

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 182

Выполнил:_____

Проверил:_____

Условие задания

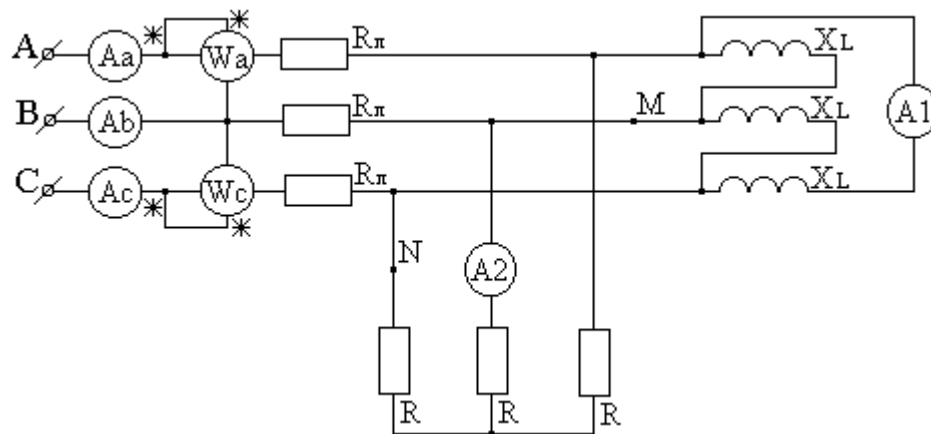
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 14.6 \quad R := 42 \quad X_L := 21$$

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.

$$X'_L := \frac{X_L \cdot i \cdot X_L \cdot i}{3 \cdot X_L \cdot i} \quad X'_L = 7i$$

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

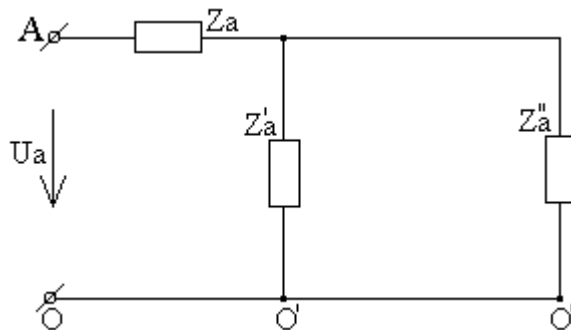
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

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

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

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 42$$

$$Z''_a := X'_L \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 7i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 15.735 + 6.811i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 11.775 - 5.097i \quad F(I_A) = (12.831 \ -23.405)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -10.302 - 7.649i \quad F(I_B) = (12.831 \ -143.405)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -1.474 + 12.746i \quad F(I_C) = (12.831 \ 96.595)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 1.135 + 6.811i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 48.08 + 74.414i$$

Токи звезды равны:

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z_a} & I_A &= 1.145 + 1.772i & F(I_A) &= (2.109 \quad 57.133) \\ I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_B &= 0.962 - 1.877i & F(I_B) &= (2.109 \quad -62.867) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -2.107 + 0.106i & F(I_C) &= (2.109 \quad 177.133) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 136.565 + 69.982i \quad F(U_{A'B'}) = (153.452 \quad 27.133)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I''_A &:= \frac{U_{A'B'}}{X_L \cdot i} & I''_A &= 3.332 - 6.503i & F(I''_A) &= (7.307 \quad -62.867) \\ I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -7.298 + 0.366i & F(I''_B) &= (7.307 \quad 177.133) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 3.966 + 6.138i & F(I''_C) &= (7.307 \quad 57.133) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 7.307 (A) \quad A_2 = 2.109 (A) \quad A_a = 12.831 (A) \quad A_b = 12.831 (A) \quad A_c = 12.831 (A)$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{AB} &= 330 + 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AB} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 2.915 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{CB} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot (30+180) \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CB} &= 381.051i \\ W_c &:= \operatorname{Re}(E_{CB} \cdot \overline{I_C}) & W_c &= 4.857 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_c \quad W = 7.772 \times 10^3$$

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.

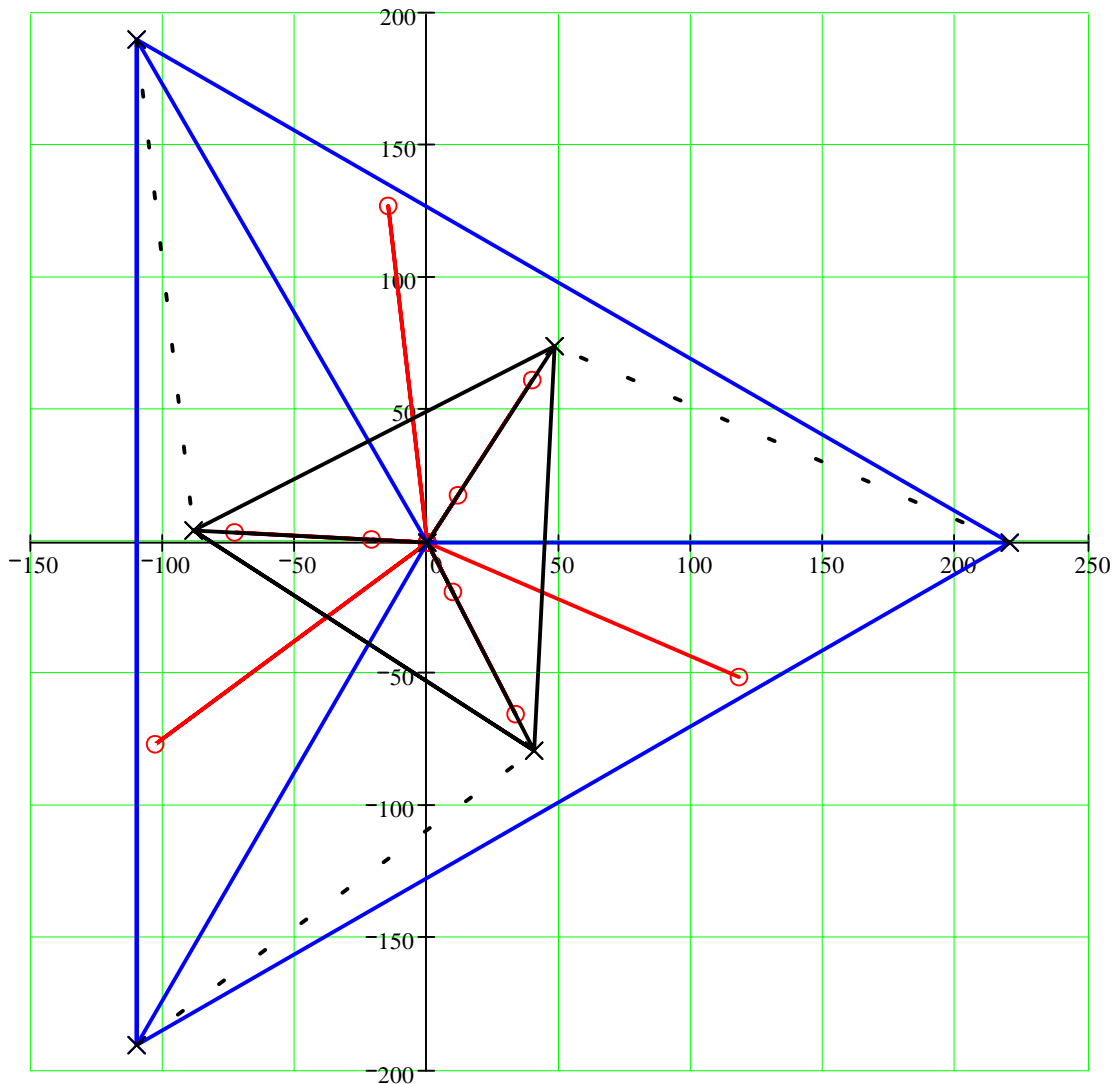
$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 7.772 \times 10^3 + 3.364i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

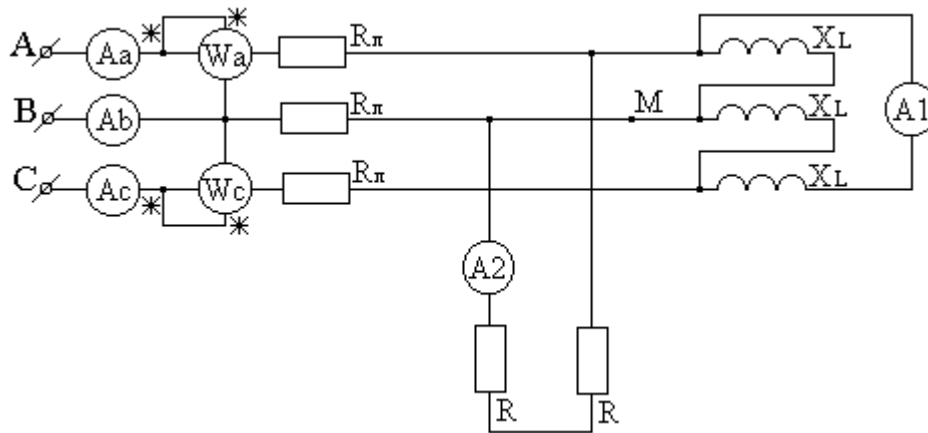
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 7.772 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 3.364i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.

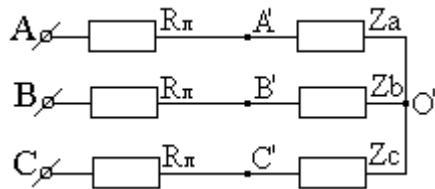


Несимметричная трёхфазная система.

$$R' := R + R$$

$$R' = 84$$

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:

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

$$Z_{B'C'} = 4.941 + 19.765i$$

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

Сопротивление эквивалентной звезды:

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

$$Z_a = -0.568 + 7.095i$$

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

$$Z_b = 1.135 + 6.811i$$

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

$$Z_c = 1.135 + 6.811i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

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

$$Z_{ea} = 14.032 + 7.095i$$

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

$$Z_{eb} = 15.735 + 6.811i$$

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

$$Z_{ec} = 15.735 + 6.811i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.057 - 0.029i$$

$$Y_B = 0.054 - 0.023i$$

$$Y_C = 0.054 - 0.023i$$

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

$$U_{O''O} = 6.398 - 4.493i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$\begin{aligned} U_{AO''} &:= E_A - U_{O''O} & U_{AO''} &= 213.602 + 4.493i & F(U_{AO''}) &= (213.649 \quad 1.205) \\ U_{BO''} &:= E_B - U_{O''O} & U_{BO''} &= -116.398 - 186.033i & F(U_{BO''}) &= (219.446 \quad -122.034) \\ U_{CO''} &:= E_C - U_{O''O} & U_{CO''} &= -116.398 + 195.019i & F(U_{CO''}) &= (227.114 \quad 120.831) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} & I_A &= 12.252 - 5.874i & F(I_A) &= (13.587 \quad -25.615) \\ I_B &:= \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} & I_B &= -10.54 - 7.261i & F(I_B) &= (12.799 \quad -145.439) \\ I_C &:= \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} & I_C &= -1.712 + 13.135i & F(I_C) &= (13.246 \quad 97.426) \\ U_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & U_{AB} &= 330 + 190.526i & F(U_{AB}) &= (381.051 \quad 30) \\ U_{AA'} &:= I_A \cdot Z_a & U_{AA'} &= 178.88 - 85.764i & F(U_{AA'}) &= (198.377 \quad -25.615) \\ U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -381.051i & F(U_{BC}) &= (381.051 \quad -90) \\ U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= -153.884 - 106.005i & F(U_{BB'}) &= (186.862 \quad -145.439) \\ U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -330 + 190.526i & F(U_{CA}) &= (381.051 \quad 150) \\ U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= -24.996 + 191.769i & F(U_{CC'}) &= (193.391 \quad 97.426) \end{aligned}$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = -2.764 + 170.285i \quad F(U_{A'B'}) = (170.308 \quad 90.93)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 128.889 - 83.277i \quad F(U_{B'C'}) = (153.452 \quad -32.867)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -126.124 - 87.008i \quad F(U_{C'A'}) = (153.224 \quad -145.4)$$

$$Z'_{b'c'} := Z'_b + Z'_c \quad Z'_{b'c'} = 84$$

$$Z''_{a'b'} := X_L \cdot i \quad Z''_{b'c'} := Z''_{a'b'} \quad Z''_{c'a'} := Z''_{b'c'} \quad Z''_{a'b'} = 21i$$

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

$$\begin{aligned} I_C &:= \frac{U_{B'C'}}{Z'_{b'c'}} & I_C &= 1.534 - 0.991i & F(I_C) &= (1.827 \quad -32.867) \\ I_B &:= I_C \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I''_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{Z''_{a'b'}} & I''_{A'B'} &= 8.109 + 0.132i & F(I''_{A'B'}) &= (8.11 \quad 0.93) \\ I''_{B'C'} &:= \frac{U_{B'C'}}{Z''_{b'c'}} & I''_{B'C'} &= -3.966 - 6.138i & F(I''_{B'C'}) &= (7.307 \quad -122.867) \\ I''_{C'A'} &:= \frac{U_{C'A'}}{Z''_{c'a'}} & I''_{C'A'} &= -4.143 + 6.006i & F(I''_{C'A'}) &= (7.296 \quad 124.6) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 7.296 (A) \quad A_2 = 1.827 (A) \quad A_a = 13.587 (A) \quad A_b = 12.799 (A) \quad A_c = 13.246 (A)$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{AB} &= 330 + 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AB} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 2.924 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{CB} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot (30+180) - \frac{\pi}{180}} & E_{CB} &= 381.051i \\ W_c &:= \operatorname{Re}(E_{CB} \cdot \overline{I_C}) & W_c &= 5.005 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_c \quad W = 7.929 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 7.929 \times 10^3 + 3.62i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 7.929 \times 10^3 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I''_{A'B'}|)^2 + (|I''_{B'C'}|)^2 + (|I''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 3.62i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

