

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 911

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

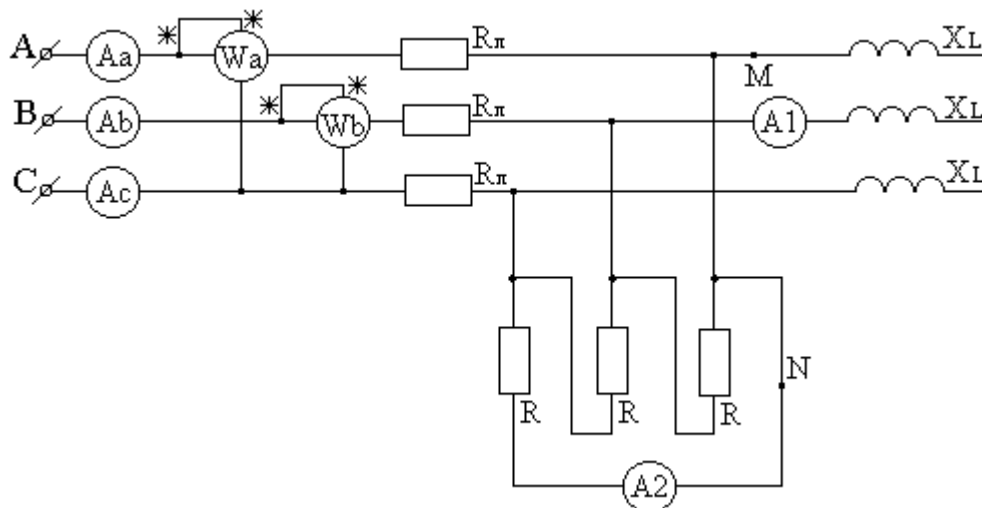
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 210 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 11 \quad R := 56 \quad X_L := 33$$

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:

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

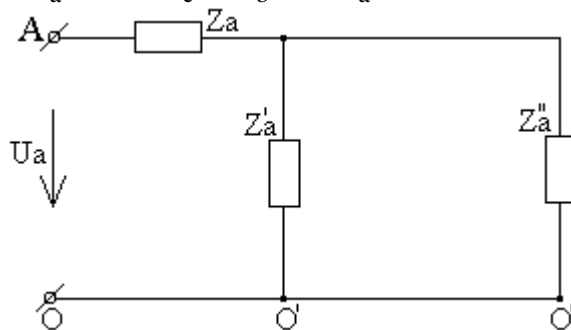
$$F(E_A) = (210 \ 0) \quad F(E_B) = (210 \ -120) \quad F(E_C) = (210 \ 120)$$

$$R' := \frac{R^2}{3R} \quad R' = 18.667$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 11$$

$$Z'_a := R' \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 18.667$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 33i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 25.142 + 7.999i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.585 - 2.413i \quad F(I_A) = (7.959 \ -17.65)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -5.882 - 5.362i \quad F(I_B) = (7.959 \ -137.65)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -1.702 + 7.775i \quad F(I_C) = (7.959 \ 102.35)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 14.142 + 7.999i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 126.567 + 26.546i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 6.78 + 1.422i \quad F(I'_A) = (6.928 \ 11.845)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.159 - 6.583i \quad F(I_B) = (6.928 \quad -108.155)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.622 + 5.161i \quad F(I_C) = (6.928 \quad 131.845)$$

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.804 - 3.835i \quad F(I''_A) = (3.919 \quad -78.155)$$

$$I''_B := I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_B = -3.724 + 1.221i \quad F(I''_B) = (3.919 \quad 161.845)$$

$$I''_C := I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_C = 2.919 + 2.614i \quad F(I''_C) = (3.919 \quad 41.845)$$

$$I_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I_A = 6.78 + 1.422i \quad F(I_A) = (6.928 \quad 11.845)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.159 - 6.583i \quad F(I_B) = (6.928 \quad -108.155)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.622 + 5.161i \quad F(I_C) = (6.928 \quad 131.845)$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 166.861 + 149.429i \quad F(U_{A'B'}) = (223.991 \quad 41.845)$$

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{R} \quad I_{A'B'} = 2.98 + 2.668i \quad F(I_{A'B'}) = (4 \quad 41.845)$$

$$I_{B'C'} := I_{A'B'} \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_{B'C'} = 0.821 - 3.915i \quad F(I_{B'C'}) = (4 \quad -78.155)$$

$$I_{C'A'} := I_{A'B'} \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_{C'A'} = -3.801 + 1.246i \quad F(I_{C'A'}) = (4 \quad 161.845)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.919(A) \quad A_2 = 4(A) \quad A_a = 7.959(A) \quad A_b = 7.959(A) \quad A_c = 7.959(A)$$

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 :

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 315 - 181.865i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 2.828 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 315 - 181.865i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.95 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b$$

$$W = 4.778 \times 10^3$$

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.

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

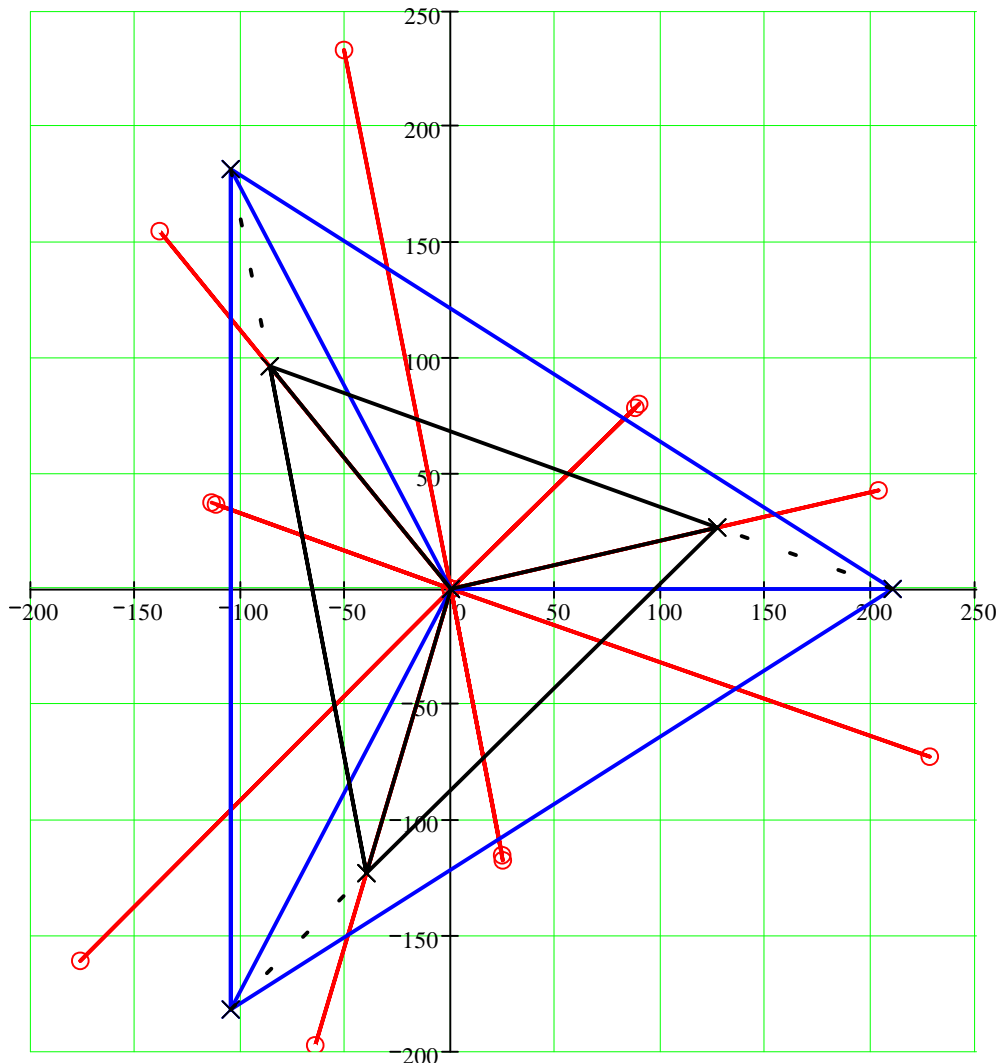
$$S_r = 4.778 \times 10^3 + 1.52i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

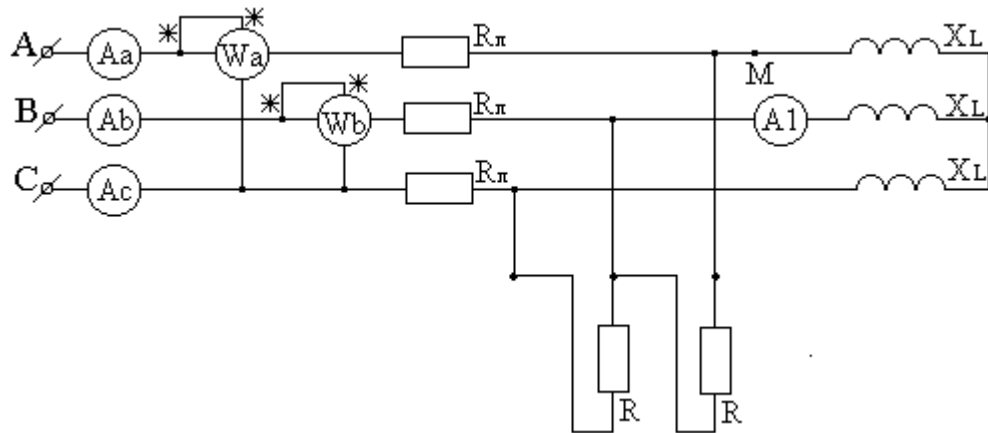
$$P_{pr} := [(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2] \cdot R_L + [(|I'_{AB}|)^2 + (|I'_{BC}|)^2 + (|I'_{CA}|)^2] \cdot R \quad P_{pr} = 4.778 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := [(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 1.52i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.

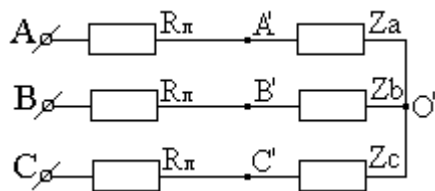


Несимметричная трёхфазная система.

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

$$X'_L := X_L + X_L + \frac{X_L \cdot X_L}{X_L} \quad X'_L = 99$$

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:

$$Z_{C'A'} := X'_L \cdot i \quad Z_{C'A'} = 99i$$

$$Z_{A'B'} := \frac{X'_L \cdot i \cdot R}{R + X'_L \cdot i} \quad Z_{B'C'} := Z_{A'B'} \quad Z_{C'A'} = 99i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 14.434 + 24.494i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 13.996 - 0.248i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 14.434 + 24.494i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 25.434 + 24.494i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 24.996 - 0.248i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 25.434 + 24.494i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.02 - 0.02i$$

$$Y_B = 0.04 + 3.969i \times 10^{-4}$$

$$Y_C = 0.02 - 0.02i$$

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

$$U_{O''O} = 43.363 - 49.298i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O}$$

$$U_{AO''} = 166.637 + 49.298i$$

$$F(U_{AO''}) = (173.776 \quad 16.48)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O}$$

$$U_{BO''} = -148.363 - 132.567i$$

$$F(U_{BO''}) = (198.961 \quad -138.218)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O}$$

$$U_{CO''} = -148.363 + 231.163i$$

$$F(U_{CO''}) = (274.678 \quad 122.693)$$

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

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

$$I_A = 4.368 - 2.268i$$

$$F(I_A) = (4.921 \quad -27.441)$$

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

$$I_B = -5.882 - 5.362i$$

$$F(I_B) = (7.959 \quad -137.65)$$

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

$$I_C = 1.515 + 7.63i$$

$$F(I_C) = (7.779 \quad 78.771)$$

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

$$U_{AB} = 315 + 181.865i$$

$$F(U_{AB}) = (363.731 \quad 30)$$

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

$$U_{AA'} = 48.044 - 24.947i$$

$$F(U_{AA'}) = (54.135 \quad -27.441)$$

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

$$U_{BC} = -363.731i$$

$$F(U_{BC}) = (363.731 \quad -90)$$

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

$$U_{BB'} = -64.706 - 58.982i$$

$$F(U_{BB'}) = (87.554 \quad -137.65)$$

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

$$U_{CA} = -315 + 181.865i$$

$$F(U_{CA}) = (363.731 \quad 150)$$

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

$$U_{CC'} = 16.662 + 83.929i$$

$$F(U_{CC'}) = (85.567 \quad 78.771)$$

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:

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

$$U_{A'B'} = 202.251 + 147.831i$$

$$F(U_{A'B'}) = (250.518 \quad 36.164)$$

аналогично вычисляют

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

$$U_{B'C'} = 81.368 - 220.819i$$

$$F(U_{B'C'}) = (235.334 \quad -69.772)$$

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

$$U_{C'A'} = -283.619 + 72.989i$$

$$F(U_{C'A'}) = (292.86 \quad 165.568)$$

Токи, проходящие через реактивную нагрузку, согласно закону Ома, равны:

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{R}$$

$$I_{A'B'} = 3.612 + 2.64i$$

$$F(I_{A'B'}) = (4.474 \quad 36.164)$$

$$I_{B'C'} := \frac{U_{B'C'}}{R}$$

$$I_{B'C'} = 1.453 - 3.943i$$

$$F(I_{B'C'}) = (4.202 \quad -69.772)$$

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

$$\begin{aligned} I''_A &:= I_A - I'_{A'B'} & I''_A &= 0.756 - 4.908i & F(I''_A) &= (4.966 \quad -81.243) \\ I''_C &:= I_C + I'_{B'C'} & I''_C &= 2.968 + 3.687i & F(I''_C) &= (4.733 \quad 51.167) \\ I''_B &:= I''_A + I''_C & I''_B &= 3.724 - 1.221i & F(I''_B) &= (3.919 \quad -18.155) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.919 \text{ (A)} \quad A_2 = 0 \text{ (A)} \quad A_a = 4.921 \text{ (A)} \quad A_b = 7.959 \text{ (A)} \quad A_c = 7.779 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{AC} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 315 - 181.865i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 1.788 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 315 - 181.865i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 1.95 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.739 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 3.739 \times 10^3 + 2.06i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_{A'B'}|)^2 + (|I'_{B'C'}|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 3.739 \times 10^3 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i & Q_{pr} &= 2.06i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

