

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 142

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

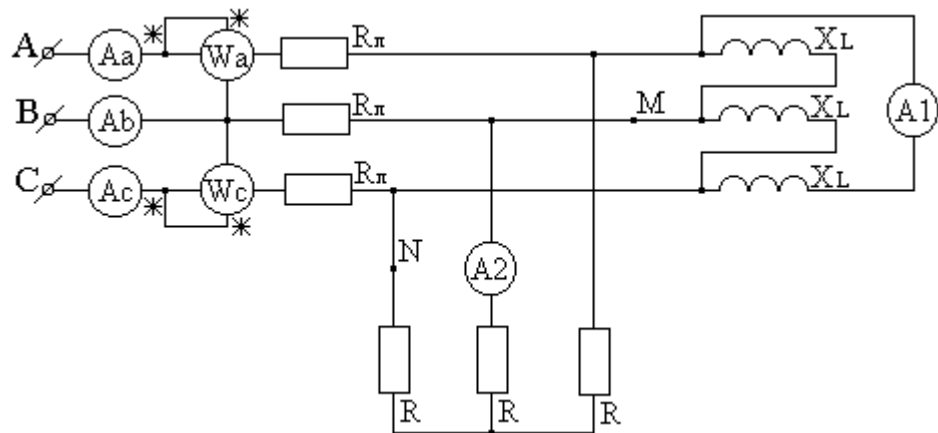
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 45 \quad R_L := 14.6 \quad R := 57 \quad X_L := 24$$

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.

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

$$X'_L := \frac{X_L \cdot i \cdot X_L \cdot i}{3 \cdot X_L \cdot i} \quad X'_L = 8i$$

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

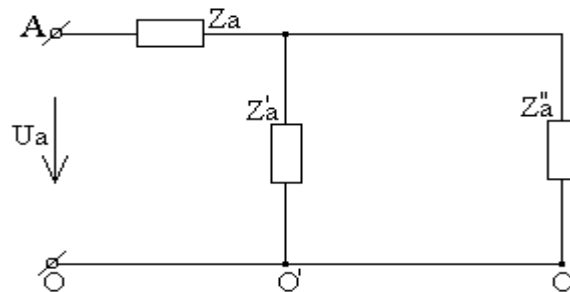
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (220 \ 45) \quad F(E_B) = (220 \ -75) \quad F(E_C) = (220 \ 165)$$

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

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 57$$

$$Z''_a := X'_L \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 8i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 15.701 + 7.845i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 11.89 + 3.967i \quad F(I_A) = (12.534 \ 18.45)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.51 - 12.28i \quad F(I_B) = (12.534 \ -101.55)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -9.38 + 8.314i \quad F(I_C) = (12.534 \ 138.45)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 1.101 + 7.845i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = -18.029 + 97.649i$$

Токи звезды равны:

$$I_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I_A = -0.316 + 1.713i \quad F(I_A) = (1.742 \ 100.461)$$

$$\begin{aligned} I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_B &= 1.642 - 0.583i & F(I_B) &= (1.742 \quad -19.539) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.325 - 1.13i & F(I_C) &= (1.742 \quad -139.539) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 57.524 + 162.087i \quad F(U_{A'B'}) = (171.992 \quad 70.461)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I''_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{X_L \cdot i} & I''_{A'B'} &= 6.754 - 2.397i & F(I''_{A'B'}) &= (7.166 \quad -19.539) \\ I''_{B'C'} &:= I''_{A'B'} \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_{B'C'} &= -5.453 - 4.65i & F(I''_{B'C'}) &= (7.166 \quad -139.539) \\ I''_{C'A'} &:= I''_{A'B'} \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_{C'A'} &= -1.301 + 7.047i & F(I''_{C'A'}) &= (7.166 \quad 100.461) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 7.166(A) \quad A_2 = 1.742(A) \quad A_a = 12.534(A) \quad A_b = 12.534(A) \quad A_c = 12.534(A)$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{AB} &= 98.623 + 368.067i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AB} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 2.633 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{CB} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot (30+180) \frac{\pi}{180}} & E_{CB} &= -269.444 + 269.444i \\ W_c &:= \operatorname{Re}(E_{CB} \cdot \overline{I_C}) & W_c &= 4.767 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_c \quad W = 7.4 \times 10^3$$

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.

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

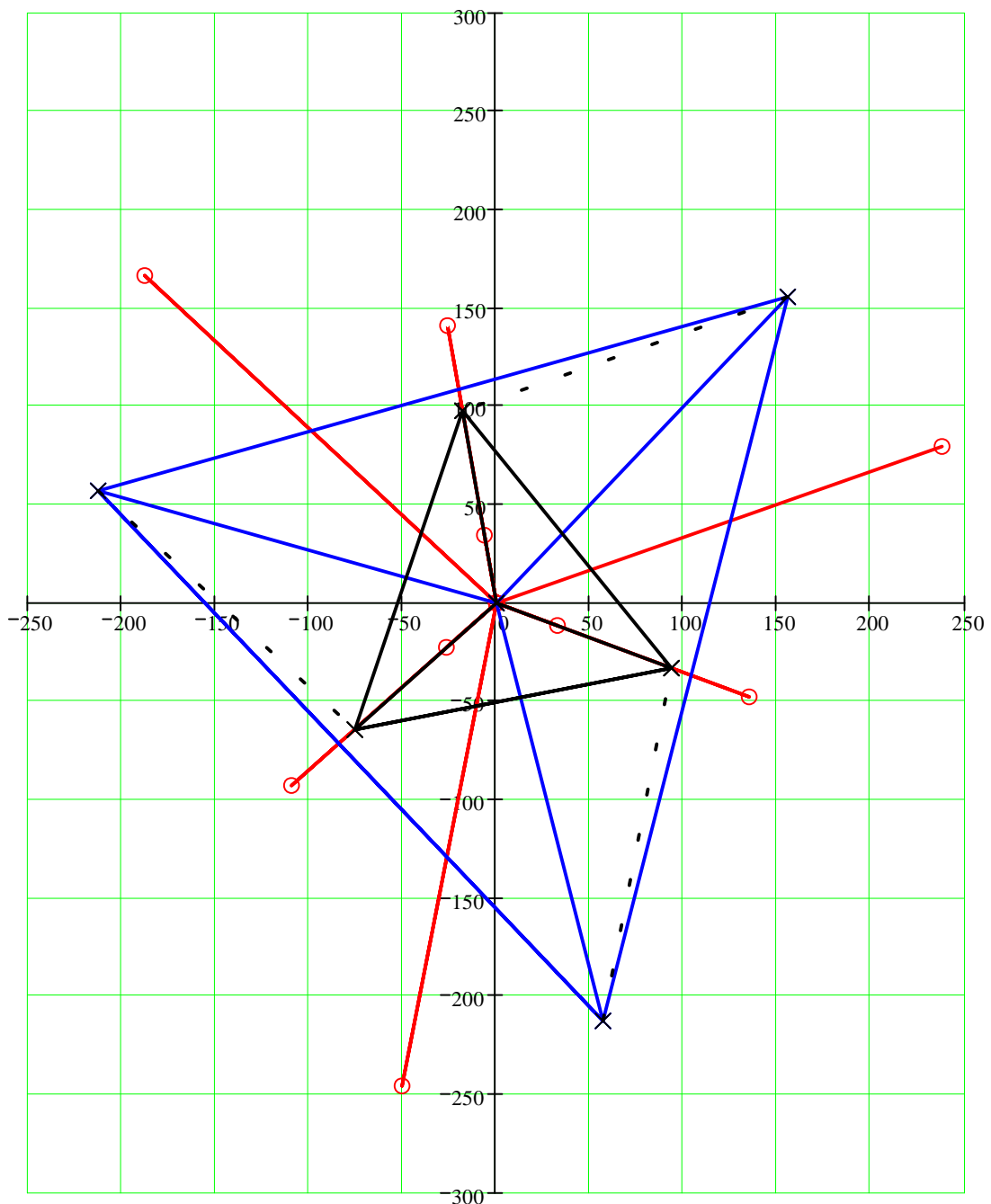
$$S_r = 7.4 \times 10^3 + 3.698i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

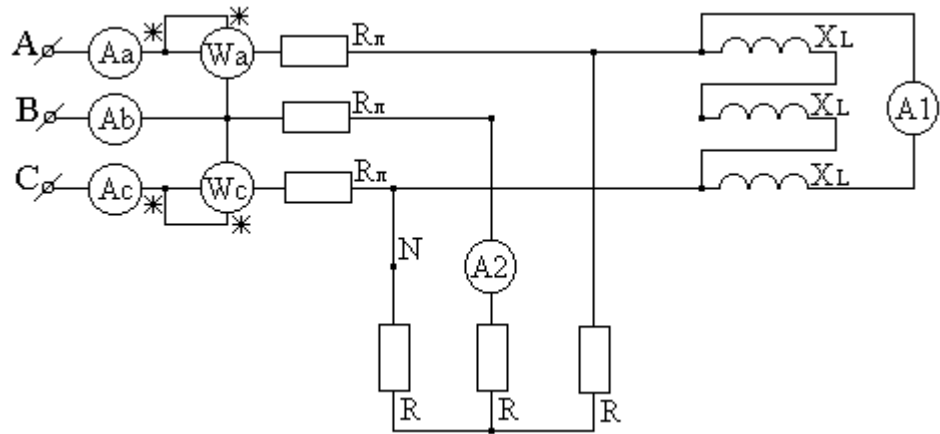
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 7.4 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_{A'B'}|)^2 + (|I''_{B'C'}|)^2 + (|I''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 3.698i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



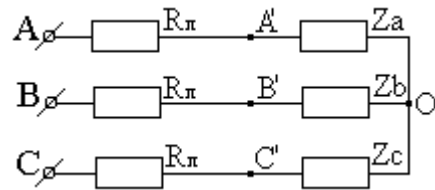
Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.



Несимметричная трёхфазная система.

$$R' := R + R + \frac{R \cdot R}{R} \quad R' = 171 \quad X' := \frac{2X_L \cdot i \cdot X_L \cdot i}{3X_L \cdot i} \quad X' = 16i$$

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:

$$Z_{C'A'} := \frac{X' \cdot R'}{R' + X'} \quad Z_{C'A'} = 1.484 + 15.861i$$

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

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 1.101 + 7.845i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 84.949 - 3.923i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 1.101 + 7.845i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 15.701 + 7.845i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 99.549 - 3.923i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 15.701 + 7.845i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.051 - 0.025i$$

$$Y_B = 0.01 + 3.952i \times 10^{-4}$$

$$Y_C = 0.051 - 0.025i$$

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

$$U_{O''O} = -10.585 + 86.072i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 166.148 + 69.492i \quad F(U_{AO''}) = (180.095 \quad 22.697)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = 67.525 - 298.575i \quad F(U_{BO''}) = (306.116 \quad -77.257)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -201.919 - 29.131i \quad F(U_{CO''}) = (204.01 \quad -171.79)$$

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

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

$$I_A = 10.237 - 0.689i$$

$$F(I_A) = (10.261 \quad -3.853)$$

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

$$I_B = 0.795 - 2.968i$$

$$F(I_B) = (3.073 \quad -75)$$

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

$$I_C = -11.033 + 3.657i$$

$$F(I_C) = (11.623 \quad 161.659)$$

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

$$U_{AB} = 98.623 + 368.067i$$

$$F(U_{AB}) = (381.051 \quad 75)$$

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

$$U_{AA'} = 149.466 - 10.066i$$

$$F(U_{AA'}) = (149.805 \quad -3.853)$$

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

$$U_{BC} = 269.444 - 269.444i$$

$$F(U_{BC}) = (381.051 \quad -45)$$

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

$$U_{BB'} = 11.611 - 43.332i$$

$$F(U_{BB'}) = (44.86 \quad -75)$$

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

$$U_{CA} = -368.067 - 98.623i$$

$$F(U_{CA}) = (381.051 \quad -165)$$

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

$$U_{CC'} = -161.077 + 53.398i$$

$$F(U_{CC'}) = (169.697 \quad 161.659)$$

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:

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

$$U_{A'B'} = -39.232 + 334.801i$$

$$F(U_{A'B'}) = (337.092 \quad 96.683)$$

аналогично вычисляют

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

$$U_{B'C'} = 96.756 - 172.714i$$

$$F(U_{B'C'}) = (197.97 \quad -60.742)$$

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

$$U_{C'A'} = -57.524 - 162.087i$$

$$F(U_{C'A'}) = (171.992 \quad -109.539)$$

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

$$I''_{B'C'} := I''_{A'B'}$$

$$I''_{A'B'} = -3.377 + 1.198i$$

$$F(I''_{A'B'}) = (3.583 \quad 160.461)$$

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

$$I''_{C'A'} = -6.754 + 2.397i$$

$$F(I''_{C'A'}) = (7.166 \quad 160.461)$$

$$I'_B := I_B$$

$$I_B = 0.795 - 2.968i$$

$$F(I'_B) = (3.073 \quad -75)$$

$$I'_A := \frac{1}{R} \cdot (I'_B \cdot R + U_{A'B'})$$

$$I'_A = 0.107 + 2.906i$$

$$F(I'_A) = (2.908 \quad 87.892)$$

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

$$I'_C = -0.902 + 0.062i$$

$$F(I'_C) = (0.904 \quad 176.06)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 3.583 \text{ (A)} \quad A_2 = 3.073 \text{ (A)} \quad A_a = 10.261 \text{ (A)} \quad A_b = 3.073 \text{ (A)} \quad A_c = 11.623 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$E_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{CA} = -368.067 - 98.623i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = 3.7 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BA} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{BA} = -98.623 - 368.067i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.014 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 4.714 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 4.714 \times 10^3 + 1.849i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.714 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_{A'B'}|)^2 + (|I''_{B'C'}|)^2 + (|I''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) \quad Q_{pr} = 1.849i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

