

Министерство образования и науки Украины
Национальный технический университет Украины
“Киевский Политехнический Институт”
Кафедра ТОЭ

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 705

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

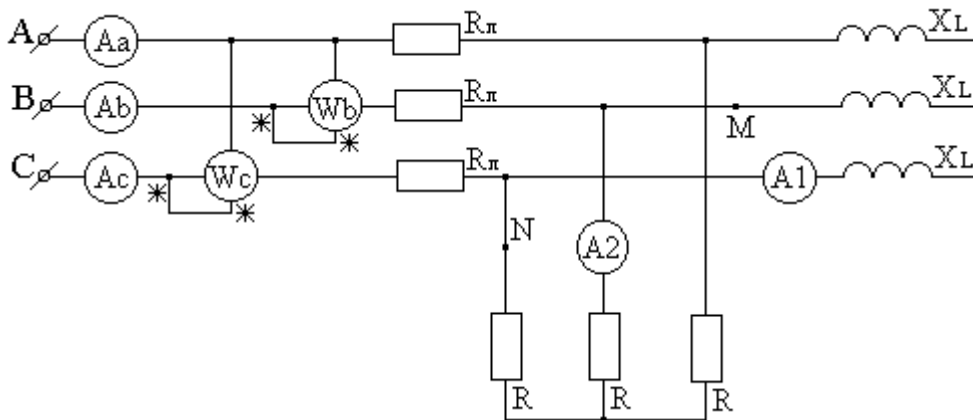
Симметричны трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

Требуется:

1. Определить показания включенных в цепь измерительных приборов, полагая нагрузки симметричной.
2. Проверить правильность расчета, составив баланс активной и реактивной мощностей.
3. По результатам расчета п.1 построить для симметричной нагрузки совмещенную векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений цепи.
4. Провести расчет токов во всех ветвях напряжений на всех участках цепи, определить показания измерительных приборов в аварийном режиме, делая обрыв в указанной точке.
5. Проверить правильность расчета, составив баланс активной и реактивной мощностей.
6. По результатам расчета п.4 построить совмещенную векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений цепи.

$$U_A := 180 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 15 \quad R := 80 \quad X_L := 27$$

Обрыв проводится в точке М.



Общая схема трёхфазной цепи

Определение показаний измерительных приборов при симметричной нагрузке

Так как нагрузка симметрическая, то будем проводить расчет только по одной фазе. Токи в остальных фазах будут такими же, только будут отличаться углы.

За опорную примем фазу А. Фазные напряжения генератора и сопротивления элементов нагрузки в комплексной форме равны:

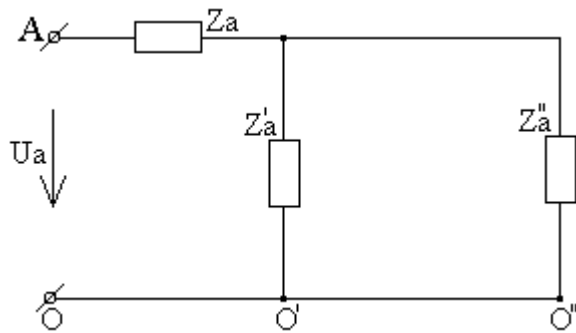
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (180 \ 0) \quad F(E_B) = (180 \ -120) \quad F(E_C) = (180 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 15$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 80$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 27i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 23.181 + 24.239i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 3.709 - 3.879i \quad F(I_A) = (5.367 \ -46.279)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -5.214 - 1.273i \quad F(I_B) = (5.367 \ -166.279)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = 1.504 + 5.152i \quad F(I_C) = (5.367 \ 73.721)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 8.181 + 24.239i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 124.36 + 58.18i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 1.555 + 0.727i \quad F(I'_A) = (1.716 \ 25.072)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -0.147 - 1.71i \quad F(I'_B) = (1.716 \ -94.928)$$

$$\begin{aligned}
I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.407 + 0.983i & F(I_C) &= (1.716 \quad 145.072) \\
I''_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z''_a} & I''_A &= 2.155 - 4.606i & F(I''_A) &= (5.085 \quad -64.928) \\
I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -5.066 + 0.437i & F(I''_B) &= (5.085 \quad 175.072) \\
I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 2.911 + 4.169i & F(I''_C) &= (5.085 \quad 55.072)
\end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 5.085 \quad A_2 = 1.716 \quad A_a = 5.367 \quad A_b = 5.367 \quad A_c = 5.367$$

Находим показания ваттметров. Ваттметры показывают вещественную часть произведения комплекса напряжения, приложенного к обмотке напряжения (его отсчитывают от начала обмотки к концу), на сопряженный комплекс тока, протекающего через обмотку тока:

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned}
E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -270 + 155.885i \\
W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 396.891
\end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned}
E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -270 - 155.885i \\
W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 1.606 \times 10^3
\end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.003 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

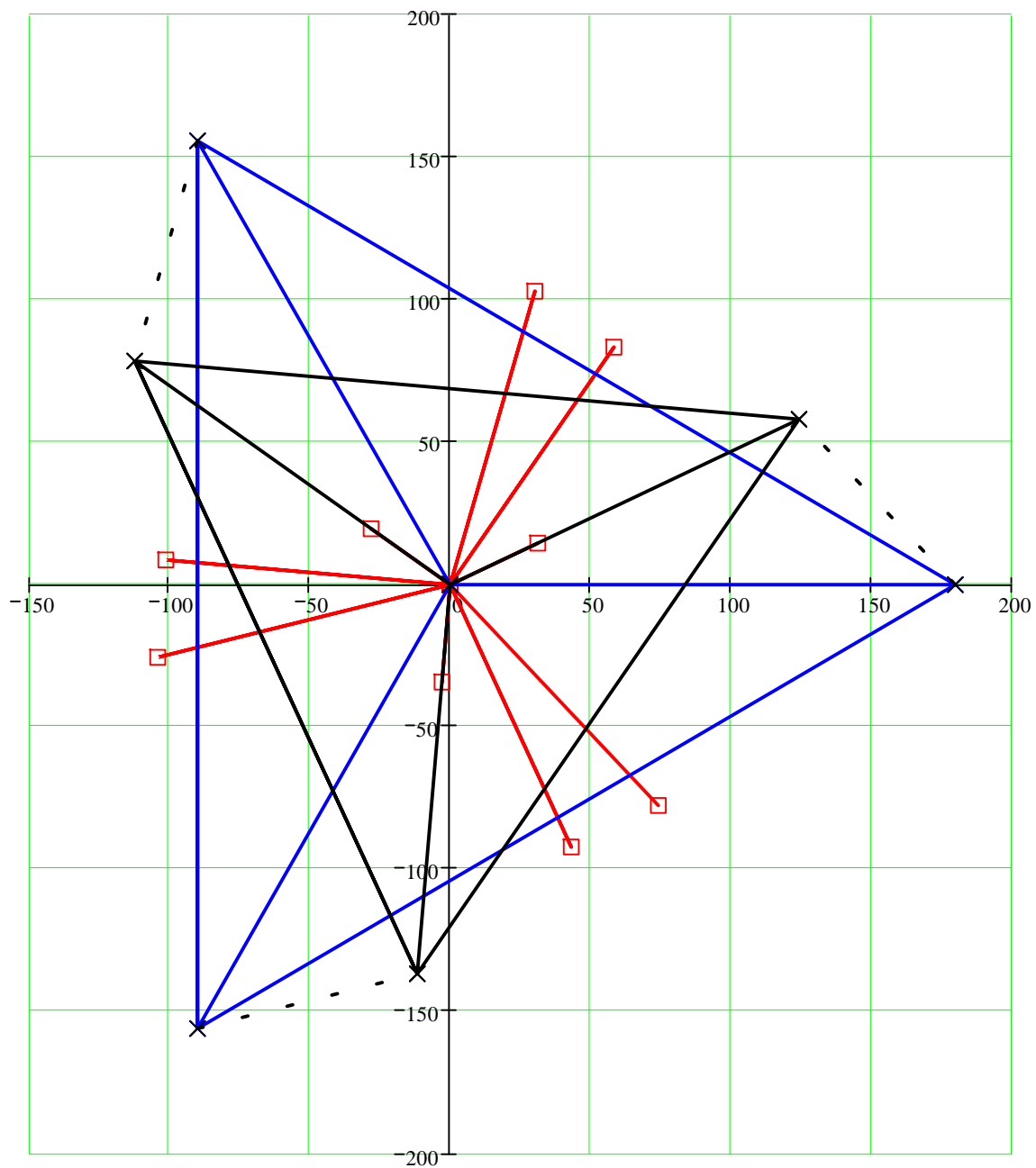
Правильность расчетов проверим, составив баланс активных и реактивных мощностей. Мощность источника энергии определяют в виде суммы произведений комплексов фазных ЭДС (напряжений) на сопряженные комплексы токов соответствующих фаз. В симметричной трёхфазной системе мощность, отдаваемая в нагрузку источником, равна утроенной мощности одной фазы.

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.003 \times 10^3 + 2.094i \times 10^3$$

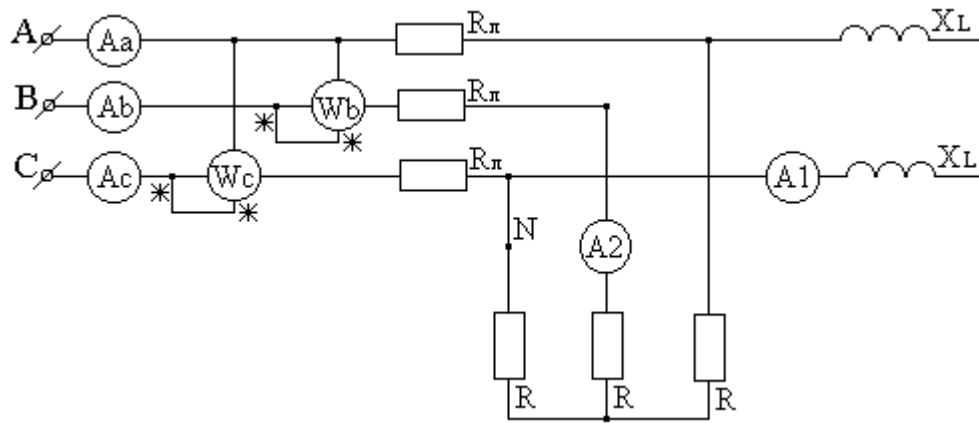
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned}
P_{Pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot R & P_{Pr} &= 2.003 \times 10^3 \\
Q_{Pr} &:= \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{Pr} &= 2.094i \times 10^3
\end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме

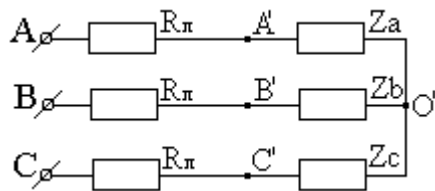


Несимметричная трёхфазная система.

С целью упрощения схемы несимметричной трёхфазной системы на нагрузку с элементами, соединенными звездой, следует заменить эквивалентным треугольником.

$$R' := R + R + \frac{R \cdot R}{R} \quad R' = 240$$

Параллельно включенные сопротивления нагрузки можно заменить эквивалентными, в результате чего образуется несимметричный треугольник. Заменяв его эквивалентной звездой, рассчитываемую цепь приводят к виду:



Несимметричная звезда.

Сопротивления несимметричного треугольника равны:

$$Z_{C'A'} := \frac{2 \cdot X_L \cdot i \cdot R'}{R' + 2 \cdot X_L \cdot i} \quad Z_{C'A'} = 11.565 + 51.398i$$

$$Z_{B'C'} := R' \quad Z_{A'B'} := R'$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 8.181 + 24.239i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 115.91 - 12.12i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 8.181 + 24.239i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 23.181 + 24.239i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 130.91 - 12.12i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 23.181 + 24.239i$$

Фазные напряжения на нагрузке в цепи удобно определять, вычислив предварительно смещение нейтрали:

$$Y_A := \frac{1}{Z_{ea}}$$

$$Y_B := \frac{1}{Z_{eb}}$$

$$Y_C := \frac{1}{Z_{ec}}$$

$$Y_A = 0.021 - 0.022i$$

$$Y_B = 7.574 \times 10^{-3} + 7.012i \times 10^{-4}$$

$$Y_C = 0.021 - 0.022i$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C}$$

$$U_{O''O} = 53.906 + 47.442i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O}$$

$$U_{AO''} = 126.094 - 47.442i$$

$$F(U_{AO''}) = (134.723 \quad -20.619)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O}$$

$$U_{BO''} = -143.906 - 203.327i$$

$$F(U_{BO''}) = (249.1 \quad -125.289)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O}$$

$$U_{CO''} = -143.906 + 108.442i$$

$$F(U_{CO''}) = (180.191 \quad 143)$$

Токи в фазах, равные фазным токам генератора и линейным токам исходной системы, определяют по закону Ома:

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}}$$

$$I_A = 1.576 - 3.695i$$

$$F(I_A) = (4.017 \quad -66.897)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}}$$

$$I_B = -0.947 - 1.641i$$

$$F(I_B) = (1.895 \quad -120)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}}$$

$$I_C = -0.629 + 5.336i$$

$$F(I_C) = (5.373 \quad 96.721)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U_{AB} = 270 + 155.885i$$

$$F(U_{AB}) = (311.769 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a$$

$$U_{AA'} = 23.642 - 55.421i$$

$$F(U_{AA'}) = (60.253 \quad -66.897)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U_{BC} = -311.769i$$

$$F(U_{BC}) = (311.769 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b$$

$$U_{BB'} = -14.211 - 24.613i$$

$$F(U_{BB'}) = (28.421 \quad -120)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$U_{CA} = -270 + 155.885i$$

$$F(U_{CA}) = (311.769 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c$$

$$U_{CC'} = -9.432 + 80.035i$$

$$F(U_{CC'}) = (80.588 \quad 96.721)$$

Для определения токов во всех ветвях рассчитываемой схемы необходимо определить напряжение между точками A', B' и C'.

Согласно второму закону Кирхгофа:

$$U_{AB} := U_{AA'} + U_{A'B'} - U_{BB'}$$

отсюда:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'}$$

$$U_{A'B'} = 232.147 + 186.692i$$

$$F(U_{A'B'}) = (297.903 \quad 38.806)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'}$$

$$U_{B'C'} = 4.779 - 207.121i$$

$$F(U_{B'C'}) = (207.176 \quad -88.678)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'}$$

$$U_{C'A'} = -236.926 + 20.429i$$

$$F(U_{C'A'}) = (237.805 \quad 175.072)$$

Ток в активной нагрузке, согласно закону Ома, равен:

$$I''_A := \frac{U_{C'A'}}{2X_L \cdot i}$$

$$I''_A = 0.378 + 4.388i$$

$$F(I''_A) = (4.404 \quad 85.072)$$

$$I''_C := -I''_A$$

$$I''_C = -0.378 - 4.388i$$

$$F(I''_C) = (4.404 \quad -94.928)$$

Токи в нагрузке, соединенной звездой в системе могут быть вычислены по первому закону Кирхгофа.

$$\begin{aligned} I_C &:= I_C + I''_C & I_C &= -1.007 + 0.948i & F(I_C) &= (1.383 \quad 136.728) \\ I_B &:= I_B & I_B &= -0.947 - 1.641i & F(I_B) &= (1.895 \quad -120) \\ I_A &:= I_A - I''_A & I_A &= 1.198 - 8.082i & F(I_A) &= (8.171 \quad -81.57) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 4.404 \text{ (A)} \quad A_2 = 1.895 \text{ (A)} \quad A_a = 4.017 \text{ (A)} \quad A_b = 1.895 \text{ (A)} \quad A_c = 5.373 \text{ (A)}$$

Расчет показаний ваттметров выполняется так же, как и в случае симметричной системы:

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -270 + 155.885i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 1.002 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -270 - 155.885i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 511.579 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 1.513 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 1.513 \times 10^3 + 1.047i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 6.51 \times 10^3 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 1.047i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

