

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 395

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

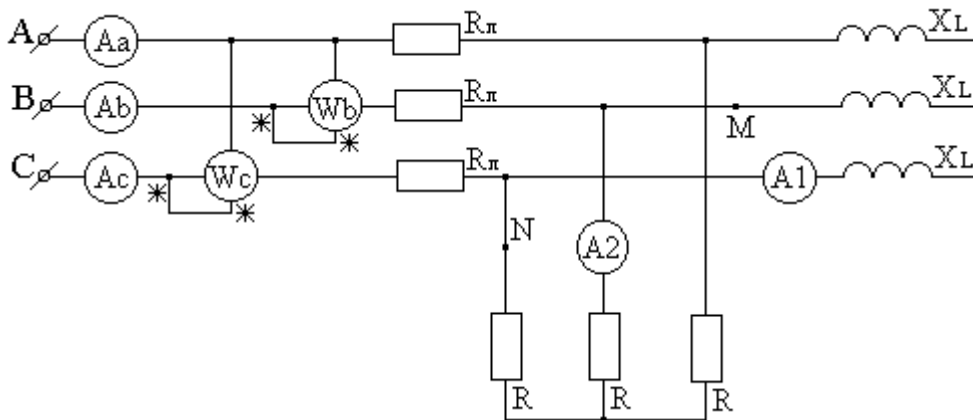
Симметричны трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 200 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 10 \quad R := 63 \quad X_L := 36$$

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.

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

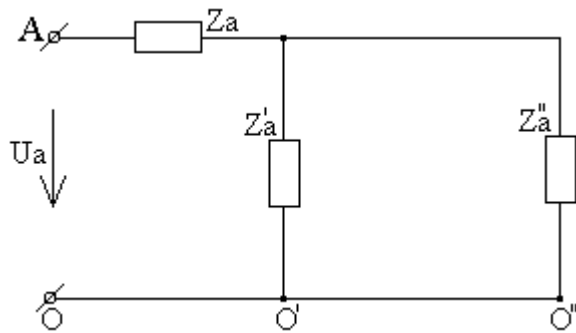
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (200 \ 0) \quad F(E_B) = (200 \ -120) \quad F(E_C) = (200 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 10$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 63$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 36i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 25.508 + 27.138i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 3.678 - 3.913i \quad F(I_A) = (5.37 \ -46.774)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -5.228 - 1.229i \quad F(I_B) = (5.37 \ -166.774)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = 1.55 + 5.141i \quad F(I_C) = (5.37 \ 73.226)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 15.508 + 27.138i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 163.223 + 39.129i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 2.591 + 0.621i \quad F(I'_A) = (2.664 \ 13.481)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -0.758 - 2.554i \quad F(I'_B) = (2.664 \ -106.519)$$

$$\begin{aligned} I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.833 + 1.933i & F(I_C) &= (2.664 \quad 133.481) \\ I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z_a} & I_A &= 1.087 - 4.534i & F(I_A) &= (4.662 \quad -76.519) \\ I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_B &= -4.47 + 1.326i & F(I_B) &= (4.662 \quad 163.481) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= 3.383 + 3.208i & F(I_C) &= (4.662 \quad 43.481) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 4.662 \quad A_2 = 2.664 \quad A_a = 5.37 \quad A_b = 5.37 \quad A_c = 5.37$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -300 + 173.205i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 425.594 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -300 - 173.205i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 1.781 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.207 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

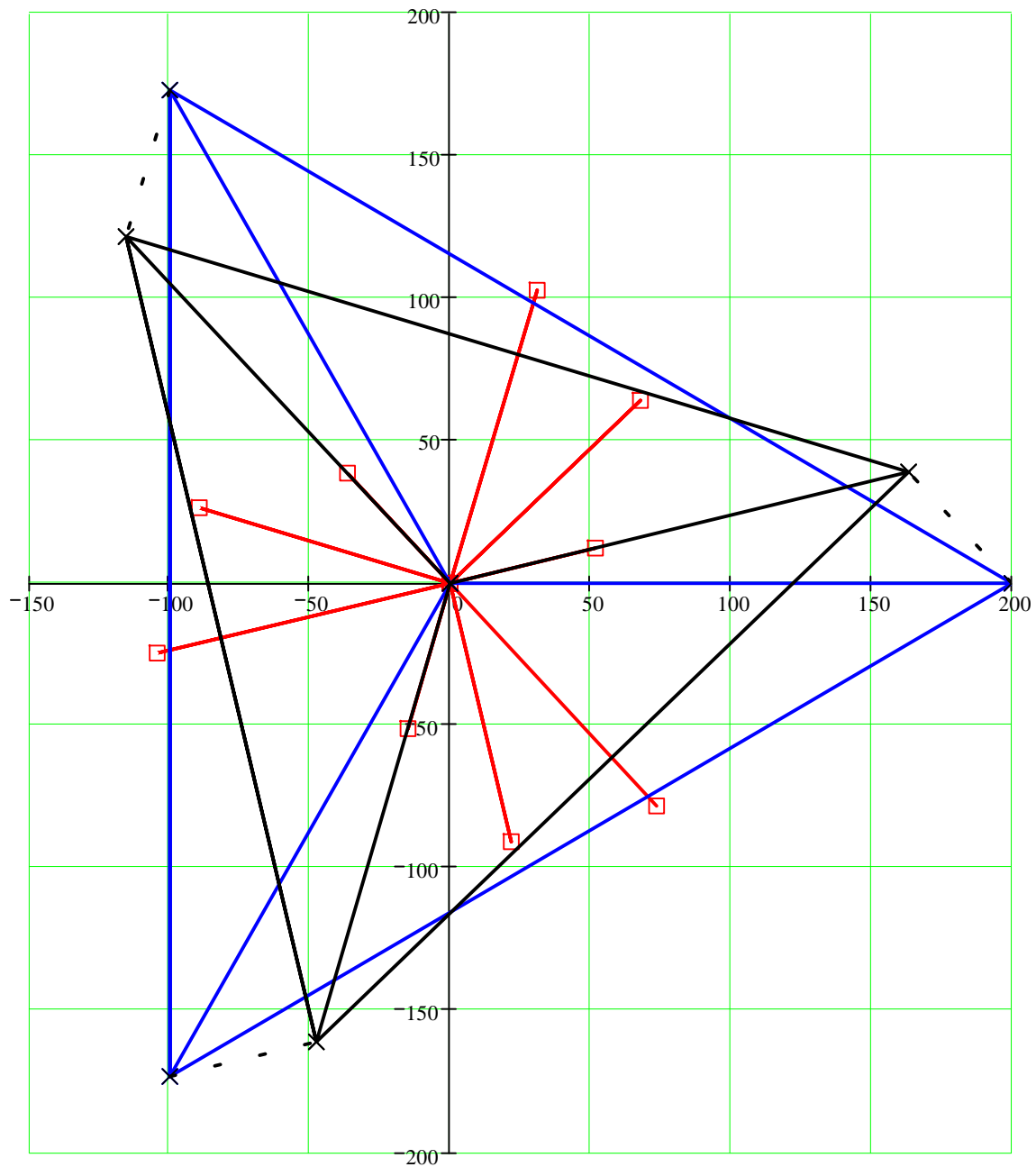
Правильность расчетов проверим, составив баланс активных и реактивных мощностей. Мощность источника энергии определяют в виде суммы произведений комплексов фазных ЭДС (напряжений) на сопряженные комплексы токов соответствующих фаз. В симметричной трёхфазной системе мощность, отдаваемая в нагрузку источником,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

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.207 \times 10^3 + 2.348i \times 10^3$$

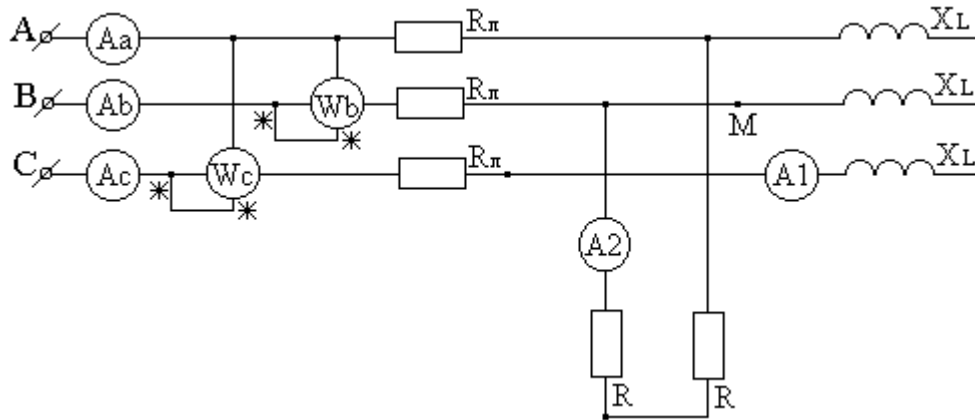
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 2.207 \times 10^3 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 2.348i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме

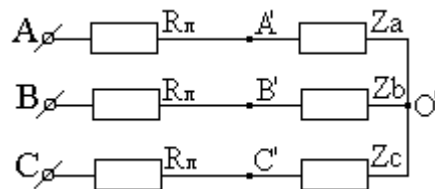


Несимметричная трёхфазная система.

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

$$X'_L := X_L \cdot i + X_L \cdot i + \frac{X_L \cdot i \cdot X_L \cdot i}{X_L \cdot i} \quad X'_L = 108i$$

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:

$$Z_{A'B'} := \frac{2 \cdot R \cdot X'_L}{2R + X'_L} \quad Z_{A'B'} = 53.365 + 62.259i$$

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

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 15.508 + 27.138i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 15.508 + 27.138i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = -7.754 + 40.431i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 25.508 + 27.138i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 25.508 + 27.138i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 2.246 + 40.431i$$

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

$$Y_A := \frac{1}{Z_{ea}} \quad Y_B := \frac{1}{Z_{eb}} \quad Y_C := \frac{1}{Z_{ec}}$$

$$Y_A = 0.018 - 0.02i \quad Y_B = 0.018 - 0.02i \quad Y_C = 1.37 \times 10^{-3} - 0.025i$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 46.002 + 12.999i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 153.998 - 12.999i \quad F(U_{AO''}) = (154.545 \quad -4.825)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -146.002 - 186.204i \quad F(U_{BO''}) = (236.62 \quad -128.1)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -146.002 + 160.206i \quad F(U_{CO''}) = (216.755 \quad 132.344)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 2.577 - 3.252i \quad F(I_A) = (4.149 \quad -51.599)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -6.328 - 0.568i \quad F(I_B) = (6.353 \quad -174.874)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = 3.75 + 3.82i \quad F(I_C) = (5.353 \quad 45.524)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{AB} = 300 + 173.205i \quad F(U_{AB}) = (346.41 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 25.775 - 32.519i \quad F(U_{AA'}) = (41.495 \quad -51.599)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{BC} = -346.41i \quad F(U_{BC}) = (346.41 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -63.278 - 5.676i \quad F(U_{BB'}) = (63.532 \quad -174.874)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{CA} = -300 + 173.205i \quad F(U_{CA}) = (346.41 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = 37.503 + 38.195i \quad F(U_{CC'}) = (53.529 \quad 45.524)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 210.947 + 200.048i \quad F(U_{A'B'}) = (290.72 \quad 43.481)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 100.78 - 302.539i \quad F(U_{B'C'}) = (318.883 \quad -71.576)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -311.728 + 102.491i \quad F(U_{C'A'}) = (328.144 \quad 161.8)$$

$$Z'_{a'b'} := Z'_a + Z'_b \quad Z'_{a'b'} = 126$$

Ток в активной нагрузке, согласно закону Ома, равен:

$$\Gamma_A := \frac{U_{A'B'}}{Z_{a'b'}} \quad \Gamma_A = 1.674 + 1.588i \quad F(\Gamma_A) = (2.307 \quad 43.481)$$

$$\Gamma_B := -\Gamma_A \quad \Gamma_B = -1.674 - 1.588i \quad F(\Gamma_B) = (2.307 \quad -136.519)$$

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

$$\Gamma_C := I_C \quad \Gamma_C = 3.75 + 3.82i \quad F(\Gamma_C) = (5.353 \quad 45.524)$$

$$\Gamma_A'' := I_A - \Gamma_A \quad \Gamma_A'' = 0.903 - 4.84i \quad F(\Gamma_A'') = (4.923 \quad -79.427)$$

$$\Gamma_B'' := I_B - \Gamma_B \quad \Gamma_B'' = -4.654 + 1.02i \quad F(\Gamma_B'') = (4.764 \quad 167.636)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 5.353 \quad A_2 = 2.307 \quad A_a = 4.149 \quad A_b = 6.353 \quad A_c = 5.353$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$E_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad E_{CA} = -300 + 173.205i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = -463.522$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BA} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad E_{BA} = -300 - 173.205i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.997 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 1.533 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 1.533 \times 10^3 + 2.721i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 1.533 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) \quad Q_{pr} = 2.721i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

