

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 391

Выполнил: _____

Проверил: _____

Киев 2006

Условие задания

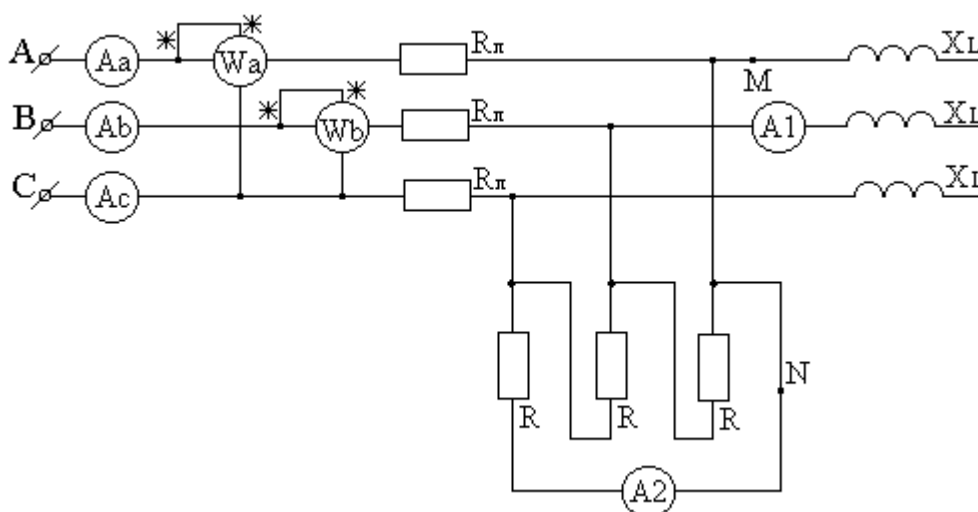
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

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

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:

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

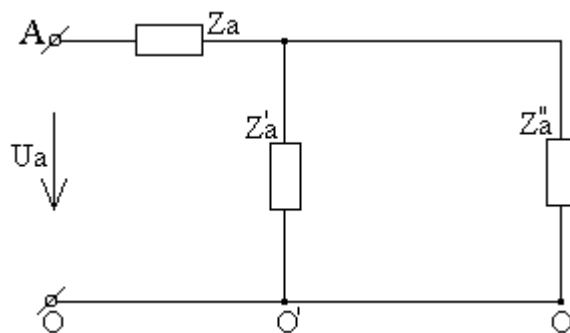
$$F(E_A) = (200 \ 0) \quad F(E_B) = (200 \ -120) \quad F(E_C) = (200 \ 120)$$

$$R' := \frac{R^2}{3R} \quad R' = 21$$

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

$$Z'_a := R' \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 21$$

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



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 25.668 + 9.14i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 6.915 - 2.462i \quad F(I_A) = (7.34 \ -19.6)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -5.59 - 4.757i \quad F(I_B) = (7.34 \ -139.6)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -1.325 + 7.22i \quad F(I_C) = (7.34 \ 100.4)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 15.668 + 9.14i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 130.851 + 24.622i$$

Остальные токи равны:

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.684 - 3.635i \quad F(I''_A) = (3.699 \ -79.343)$$

$$\begin{aligned} I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -3.49 + 1.225i & F(I''_B) &= (3.699 \quad 160.657) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 2.806 + 2.41i & F(I''_C) &= (3.699 \quad 40.657) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$\begin{aligned} U_{A'B'} &:= U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & U_{A'B'} &= 217.6 - 76.386i & F(U_{A'B'}) &= (230.618 \quad -19.343) \\ I_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{Z} & I_{A'B'} &= 3.454 - 1.212i & F(I_{A'B'}) &= (3.661 \quad -19.343) \\ I_{B'C'} &:= I_{A'B'} \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_{B'C'} &= -2.777 - 2.385i & F(I_{B'C'}) &= (3.661 \quad -139.343) \\ I_{C'A'} &:= I_{A'B'} \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_{C'A'} &= -0.677 + 3.597i & F(I_{C'A'}) &= (3.661 \quad 100.657) \\ I_A &:= I_A - I''_A & I_A &= 6.231 + 1.172i & F(I_A) &= (6.34 \quad 10.657) \\ I_B &:= I_B - I''_B & I_B &= -2.1 - 5.982i & F(I_B) &= (6.34 \quad -109.343) \\ I_C &:= I_C - I''_C & I_C &= -4.131 + 4.81i & F(I_C) &= (6.34 \quad 130.657) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.699 \quad A_2 = 3.661 \quad A_a = 7.34 \quad A_b = 7.34 \quad A_c = 7.34$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{AC} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 300 - 173.205i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 2.501 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BC} &= 300 - 173.205i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 1.648 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 4.149 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

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

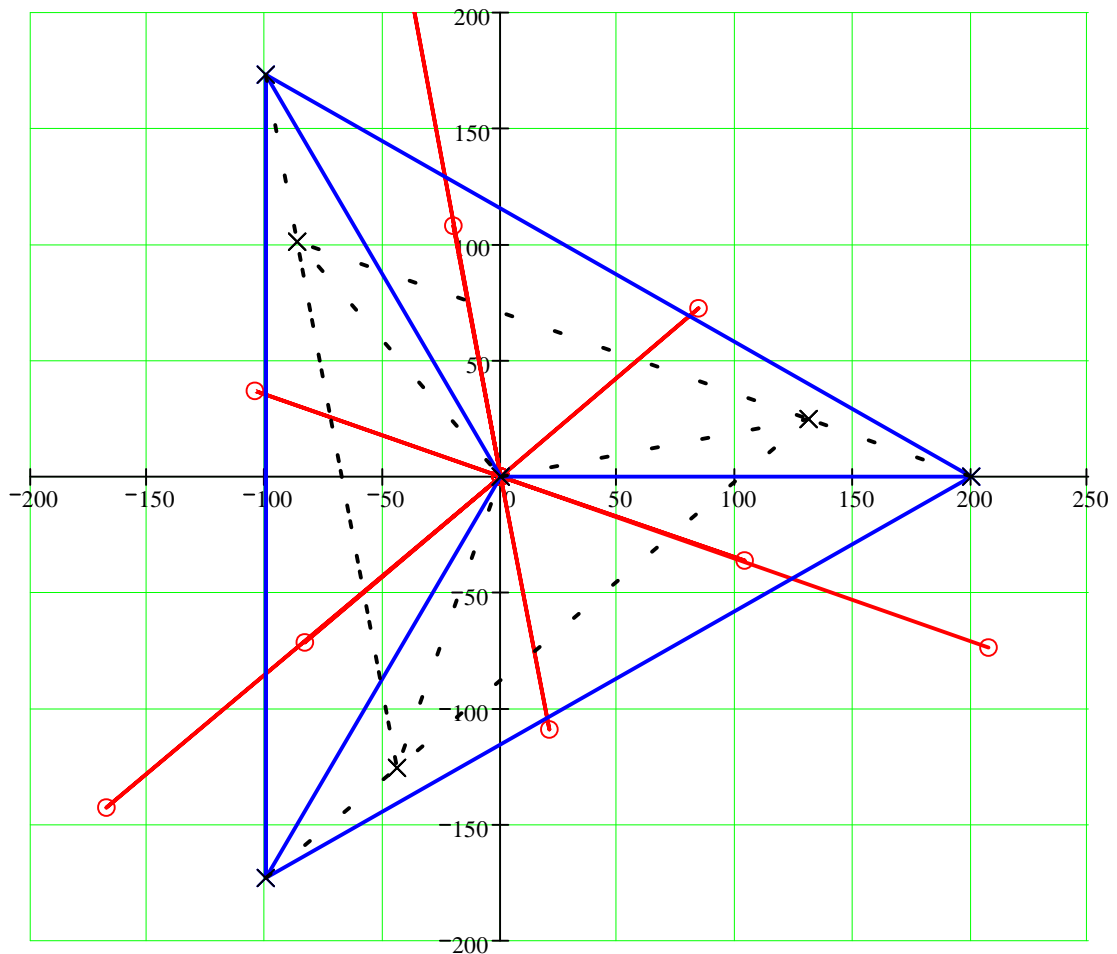
$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 4.149 \times 10^3 + 1.477i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

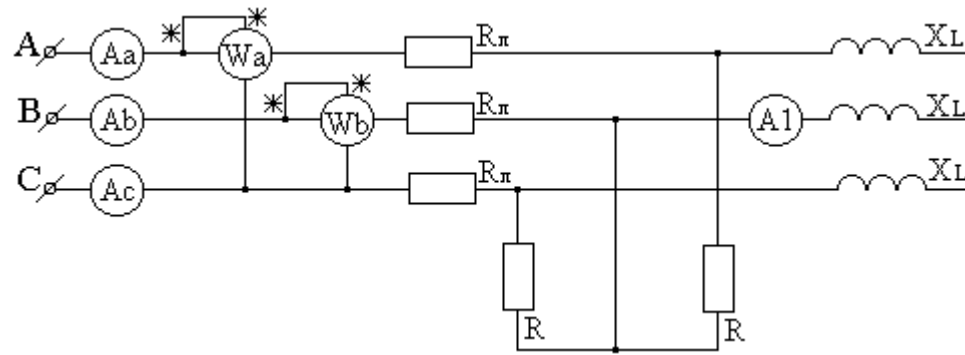
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_{AB}|)^2 + (|I'_{BC}|)^2 + (|I'_{CA}|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.149 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 1.477i \times 10^3$$

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.

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

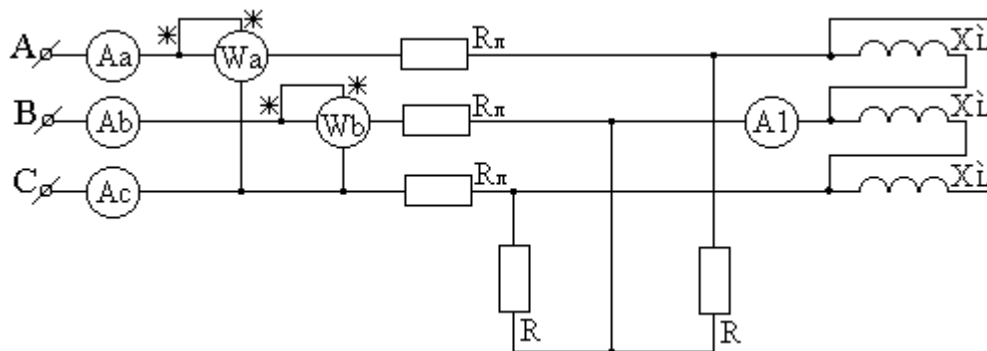
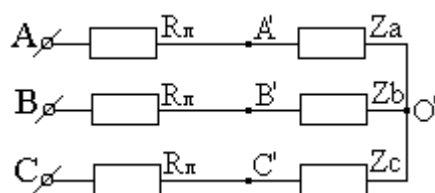


Схема преобразованной цепи.

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



Несимметричная звезда.

Сопротивления несимметричного треугольника равны:

$$Z_{C'A'} := X'_L \cdot i \quad Z_{C'A'} = 108i$$

$$Z_{A'B'} := \frac{X'_L \cdot i \cdot R}{R + X'_L \cdot i} \quad Z_{B'C'} := Z_{A'B'} \quad Z_{B'C'} = 47.005 + 27.42i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

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

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 15.749 + 0.141i$$

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

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$\begin{aligned} Z_{ea} &:= Z_a + Z_a & Z_{ea} &= 25.508 + 27.138i \\ Z_{eb} &:= Z_b + Z_b & Z_{eb} &= 25.749 + 0.141i \\ Z_{ec} &:= Z_c + Z_c & Z_{ec} &= 25.508 + 27.138i \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Y_A &:= \frac{1}{Z_{ea}} & Y_B &:= \frac{1}{Z_{eb}} & Y_C &:= \frac{1}{Z_{ec}} \\ Y_A &= 0.018 - 0.02i & Y_B &= 0.039 - 2.121i \times 10^{-4} & Y_C &= 0.018 - 0.02i \end{aligned}$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 43.262 - 49.922i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$\begin{aligned} U_{AO''} &:= E_A - U_{O''O} & U_{AO''} &= 156.738 + 49.922i & F(U_{AO''}) &= (164.496 \quad 17.667) \\ U_{BO''} &:= E_B - U_{O''O} & U_{BO''} &= -143.262 - 123.283i & F(U_{BO''}) &= (189.005 \quad -139.287) \\ U_{CO''} &:= E_C - U_{O''O} & U_{CO''} &= -143.262 + 223.127i & F(U_{CO''}) &= (265.16 \quad 122.703) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} & I_A &= 3.859 - 2.148i & F(I_A) &= (4.417 \quad -29.107) \\ I_B &:= \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} & I_B &= -5.59 - 4.757i & F(I_B) &= (7.34 \quad -139.6) \\ I_C &:= \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} & I_C &= 1.731 + 6.906i & F(I_C) &= (7.119 \quad 75.929) \\ U_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & U_{AB} &= 300 + 173.205i & F(U_{AB}) &= (346.41 \quad 30) \\ U_{AA'} &:= I_A \cdot Z_a & U_{AA'} &= 38.589 - 21.485i & F(U_{AA'}) &= (44.167 \quad -29.107) \\ U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -346.41i & F(U_{BC}) &= (346.41 \quad -90) \\ U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= -55.898 - 47.574i & F(U_{BB'}) &= (73.402 \quad -139.6) \\ U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -300 + 173.205i & F(U_{CA}) &= (346.41 \quad 150) \\ U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= 17.309 + 69.059i & F(U_{CC'}) &= (71.195 \quad 75.929) \end{aligned}$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 205.513 + 147.116i \quad F(U_{A'B'}) = (252.742 \quad 35.597)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 73.208 - 229.778i \quad F(U_{B'C'}) = (241.158 \quad -72.328)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -278.72 + 82.662i \quad F(U_{C'A'}) = (290.72 \quad 163.481)$$

Токи в активной нагрузке, согласно закону Ома, равны:

$$I_A' := \frac{U_{A'B'}}{R} \quad I_A = 3.262 + 2.335i \quad F(I_A) = (4.012 \quad 35.597)$$

$$I_C' := \frac{U_{B'C'}}{R} \quad I_C = 1.162 - 3.647i \quad F(I_C) = (3.828 \quad -72.328)$$

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

$$I_A'' := I_A - I_A' \quad I_A'' = 0.597 - 4.484i \quad F(I_A'') = (4.523 \quad -82.418)$$

$$I_C'' := I_C + I_C' \quad I_C'' = 2.893 + 3.259i \quad F(I_C'') = (4.357 \quad 48.402)$$

$$I_B'' := I_A'' + I_C'' \quad I_B'' = 3.49 - 1.225i \quad F(I_B'') = (3.699 \quad -19.343)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.699 \quad A_2 = 0 \quad A_a = 4.417 \quad A_b = 7.34 \quad A_c = 7.119$$

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

Показание ваттметра W_a :

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

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 1.53 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

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

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.648 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.178 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 3.178 \times 10^3 + 1.913i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_A|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 3.178 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 1.913i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

