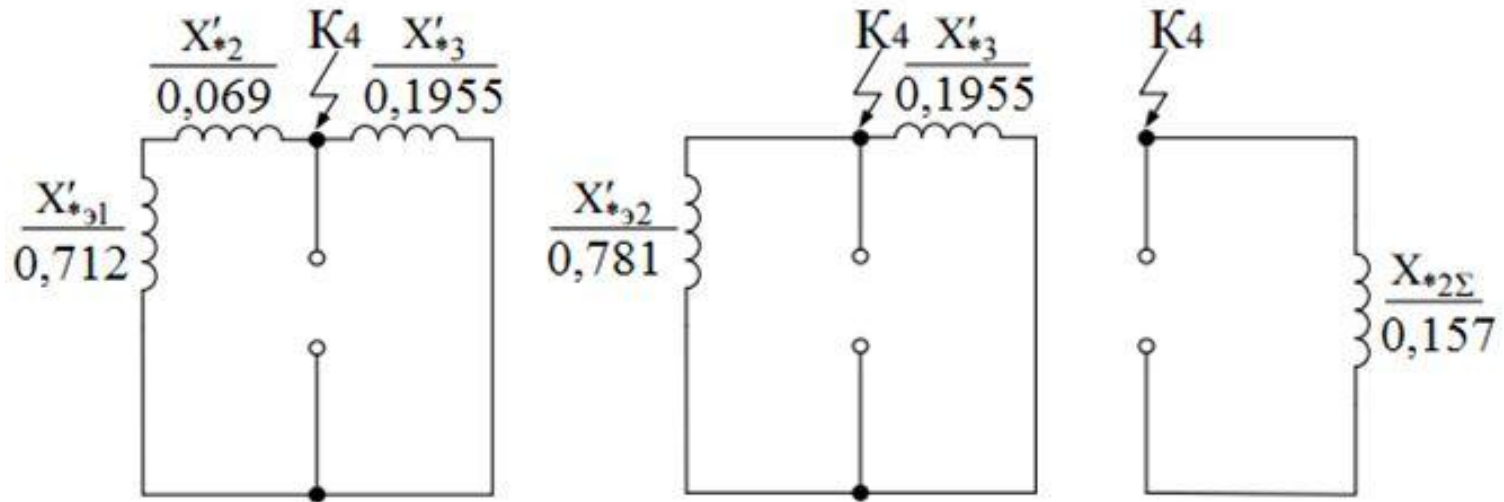
$$X^*_{*1} = X_{*H2} + X_{*T1} + X_{*БЛ110} + X_{*АТ1С} = 3,653 + 0,688 + 0,081 + 0 = 4,422, \text{ о.е.};$$

$$X^*_{*2} = X_{*АТ1В} = 0,069, \text{ о.е.};$$

$$X^*_{*3} = X_{*БЛ220} + X_{*АТ2} + X_{*c} = 0,098 + 0,092 + 0,0055 = 0,1955, \text{ о.е.};$$

$$X^*_{*4} = X_{*АТ1Н} + X_{*r2} = 0,125 + 0,724 = 0,849, \text{ о.е.}$$

Эквивалентное сопротивление схемы замещения обратной последовательности



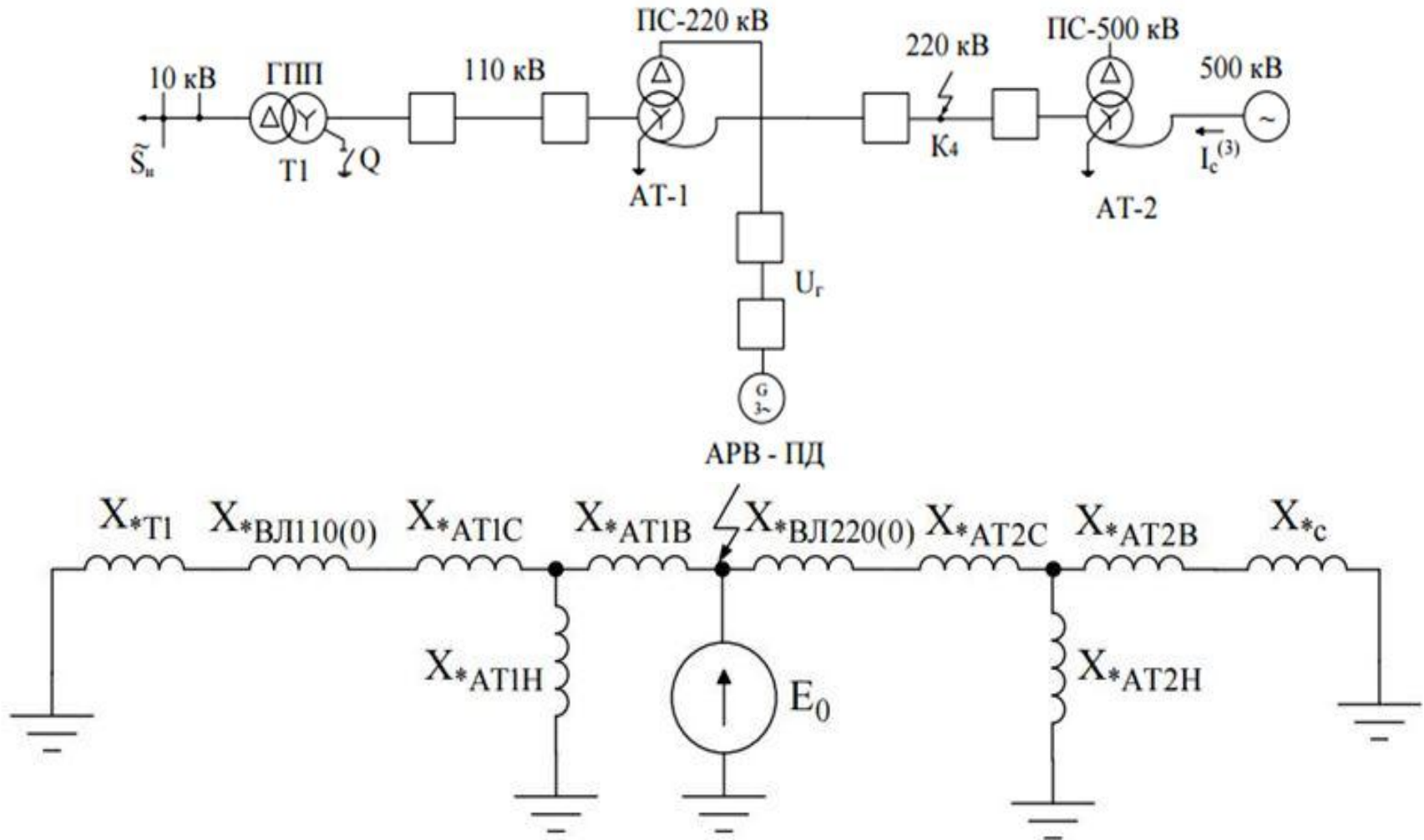
$$X'_{*31} = \frac{X'_{*1} \cdot X'_{*4}}{X'_{*1} + X'_{*4}} = \frac{4,422 \cdot 0,849}{4,422 + 0,849} = 0,712, \text{ o.e.};$$

$$X'_{*32} = X'_{*31} + X'_{*2} = 0,069 + 0,712 = 0,781, \text{ o.e.}$$

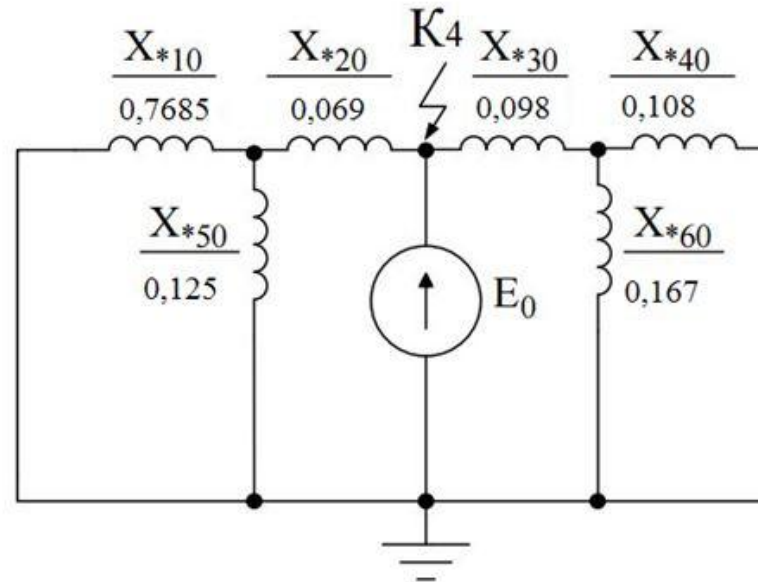
$$X_{*2\Sigma} = \frac{X'_{*32} \cdot X'_{*3}}{X'_{*32} + X'_{*3}} = \frac{0,1955 \cdot 0,781}{0,1955 + 0,781} = 0,157, \text{ o.e.}$$



Схема замещения нулевой последовательности



Упрощённая схема замещения нулевой последовательности



$$X_{*10} = X_{*T1} + X_{*БЛ110} + X_{*АТ1С} = 0,6875 + 0,081 + 0 = 0,7685, \text{ o.e.};$$

$$X_{*20} = X_{*АТ1В} = 0,069, \text{ o.e.};$$

$$X_{*50} = X_{*АТ1Н} = 0,125, \text{ o.e.};$$

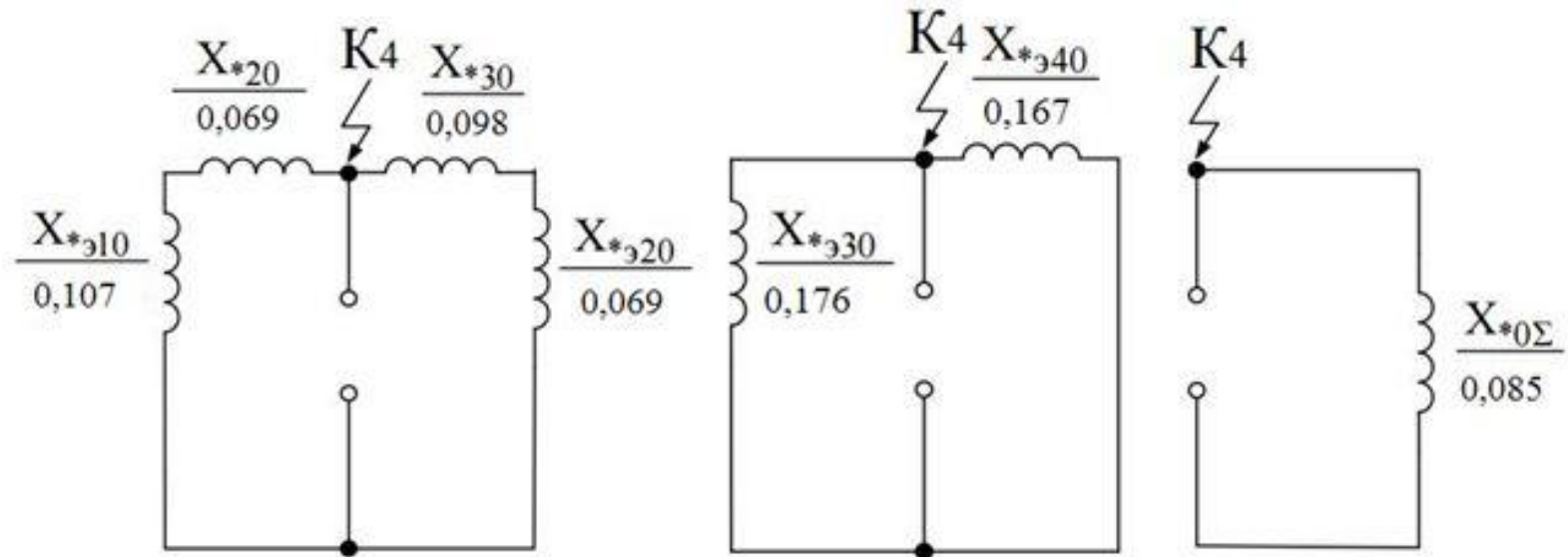
$$X_{*30} = X_{*БЛ220} + X_{*АТ2С} = 0,098 + 0 = 0,098, \text{ o.e.};$$

$$X_{*60} = X_{*АТ2Н} = 0,167, \text{ o.e.};$$

$$X_{*40} = X_{*АТ2В} + X_{*С} = 0,102 + 0,0055 = 0,108, \text{ o.e.};$$



Эквивалентное сопротивление схемы замещения нулевой последовательности



$$X_{*310} = \frac{X_{*10} \cdot X_{*50}}{X_{*10} + X_{*50}} = \frac{0,7685 \cdot 0,125}{0,7685 + 0,125} = 0,107, \text{ o.e.};$$

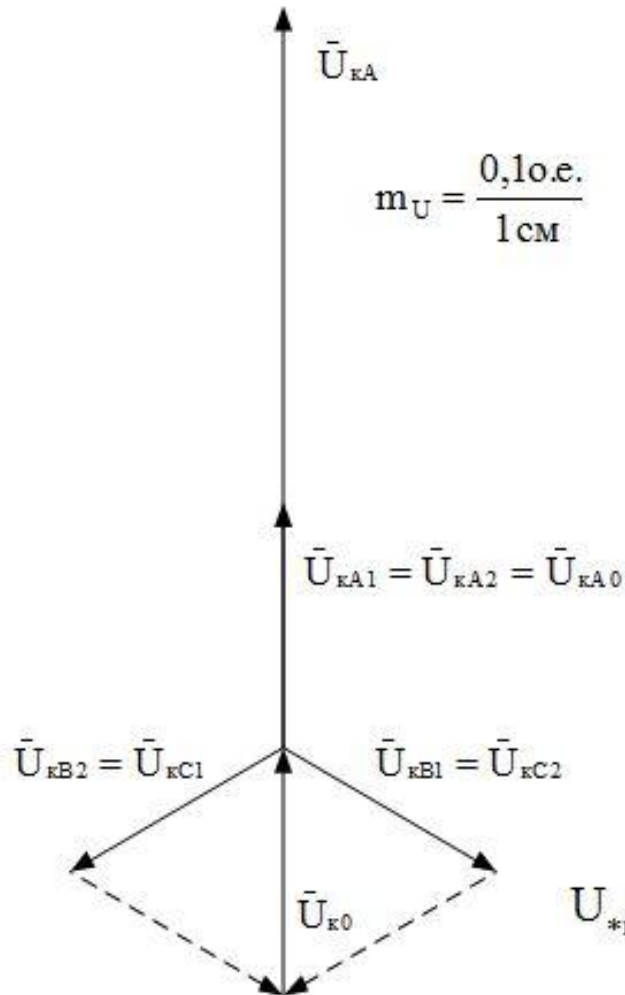
$$X_{*320} = \frac{X_{*40} \cdot X_{*60}}{X_{*40} + X_{*60}} = \frac{0,108 \cdot 0,194}{0,108 + 0,194} = 0,069, \text{ o.e.}; \quad X_{*30\Sigma} = \frac{X_{*330} \cdot X_{*340}}{X_{*330} + X_{*340}} = \frac{0,176 \cdot 0,167}{0,176 + 0,167} = 0,085, \text{ o.e..}$$

$$X_{*330} = X_{*310} + X_{*320} = 0,107 + 0,069 = 0,176, \text{ o.e.};$$

$$X_{*340} = X_{*30} + X_{*320} = 0,098 + 0,069 = 0,167, \text{ o.e..}$$



Построение векторной диаграммы напряжений в точке КЗ



Шунт несимметричного короткого замыкания равен:

$$X_{*\Delta}^{(1.1)} = \frac{X_{*2\Sigma} \cdot X_{*0\Sigma}}{X_{*2\Sigma} + X_{*0\Sigma}} = \frac{0,181 \cdot 0,134}{0,181 + 0,134} = 0,077, \text{ o.e.}$$

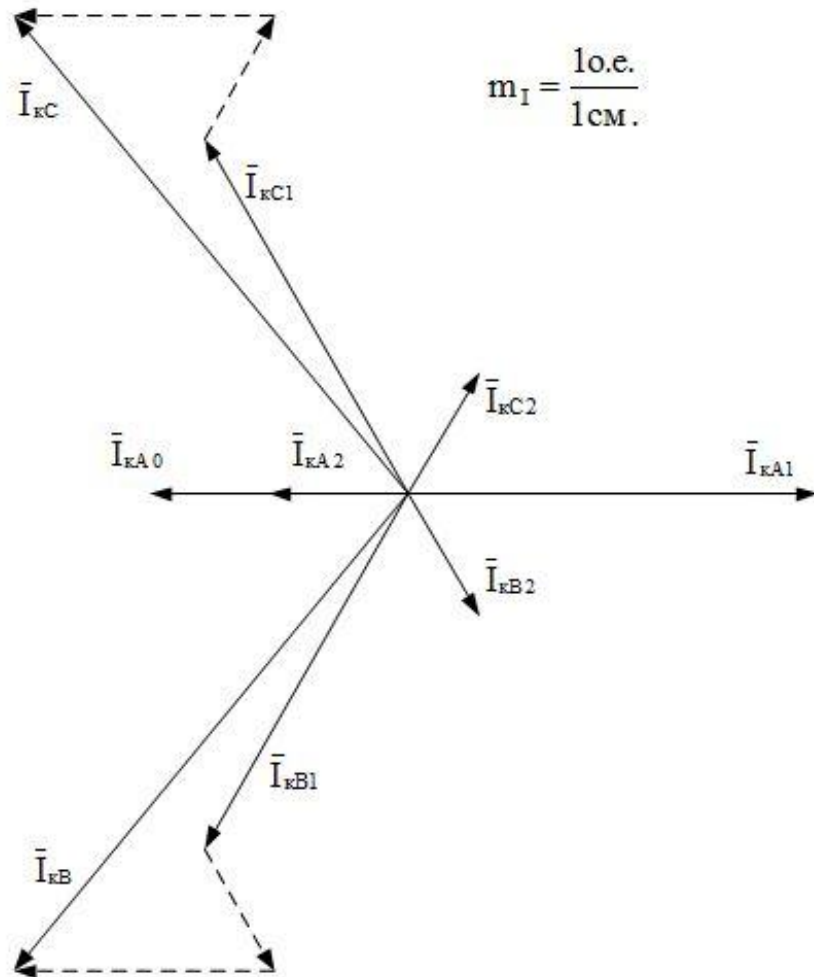
Ток прямой последовательности в месте КЗ:

$$I_{*KA1} = \frac{E_{*ЭKB}}{X_{*1\Sigma} + X_{*\Delta}^{(1.1)}} = \frac{1,055}{0,146 + 0,054} = 5,275, \text{ o.e.}$$

Напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности:

$$U_{*KA1} = U_{*KA2} = U_{*KA0} = I_{*KA1} \cdot X_{*\Delta}^{(1.1)} = 5,275 \cdot 0,054 = 0,285, \text{ o.e.}$$

Построение векторной диаграммы токов в точке КЗ



Шунт несимметричного короткого замыкания равен:

$$X_{*\Delta}^{(1,1)} = \frac{X_{*2\Sigma} \cdot X_{*0\Sigma}}{X_{*2\Sigma} + X_{*0\Sigma}} = \frac{0,181 \cdot 0,134}{0,181 + 0,134} = 0,077, \text{о.е.}$$

Ток прямой последовательности в месте КЗ:

$$I_{*KA1} = \frac{E_{*9KB}}{X_{*1\Sigma} + X_{*\Delta}^{(1,1)}} = \frac{1,055}{0,146 + 0,054} = 5,275, \text{о.е.}$$

Токи обратной и нулевой последовательности:

$$I_{*KA2} = -\frac{U_{*KA2}}{X_{*2\Sigma}} = -\frac{0,285}{0,157} = -1,815, \text{о.е.};$$

$$I_{*KA0} = -\frac{U_{*KA0}}{X_{*0\Sigma}} = -\frac{0,285}{0,085} = -3,353, \text{о.е.}$$

Расчётная схема для определения параметров режима в сечении

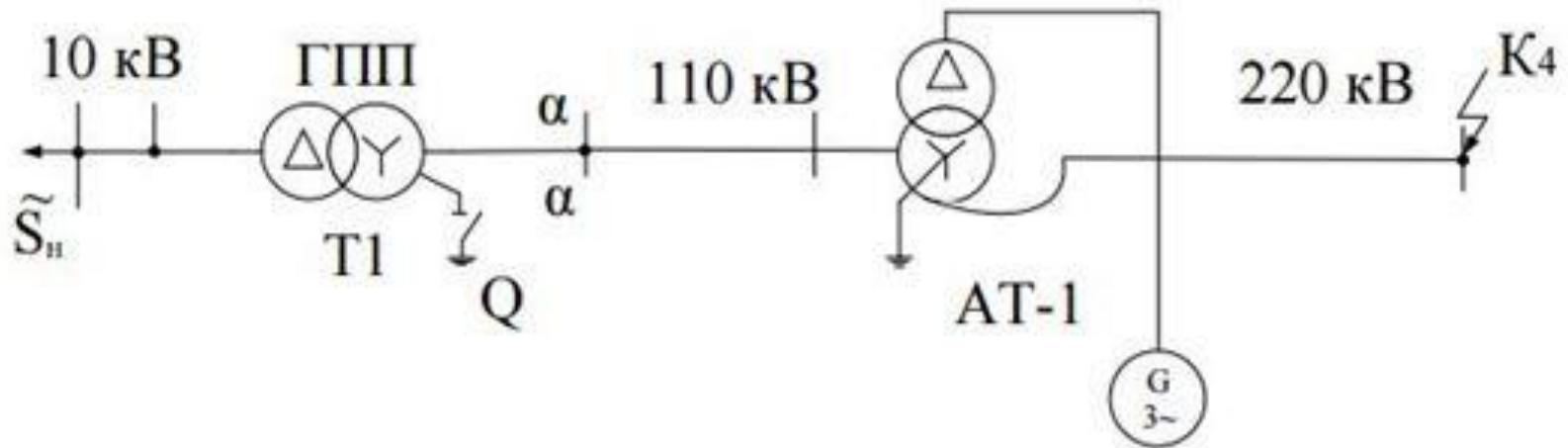
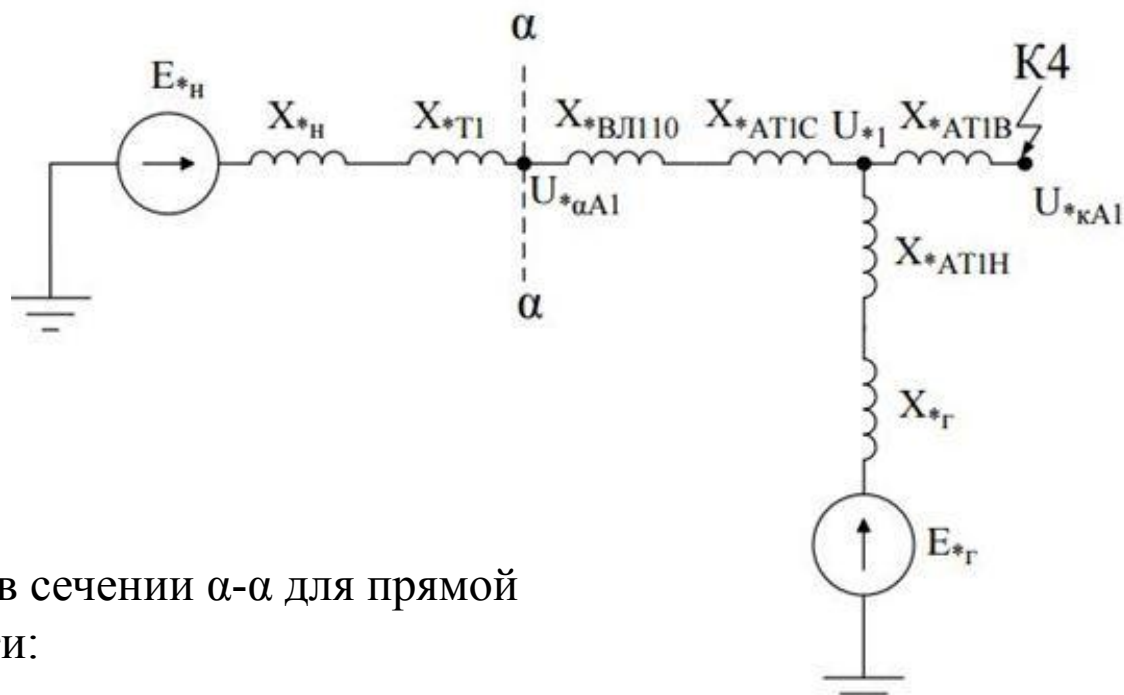


Схема замещения прямой последовательности для определения параметров режима в сечении

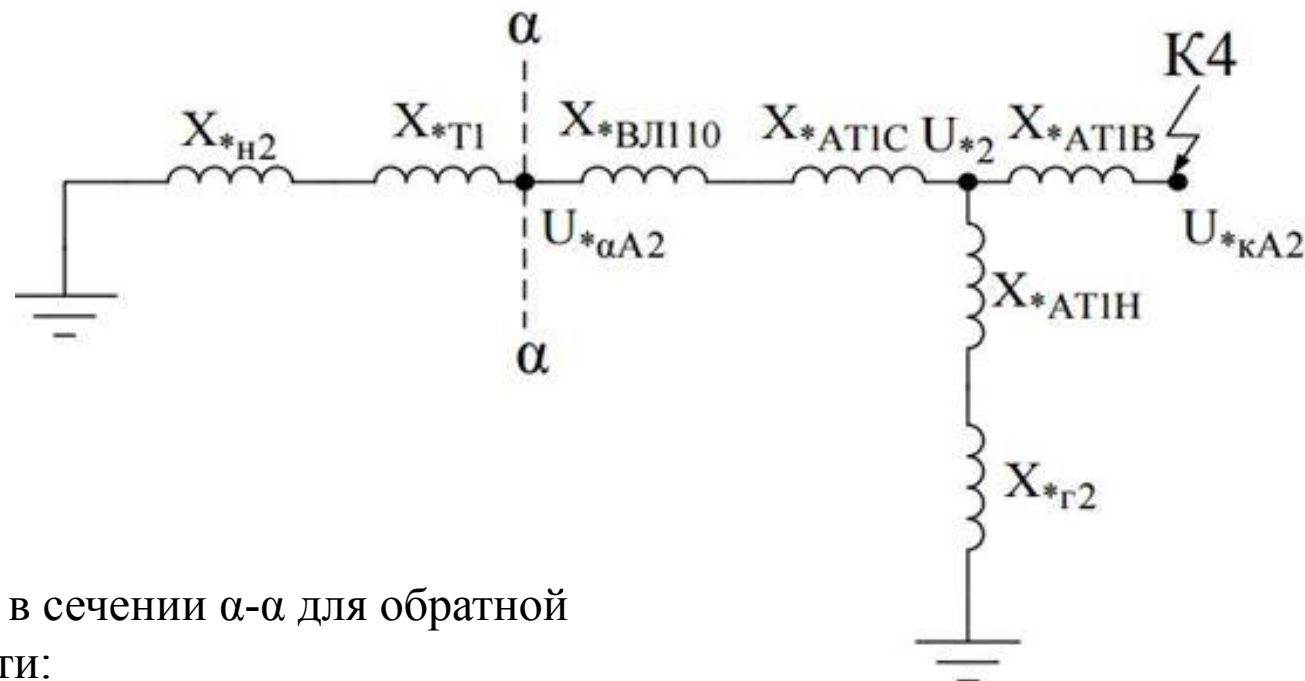


Напряжение и ток в сечении α-α для прямой последовательности:

$$I_{*\alpha A1} = \frac{E_{*н} - U_{*1}}{X_{*н} + X_{*T1} + X_{*ВЛ110} + X_{*АТ1С}} = \frac{0,85 - 0,649}{0,125 + 0,6875 + 0,081 + 0} = 0,208, \text{ o.e.};$$

$$U_{*\alpha A1} = E_{*н} - I_{*\alpha A1} \cdot (X_{*н} + X_{*T1}) = 0,85 - 0,208 \cdot (0,125 + 0,6875) = 0,681, \text{ o.e..}$$

Схема замещения обратной последовательности для определения параметров режима в сечении

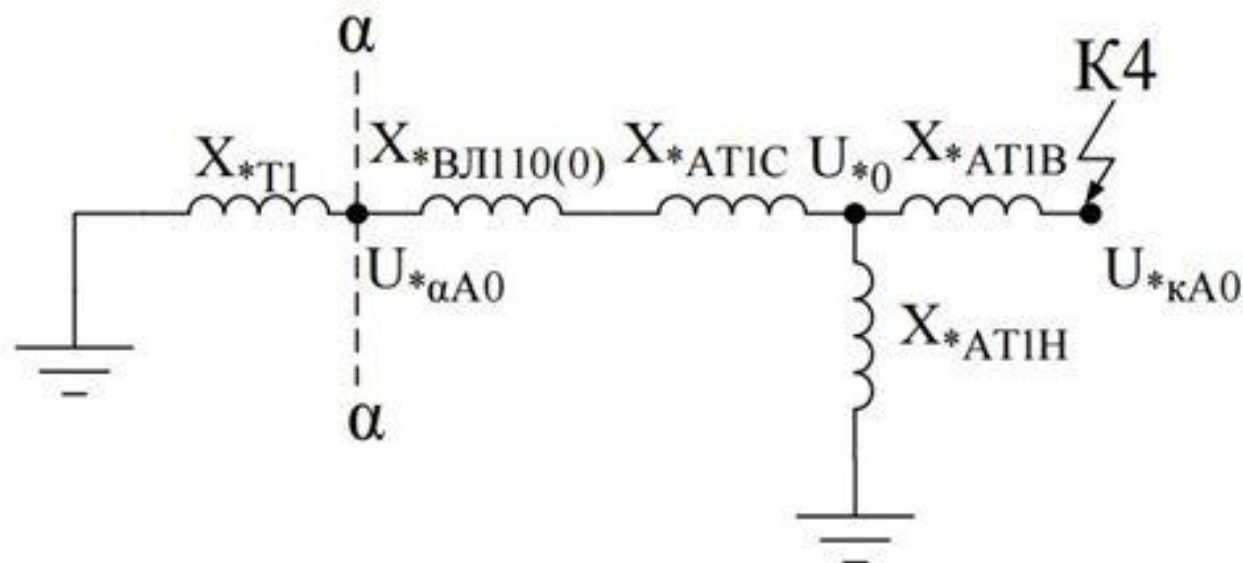


Напряжение и ток в сечении α - α для обратной последовательности:

$$I_{*\alpha A2} = \frac{0 - U_{*2}}{X_{*\text{н}2} + X_{*\text{Т}1} + X_{*\text{ВЛ}110} + X_{*\text{АТ}1\text{С}}} = \frac{0 - 0,16}{0,125 + 0,6875 + 0,081 + 0} = -0,176, \text{о.е.};$$

$$U_{*\alpha A2} = 0 - I_{*\alpha A2} \cdot (X_{*\text{н}2} + X_{*\text{Т}1}) = 0 - (-0,176) \cdot (0,125 + 0,6875) = 0,143, \text{о.е.}.$$

Схема замещения обратной последовательности для определения параметров режима в сечении



Напряжение и ток в сечении α - α для нулевой последовательности:

$$I_{*\alpha A0} = \frac{0 - U_{*0}}{X_{*T1} + X_{*ВЛ110(0)} + X_{*AT1C}} = \frac{0 - 0,054}{0,6875 + 0,081 + 0} = -0,071, \text{о.е.};$$

$$U_{*\alpha A0} = 0 - I_{*\alpha A0} \cdot X_{*T1} = 0,071 \cdot 0,6875 = 0,103, \text{о.е.}.$$

Построение векторной диаграммы напряжений для данного сечения

$$m_U = \frac{0,1 \text{ о.е.}}{1 \text{ см}}$$

Напряжение в сечении α - α для прямой последовательности:

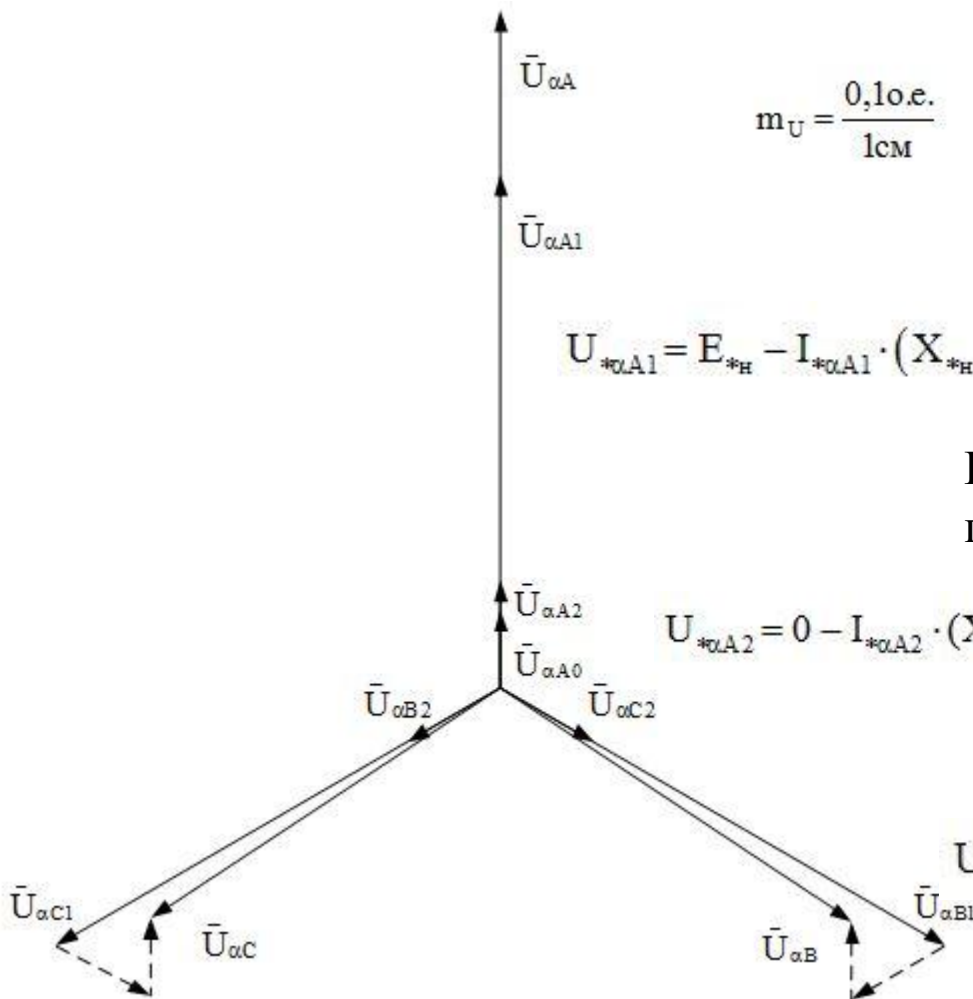
$$U_{*\alpha A1} = E_{*H} - I_{*\alpha A1} \cdot (X_{*H} + X_{*T1}) = 0,85 - 0,208 \cdot (0,125 + 0,6875) = 0,681, \text{ о.е.}$$

Напряжение в сечении α - α для обратной последовательности:

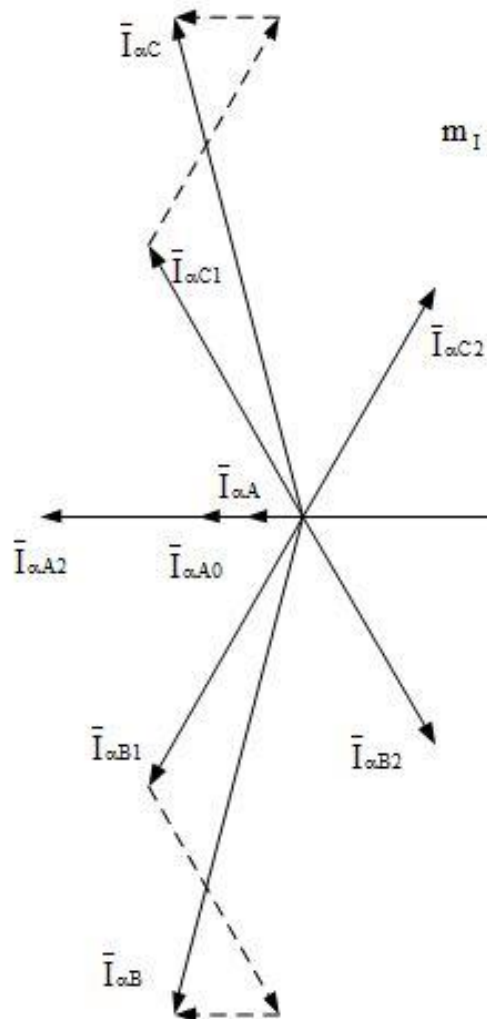
$$U_{*\alpha A2} = 0 - I_{*\alpha A2} \cdot (X_{*H2} + X_{*T1}) = 0 - (-0,176) \cdot (0,125 + 0,6875) = 0,143, \text{ о.е.}$$

Напряжение в сечении α - α для нулевой последовательности:

$$U_{*\alpha A0} = 0 - I_{*\alpha A0} \cdot X_{*T1} = 0,071 \cdot 0,6875 = 0,103, \text{ о.е.}$$



Построение векторной диаграммы токов для данного сечения



$$m_I = \frac{0,5 \text{ o.e.}}{1 \text{ cm}}$$

Ток в сечении α - α для прямой последовательности:

$$I_{\alpha A1} = \frac{E_{\alpha H} - U_{\alpha 1}}{X_{\alpha H} + X_{\alpha T1} + X_{\alpha ВЛ110} + X_{\alpha АТ1С}} = \frac{0,85 - 0,649}{0,125 + 0,6875 + 0,081 + 0} = 0,208, \text{ o.e.};$$

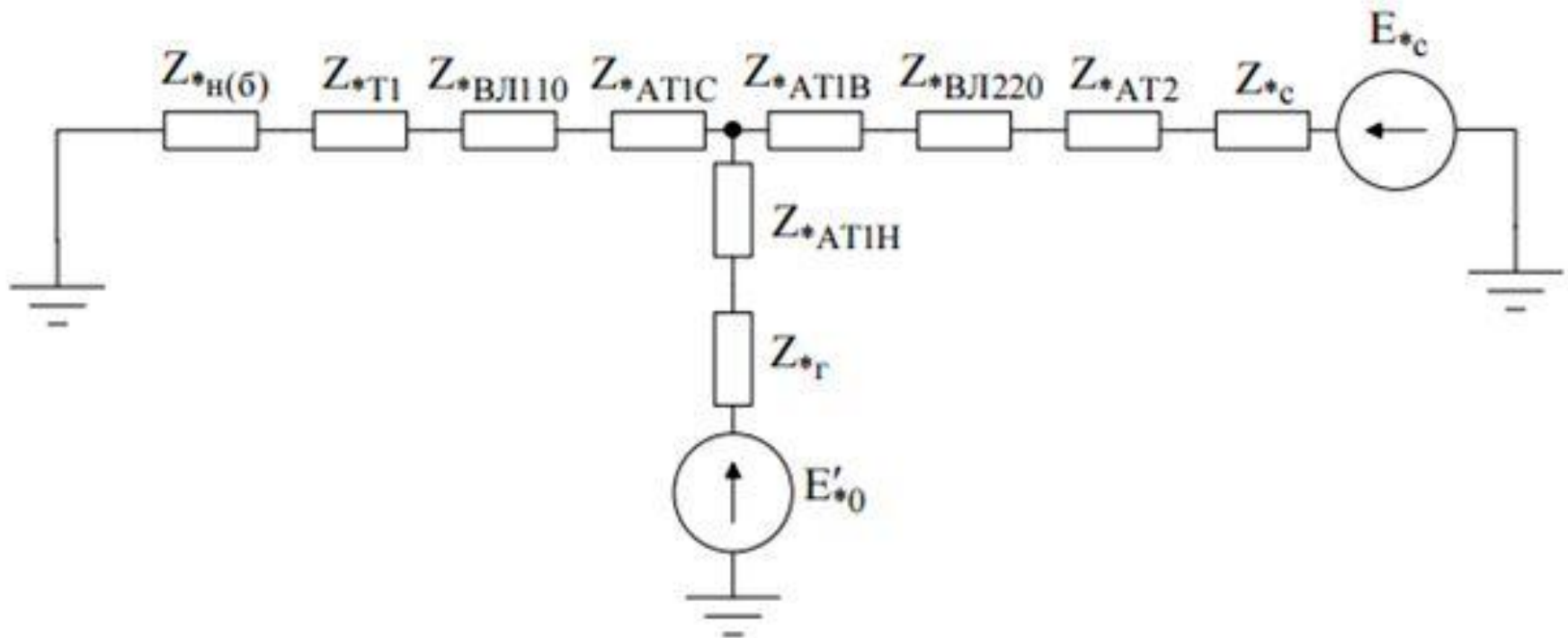
Ток в сечении α - α для обратной последовательности:

$$I_{\alpha A2} = \frac{0 - U_{\alpha 2}}{X_{\alpha H2} + X_{\alpha T1} + X_{\alpha ВЛ110} + X_{\alpha АТ1С}} = \frac{0 - 0,16}{0,125 + 0,6875 + 0,081 + 0} = -0,176, \text{ o.e.};$$

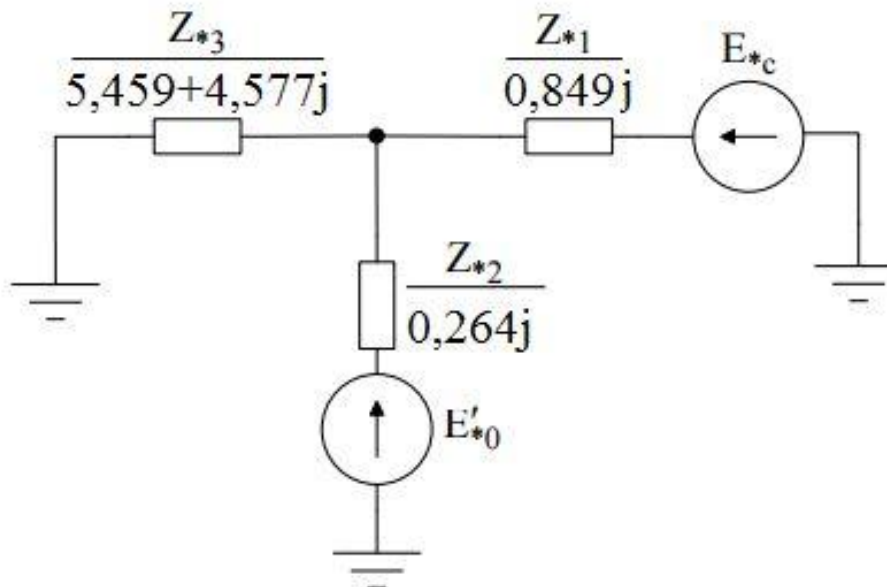
Ток в сечении α - α для нулевой последовательности:

$$I_{\alpha A0} = \frac{0 - U_{\alpha 0}}{X_{\alpha T1} + X_{\alpha ВЛ110(0)} + X_{\alpha АТ1С}} = \frac{0 - 0,054}{0,6875 + 0,081 + 0} = -0,071, \text{ o.e.};$$

Схема замещения для определения статической устойчивости системы электроснабжения



Упрощенная схема замещения для определения статической устойчивости системы электроснабжения



$$Z_{*1} = Z_{*AT1H} + Z_{*r} = 0,125j + 0,724j = 0,849j, \text{ o.e.};$$

$$Z_{*2} = Z_{*AT1B} + Z_{*BЛ220} + Z_{*AT2} + Z_{*c} = 0,069j + 0,038j + 0,092j + 0,0051j = 0,264j, \text{ o.e.};$$

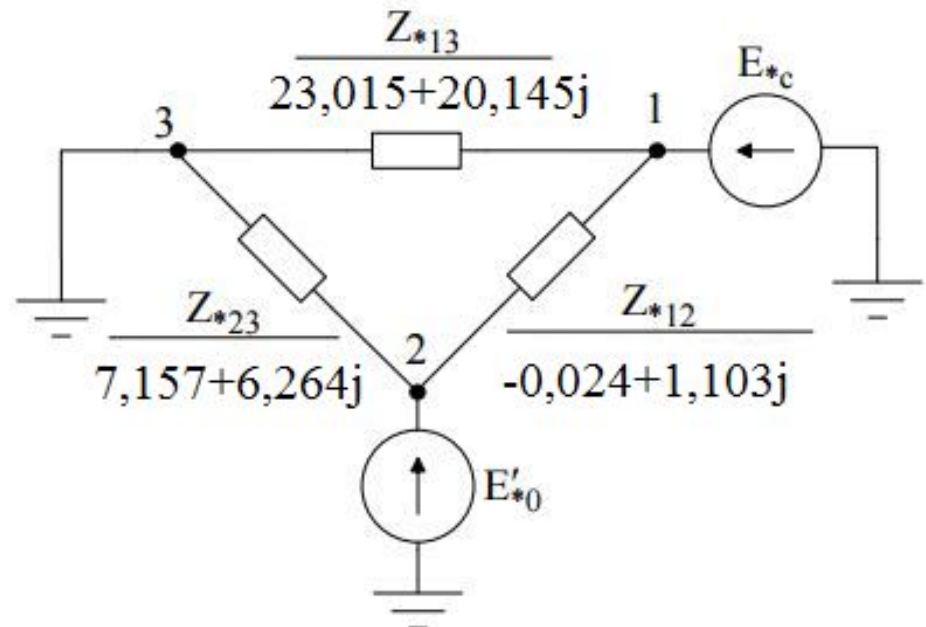
$$Z_{*3} = Z_{*H6} + Z_{*T1} + Z_{*BЛ110} + Z_{*AT1C} = 5,459 + 3,808j + 0,688j + 0,081j + 0 = 5,459 + 4,577j, \text{ o.e.}$$

Преобразование звезды в треугольник

$$Z_{*12} = Z_{*1} + Z_{*2} + \frac{Z_{*1} \cdot Z_{*2}}{Z_{*3}};$$

$$Z_{*23} = Z_{*2} + Z_{*3} + \frac{Z_{*2} \cdot Z_{*3}}{Z_{*1}};$$

$$Z_{*13} = Z_{*1} + Z_{*3} + \frac{Z_{*1} \cdot Z_{*3}}{Z_{*2}}.$$



$$Z_{*12} = 0,849j + 0,264j + \frac{0,849j \cdot 0,264j}{5,459 + 4,577j} = -0,024 + 1,103j, \text{ o.e.};$$

$$Z_{*23} = 0,264j + 5,459 + 4,577j + \frac{0,264j \cdot (5,459 + 4,577j)}{0,849j} = 7,157 + 6,264j, \text{ o.e.};$$

$$Z_{*13} = 0,849j + 4,577j + 5,459 + \frac{0,849j \cdot (4,577j + 5,459)}{0,264j} = 23,015 + 20,145j, \text{ o.e.}$$

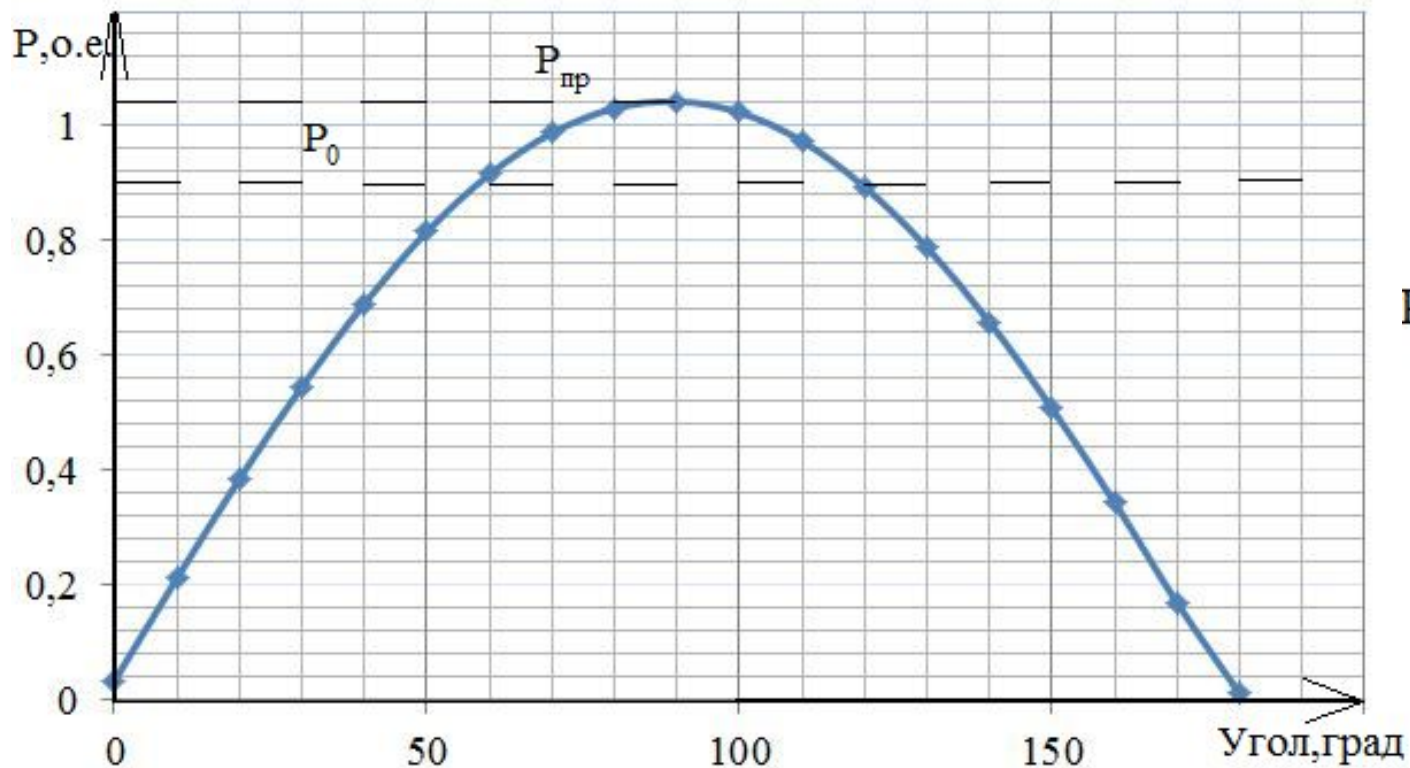
Значения для построения угловой характеристики

$$P_* = (E'_{*0})^2 \cdot Y_{*11} \cdot \sin \alpha_{11} + E'_{*0} \cdot E_{*c} \cdot Y_{*12} \cdot \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}) =$$
$$1,366^2 \cdot 0,907 \cdot \sin(0,375) + 1,366 \cdot 1,005 \cdot 0,752 \cdot \sin(\delta_{12} - (-1,214)).$$

δ_{12}	$P_*(\delta_{12}), \text{o.e.}$	δ_{12}	$P_*(\delta_{12}), \text{o.e.}$
0°	0,033	100°	1,024
10°	0,212	110°	0,974
20°	0,385	120°	0,894
30°	0,546	130°	0,788
40°	0,691	140°	0,658
50°	0,816	150°	0,508
60°	0,916	160°	0,344
70°	0,988	170°	0,169
80°	1,031	180°	0,011
90°	1,043		



Угловая характеристика активной мощности генератора



$$P_{пр} = 1,043, \text{ o.e.}$$

$$K_P = \frac{P_{пр} - P_0}{P_0} = \frac{1,043 - 0,9}{0,9} = 0,159.$$

Расчет динамической устойчивости системы

Схема замещения для аварийного режима

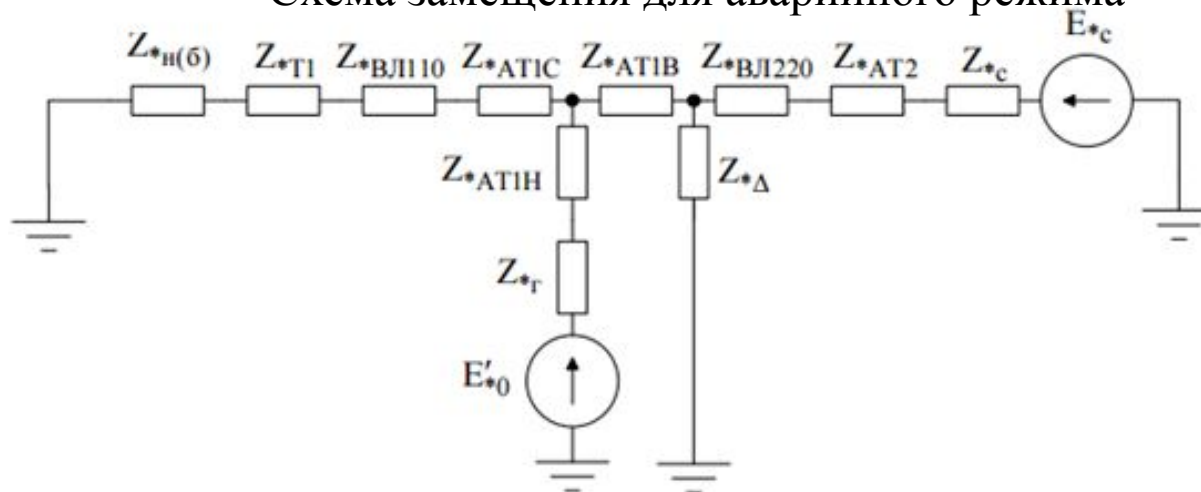
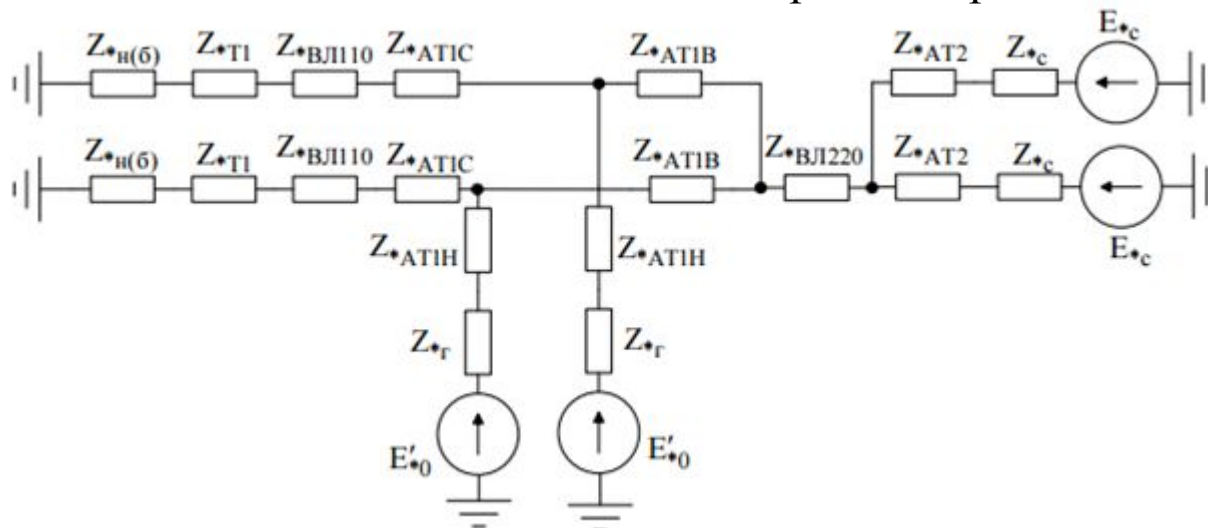


Схема замещения для послеаварийного режима



Угловая характеристика активной мощности генератора

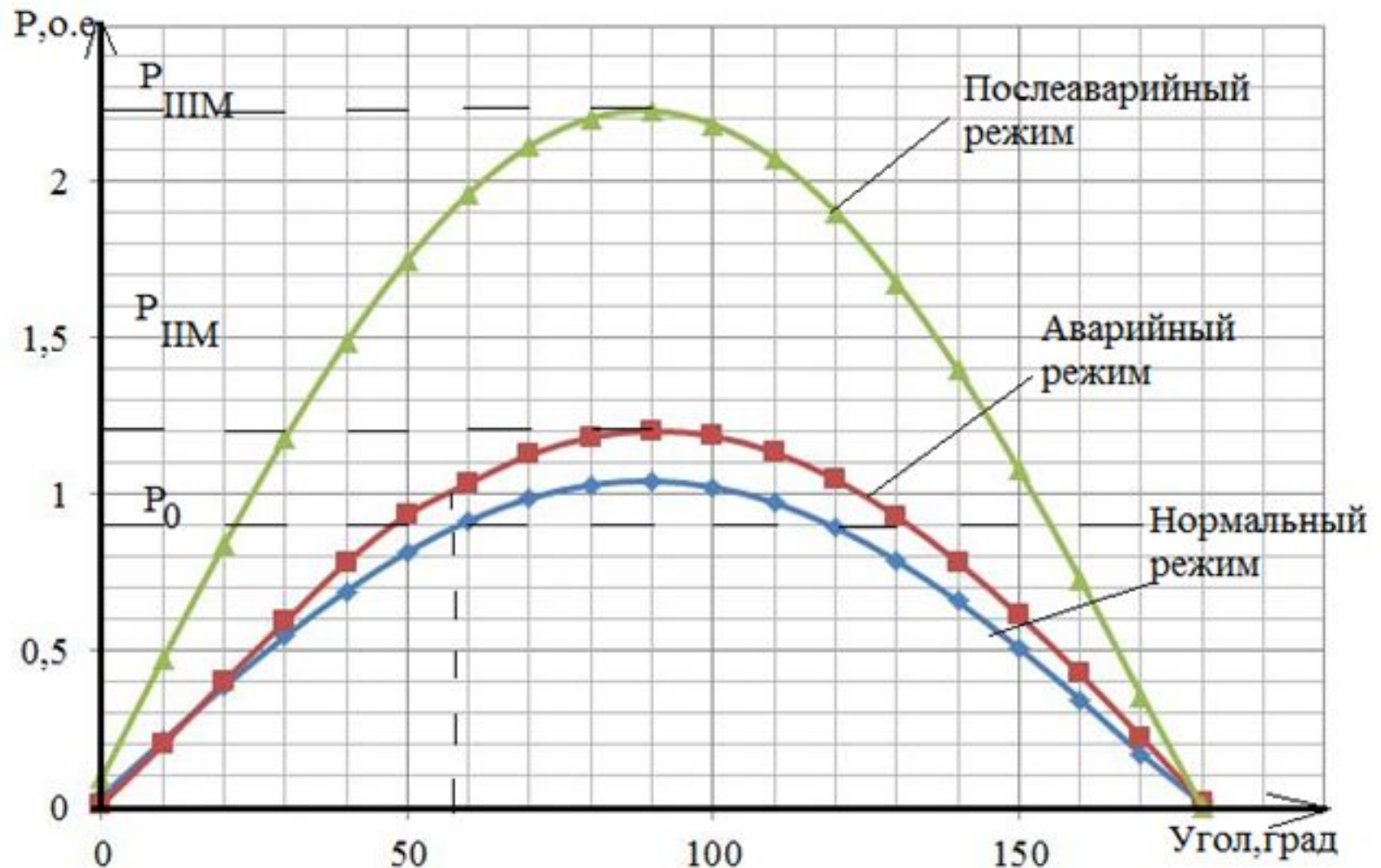


График изменения во времени угла положения ротора

