

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 226

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

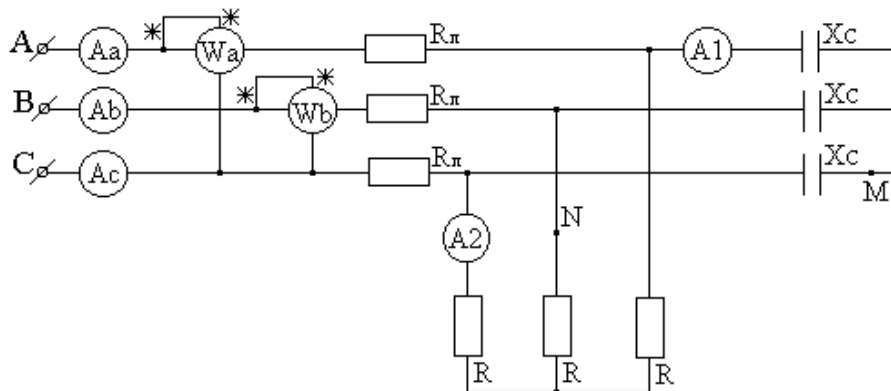
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 110 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 18 \quad R := 72 \quad X_C := 63$$

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:

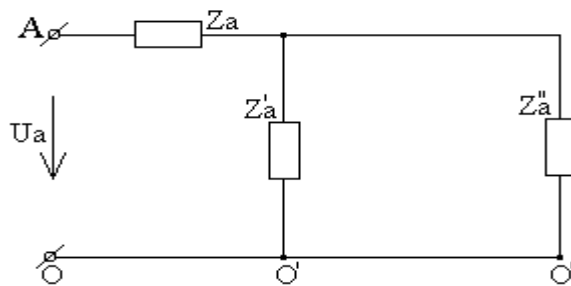
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i \cdot (\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i \cdot (\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (110 \ 0) \quad F(E_B) = (110 \ -120) \quad F(E_C) = (110 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 18$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 72$$

$$Z''_a := -X_C \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = -63i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 49.221 - 35.681i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 1.465 + 1.062i \quad F(I_A) = (1.809 \ 35.939)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = 0.187 - 1.8i \quad F(I_B) = (1.809 \ -84.061)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -1.652 + 0.738i \quad F(I_C) = (1.809 \ 155.939)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 31.221 - 35.681i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 83.631 - 19.116i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 1.162 - 0.265i \quad F(I'_A) = (1.191 \ -12.875)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -0.811 - 0.873i \quad F(I'_B) = (1.191 \ -132.875)$$

$$I'_C := I'_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_C = -0.351 + 1.139i \quad F(I'_C) = (1.191 \ 107.125)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_A &:= \frac{U_{AO}}{Z_a} & \Gamma_A &= 0.303 + 1.327i & F(\Gamma_A) &= (1.362 \quad 77.125) \\ \Gamma_B &:= \Gamma_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & \Gamma_B &= 0.998 - 0.927i & F(\Gamma_B) &= (1.362 \quad -42.875) \\ \Gamma_C &:= \Gamma_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & \Gamma_C &= -1.301 - 0.401i & F(\Gamma_C) &= (1.362 \quad -162.875) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 1.191 \text{ (A)} \quad A_2 = 1.362 \text{ (A)} \quad A_a = 1.809 \text{ (A)} \quad A_b = 1.809 \text{ (A)} \quad A_c = 1.809 \text{ (A)}$$

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 :

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 165 - 95.263i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 140.551$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{BC} = 165 - 95.263i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 342.885$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 483.437$$

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.

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 483.437 - 350.453i$$

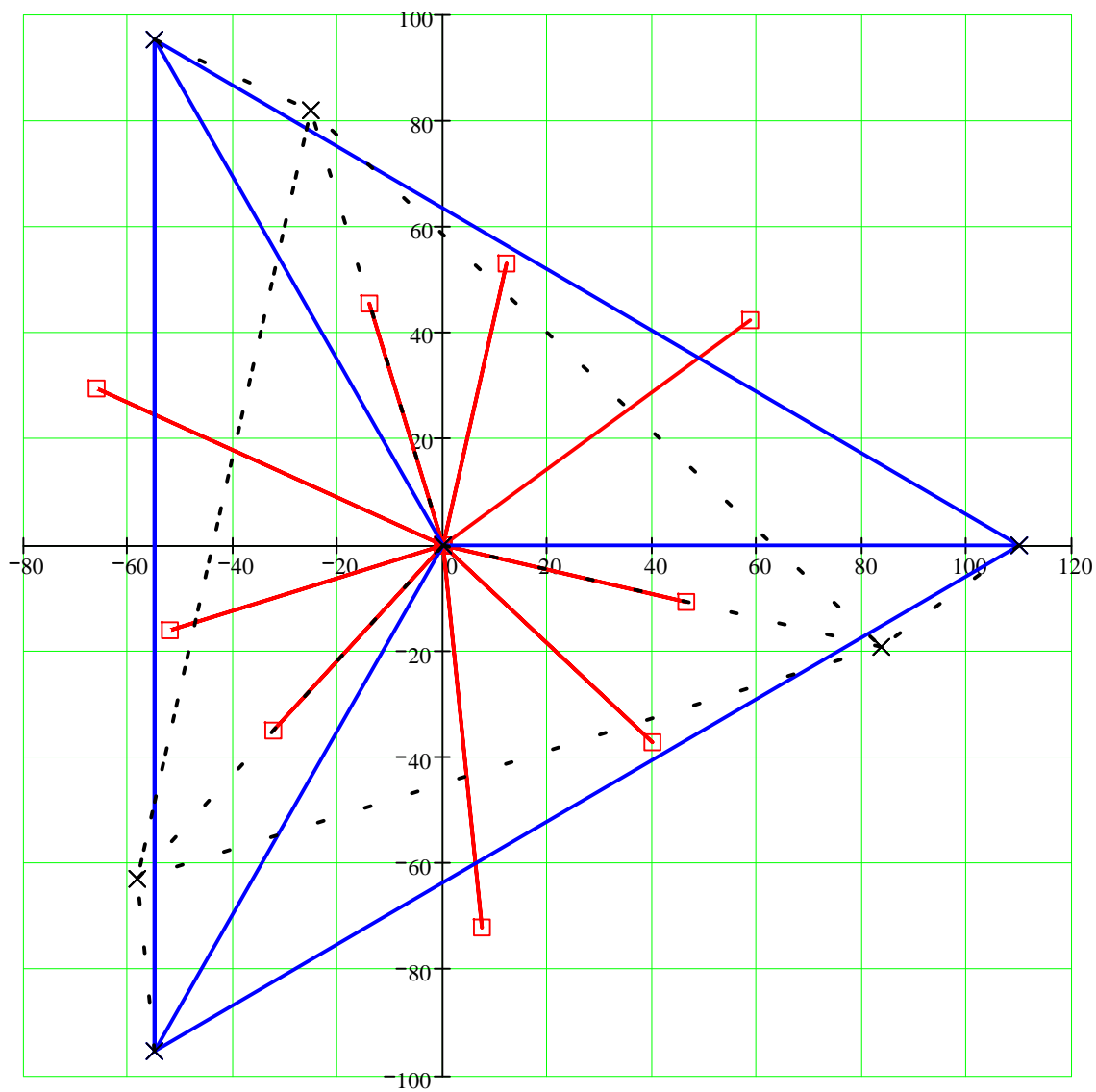
Определим мощность, потребляемую приёмником:

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

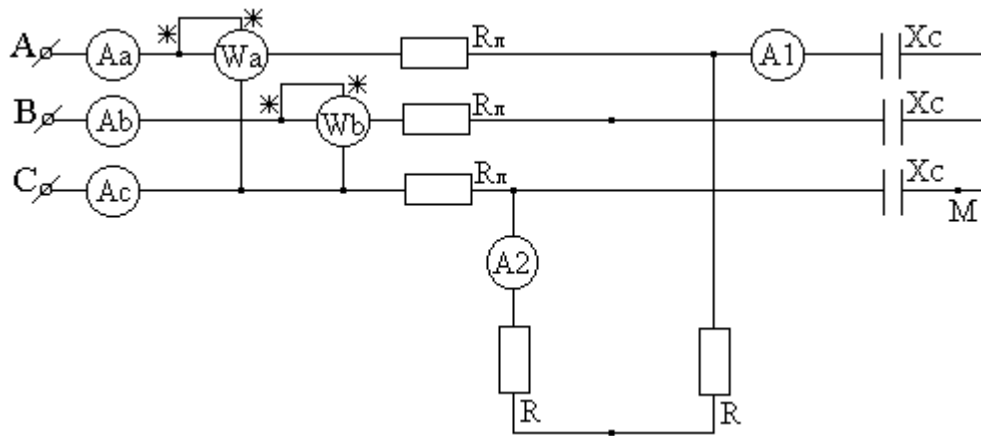
$$P_{pr} = 483.437$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -350.453i$$

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.

$$X'_C := X_C + X_C + \frac{X_C \cdot X_C}{X_C} \quad X'_C = 189$$

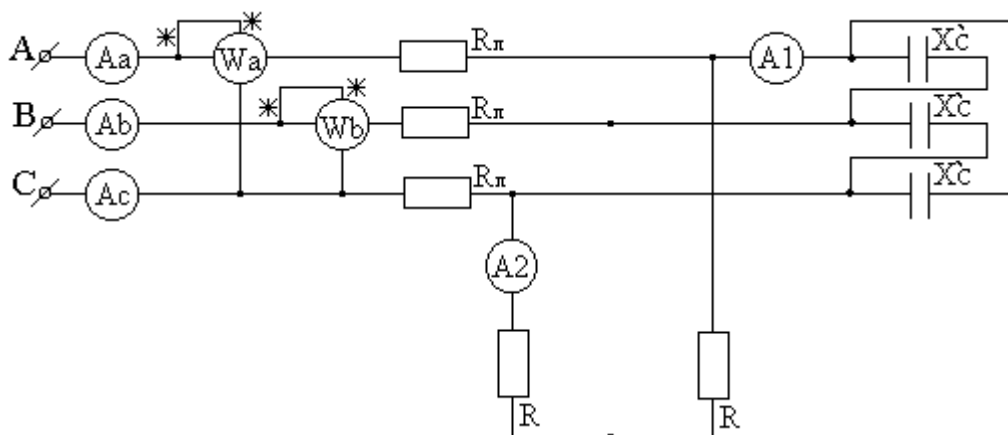
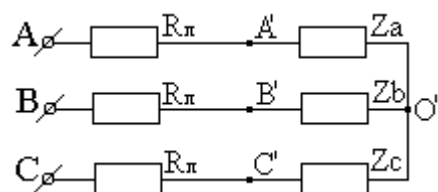


Схема преобразованной цепи.

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:

$$Z_{C'A'} := \frac{-X'_C \cdot i \cdot 2 \cdot R}{2 \cdot R - X'_C \cdot i} \quad Z_{C'A'} = 91.11 - 69.418i$$

$$Z_{A'B'} := -X'_C \cdot i \quad Z_{B'C'} := -X'_C \cdot i$$

Соппротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 31.221 - 35.681i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = -15.611 - 76.659i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 31.221 - 35.681i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 49.221 - 35.681i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 2.389 - 76.659i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 49.221 - 35.681i$$

Фазные напряжения на нагрузке в цепи удобно определять, вычислив предварительно смещение нейтрали (О - потенциал узла генератора, который на схеме на показан):

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

$$Y_A = 0.013 + 9.654i \times 10^{-3} \quad Y_B = 4.062 \times 10^{-4} + 0.013i \quad Y_C = 0.013 + 9.654i \times 10^{-3}$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 34.704 - 2.889i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 75.296 + 2.889i \quad F(U_{AO''}) = (75.351 \quad 2.198)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -89.704 - 92.373i \quad F(U_{BO''}) = (128.762 \quad -134.16)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -89.704 + 98.152i \quad F(U_{CO''}) = (132.969 \quad 132.425)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 0.975 + 0.765i \quad F(I_A) = (1.239 \quad 38.137)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = 1.167 - 1.207i \quad F(I_B) = (1.679 \quad -45.945)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -2.142 + 0.441i \quad F(I_C) = (2.187 \quad 168.364)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{AB} = 165 + 95.263i \quad F(U_{AB}) = (190.526 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 17.548 + 13.777i \quad F(U_{AA'}) = (22.31 \quad 38.137)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{BC} = -190.526i \quad F(U_{BC}) = (190.526 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = 21.013 - 21.718i \quad F(U_{BB'}) = (30.219 \quad -45.945)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{CA} = -165 + 95.263i \quad F(U_{CA}) = (190.526 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = -38.561 + 7.941i \quad F(U_{CC'}) = (39.37 \quad 168.364)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 168.465 + 59.767i \quad F(U_{A'B'}) = (178.753 \quad 19.533)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = -59.573 - 160.867i \quad F(U_{B'C'}) = (171.544 \quad -110.321)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -108.891 + 101.1i \quad F(U_{C'A'}) = (148.588 \quad 137.125)$$

Ток в нагрузке Z'a'b', согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{U_{C'A'}}{2R} \quad I_A = -0.756 + 0.702i \quad F(I_A) = (1.032 \quad 137.125)$$

$$I_C := I_A$$

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

$$I''_A := I_A + I_A \quad I''_A = 0.219 + 1.467i \quad F(I''_A) = (1.484 \quad 81.524)$$

$$I''_B := I_B \quad I''_B = 1.167 - 1.207i \quad F(I''_B) = (1.679 \quad -45.945)$$

$$I''_C := I_C - I_C \quad I''_C = -1.386 - 0.261i \quad F(I''_C) = (1.41 \quad -169.338)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 1.032 (A) \quad A_2 = 1.484 (A) \quad A_a = 1.239 (A) \quad A_b = 1.679 (A) \quad A_c = 2.187 (A)$$

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

Показание ваттметра Wa:

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 165 - 95.263i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 87.94$$

Показание ваттметра Wb:

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 165 - 95.263i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 229.879$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 317.819$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 317.819 - 441.578i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := [(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2] \cdot R_L + [(|I'_A|)^2 + (|I'_C|)^2] \cdot R \quad P_{pr} = 317.819$$

$$Q_{pr} := [(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -441.578i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

