

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 162

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

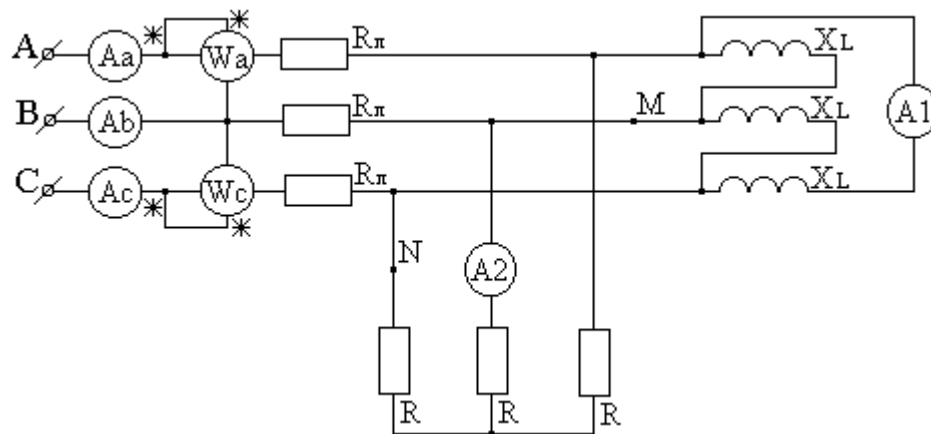
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 14.6 \quad R := 51 \quad X_L := 42$$

Обрыв проводится в точке N.



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.

Для определения токов в ветвях цепи необходимо первоначально произвести упрощение схемы, сведя её к схеме с элементами, соединенными звездой.

$$X'_L := \frac{X_L \cdot i \cdot X_L \cdot i}{3 \cdot X_L \cdot i} \quad X'_L = 14i$$

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

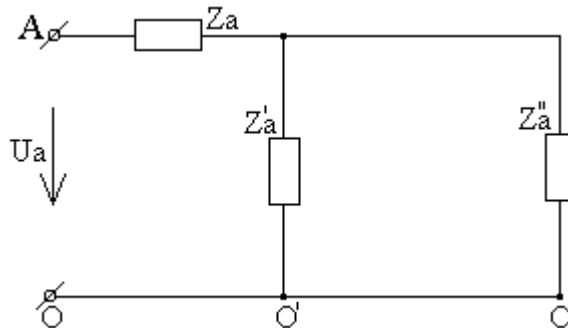
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (220 \ 0) \quad F(E_B) = (220 \ -120) \quad F(E_C) = (220 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 14.6$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 51$$

$$Z''_a := X'_L \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 14i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 18.174 + 13.019i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 8 - 5.731i \quad F(I_A) = (9.841 \ -35.616)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -8.963 - 4.063i \quad F(I_B) = (9.841 \ -155.616)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = 0.963 + 9.794i \quad F(I_C) = (9.841 \ 84.384)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 3.574 + 13.019i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 103.2 + 83.67i$$

Токи звезды равны:

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z_a} & I_A &= 2.024 + 1.641i & F(I_A) &= (2.605 \quad 39.034) \\ I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_B &= 0.409 - 2.573i & F(I_B) &= (2.605 \quad -80.966) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -2.433 + 0.932i & F(I_C) &= (2.605 \quad 159.034) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 227.261 + 36.132i \quad F(U_{A'B'}) = (230.115 \quad 9.034)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I''_A &:= \frac{U_{A'B'}}{X_L \cdot i} & I''_A &= 0.86 - 5.411i & F(I''_A) &= (5.479 \quad -80.966) \\ I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -5.116 + 1.96i & F(I''_B) &= (5.479 \quad 159.034) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 4.256 + 3.451i & F(I''_C) &= (5.479 \quad 39.034) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 5.479 \text{ (A)} \quad A_2 = 2.605 \text{ (A)} \quad A_a = 9.841 \text{ (A)} \quad A_b = 9.841 \text{ (A)} \quad A_c = 9.841 \text{ (A)}$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{AB} &= 330 + 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AB} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 1.548 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{CB} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot (30+180) \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CB} &= 381.051i \\ W_c &:= \operatorname{Re}(E_{CB} \cdot \overline{I_C}) & W_c &= 3.732 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_c \quad W = 5.28 \times 10^3$$

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.

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C}$$

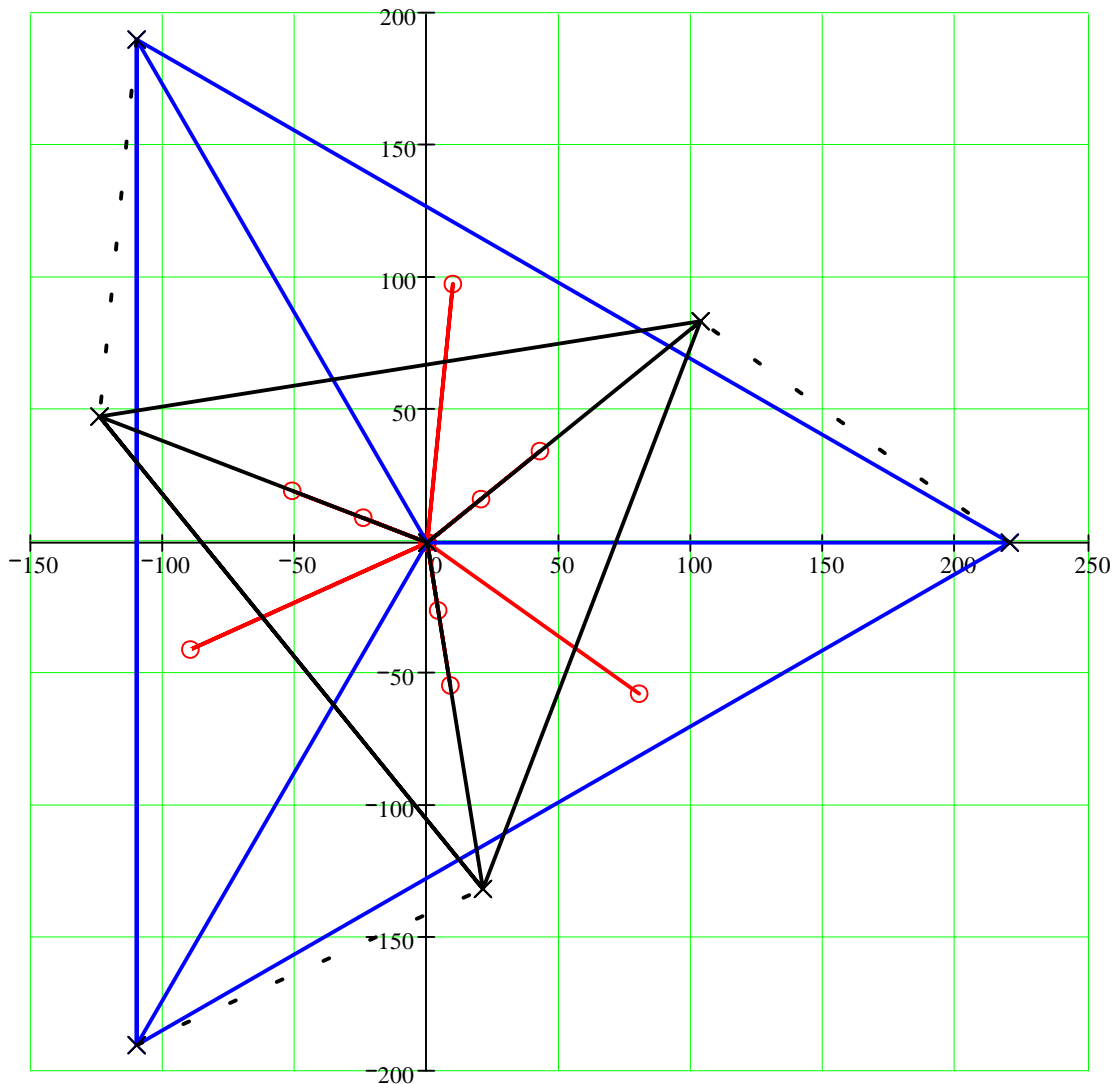
$$S_r = 5.28 \times 10^3 + 3.782i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

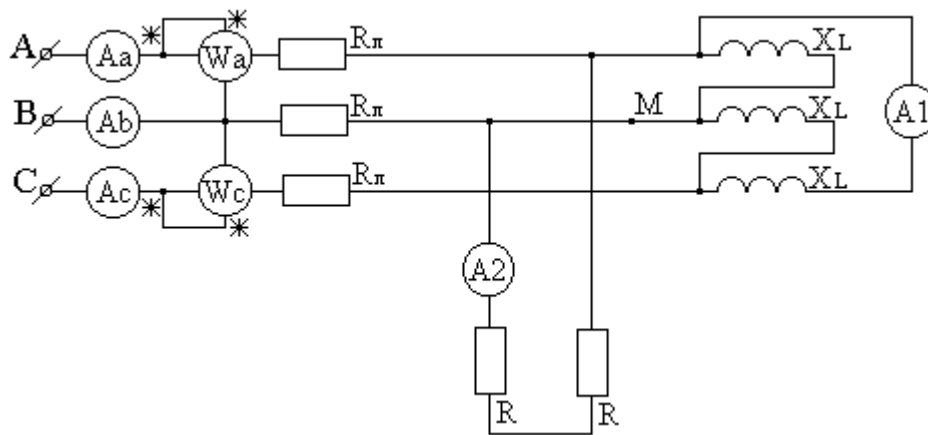
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 5.28 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 3.782i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.

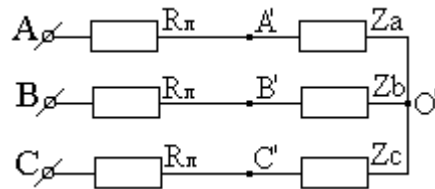


Несимметричная трёхфазная система.

$$R' := R + R$$

$$R' = 102$$

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



Несимметричная звезда.

Сопротивления несимметричного треугольника равны:

$$Z_{B'C'} := \frac{X_L \cdot i \cdot R'}{R' + X_L \cdot i}$$

$$Z_{B'C'} = 14.787 + 35.911i$$

$$Z_{A'B'} := X_L \cdot i \quad Z_{C'A'} := X_L \cdot i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}}$$

$$Z_a = -1.787 + 14.491i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}}$$

$$Z_b = 3.574 + 13.019i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}}$$

$$Z_c = 3.574 + 13.019i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a$$

$$Z_{ea} = 12.813 + 14.491i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b$$

$$Z_{eb} = 18.174 + 13.019i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c$$

$$Z_{ec} = 18.174 + 13.019i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.034 - 0.039i$$

$$Y_B = 0.036 - 0.026i$$

$$Y_C = 0.036 - 0.026i$$

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

$$U_{O''O} = 10.335 - 17.302i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$\begin{aligned} U_{AO''} &:= E_A - U_{O''O} & U_{AO''} &= 209.665 + 17.302i & F(U_{AO''}) &= (210.377 \quad 4.717) \\ U_{BO''} &:= E_B - U_{O''O} & U_{BO''} &= -120.335 - 173.224i & F(U_{BO''}) &= (210.919 \quad -124.787) \\ U_{CO''} &:= E_C - U_{O''O} & U_{CO''} &= -120.335 + 207.828i & F(U_{CO''}) &= (240.152 \quad 120.071) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} & I_A &= 7.85 - 7.528i & F(I_A) &= (10.876 \quad -43.798) \\ I_B &:= \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} & I_B &= -8.888 - 3.164i & F(I_B) &= (9.435 \quad -160.403) \\ I_C &:= \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} & I_C &= 1.038 + 10.692i & F(I_C) &= (10.742 \quad 84.455) \\ U_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & U_{AB} &= 330 + 190.526i & F(U_{AB}) &= (381.051 \quad 30) \\ U_{AA'} &:= I_A \cdot Z_a & U_{AA'} &= 114.613 - 109.903i & F(U_{AA'}) &= (158.792 \quad -43.798) \\ U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -381.051i & F(U_{BC}) &= (381.051 \quad -90) \\ U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= -129.767 - 46.2i & F(U_{BB'}) &= (137.746 \quad -160.403) \\ U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -330 + 190.526i & F(U_{CA}) &= (381.051 \quad 150) \\ U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= 15.154 + 156.103i & F(U_{CC'}) &= (156.837 \quad 84.455) \end{aligned}$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 85.619 + 254.229i \quad F(U_{A'B'}) = (268.259 \quad 71.387)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 144.921 - 178.748i \quad F(U_{B'C'}) = (230.115 \quad -50.966)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -230.541 - 75.481i \quad F(U_{C'A'}) = (242.583 \quad -161.871)$$

$$Z'_{b'c'} := Z'_b + Z'_c \quad Z'_{b'c'} = 102$$

$$Z''_{a'b'} := X_L \cdot i \quad Z''_{b'c'} := Z''_{a'b'} \quad Z''_{c'a'} := Z''_{b'c'} \quad Z''_{a'b'} = 42i$$

Ток в нагрузке $Z'_{b'c'}$, согласно закону Ома, равен:

$$\begin{aligned} I_C &:= \frac{U_{B'C'}}{Z'_{b'c'}} & I_C &= 1.421 - 1.752i & F(I_C) &= (2.256 \quad -50.966) \\ I_B &:= I_C \end{aligned}$$

Токи в нагрузке, соединенной треугольником в системе могут быть вычислены по закону Ома.

$$\begin{aligned} I''_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{Z''_{a'b'}} & I''_{A'B'} &= 6.053 - 2.039i & F(I''_{A'B'}) &= (6.387 \quad -18.613) \\ I''_{B'C'} &:= \frac{U_{B'C'}}{Z''_{b'c'}} & I''_{B'C'} &= -4.256 - 3.451i & F(I''_{B'C'}) &= (5.479 \quad -140.966) \\ I''_{C'A'} &:= \frac{U_{C'A'}}{Z''_{c'a'}} & I''_{C'A'} &= -1.797 + 5.489i & F(I''_{C'A'}) &= (5.776 \quad 108.129) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 5.776(A) \quad A_2 = 2.256(A) \quad A_a = 10.876(A) \quad A_b = 9.435(A) \quad A_c = 10.742(A)$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{AB} &= 330 + 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AB} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 1.156 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{CB} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot (30+180) - \frac{\pi}{180}} & E_{CB} &= 381.051i \\ W_c &:= \operatorname{Re}(E_{CB} \cdot \overline{I_C}) & W_c &= 4.074 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_c \quad W = 5.231 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 5.231 \times 10^3 + 4.375i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 5.231 \times 10^3 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I''_{A'B'}|)^2 + (|I''_{B'C'}|)^2 + (|I''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 4.375i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

