

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 131

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

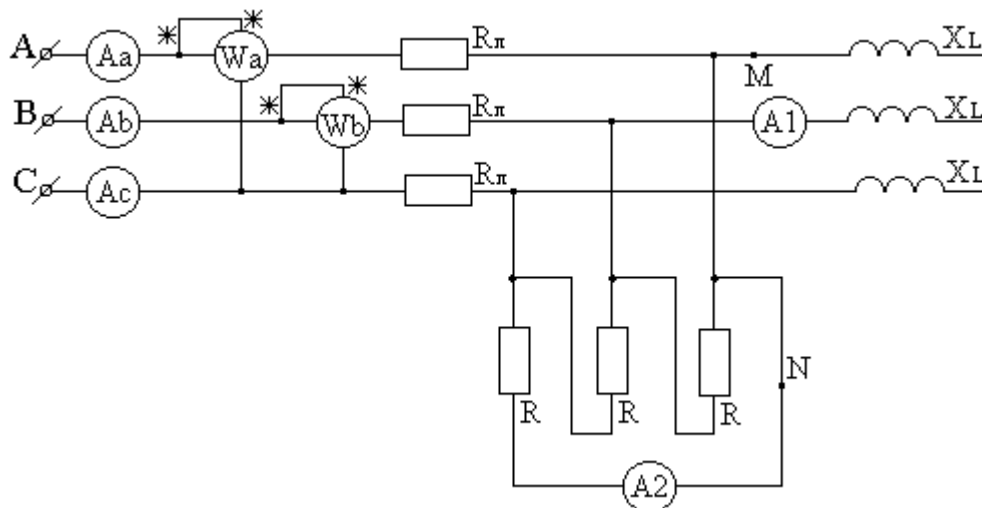
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 14.6 \quad R := 48 \quad X_L := 42$$

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.

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

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

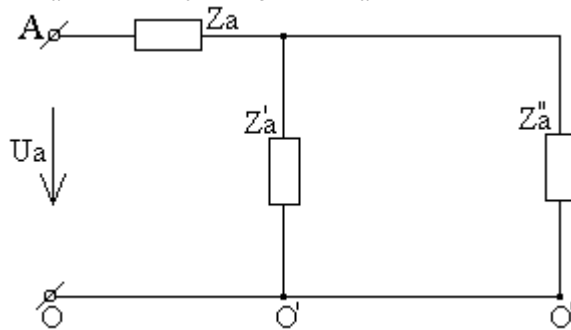
$$F(E_A) = (220 \ 0) \quad F(E_B) = (220 \ -120) \quad F(E_C) = (220 \ 120)$$

$$R' := \frac{R^2}{3R} \quad R' = 16$$

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

$$Z'_a := R' \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 16$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 42i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 28.572 + 5.323i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.442 - 1.386i \quad F(I_A) = (7.57 \ -10.553)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -4.921 - 5.751i \quad F(I_B) = (7.57 \ -130.553)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -2.52 + 7.138i \quad F(I_C) = (7.57 \ 109.447)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 13.972 + 5.323i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 111.354 + 20.24i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 6.96 + 1.265i \quad F(I'_A) = (7.074 \ 10.302)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.384 - 6.66i \quad F(I_B) = (7.074 \quad -109.698)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.575 + 5.395i \quad F(I_C) = (7.074 \quad 130.302)$$

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.482 - 2.651i \quad F(I''_A) = (2.695 \quad -79.698)$$

$$I''_B := I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_B = -2.537 + 0.908i \quad F(I''_B) = (2.695 \quad 160.302)$$

$$I''_C := I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_C = 2.055 + 1.743i \quad F(I''_C) = (2.695 \quad 40.302)$$

$$I_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I_A = 6.96 + 1.265i \quad F(I_A) = (7.074 \quad 10.302)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.384 - 6.66i \quad F(I_B) = (7.074 \quad -109.698)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.575 + 5.395i \quad F(I_C) = (7.074 \quad 130.302)$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 149.503 + 126.795i \quad F(U_{A'B'}) = (196.031 \quad 40.302)$$

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{R} \quad I_{A'B'} = 3.115 + 2.642i \quad F(I_{A'B'}) = (4.084 \quad 40.302)$$

$$I_{B'C'} := I_{A'B'} \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_{B'C'} = 0.73 - 4.018i \quad F(I_{B'C'}) = (4.084 \quad -79.698)$$

$$I_{C'A'} := I_{A'B'} \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_{C'A'} = -3.845 + 1.377i \quad F(I_{C'A'}) = (4.084 \quad 160.302)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 2.695 \text{ (A)} \quad A_2 = 4.084 \text{ (A)} \quad A_a = 7.57 \text{ (A)} \quad A_b = 7.57 \text{ (A)} \quad A_c = 7.57 \text{ (A)}$$

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 :

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 330 - 190.526i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 2.72 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 330 - 190.526i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 2.192 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b$$

$$W = 4.911 \times 10^3$$

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.

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

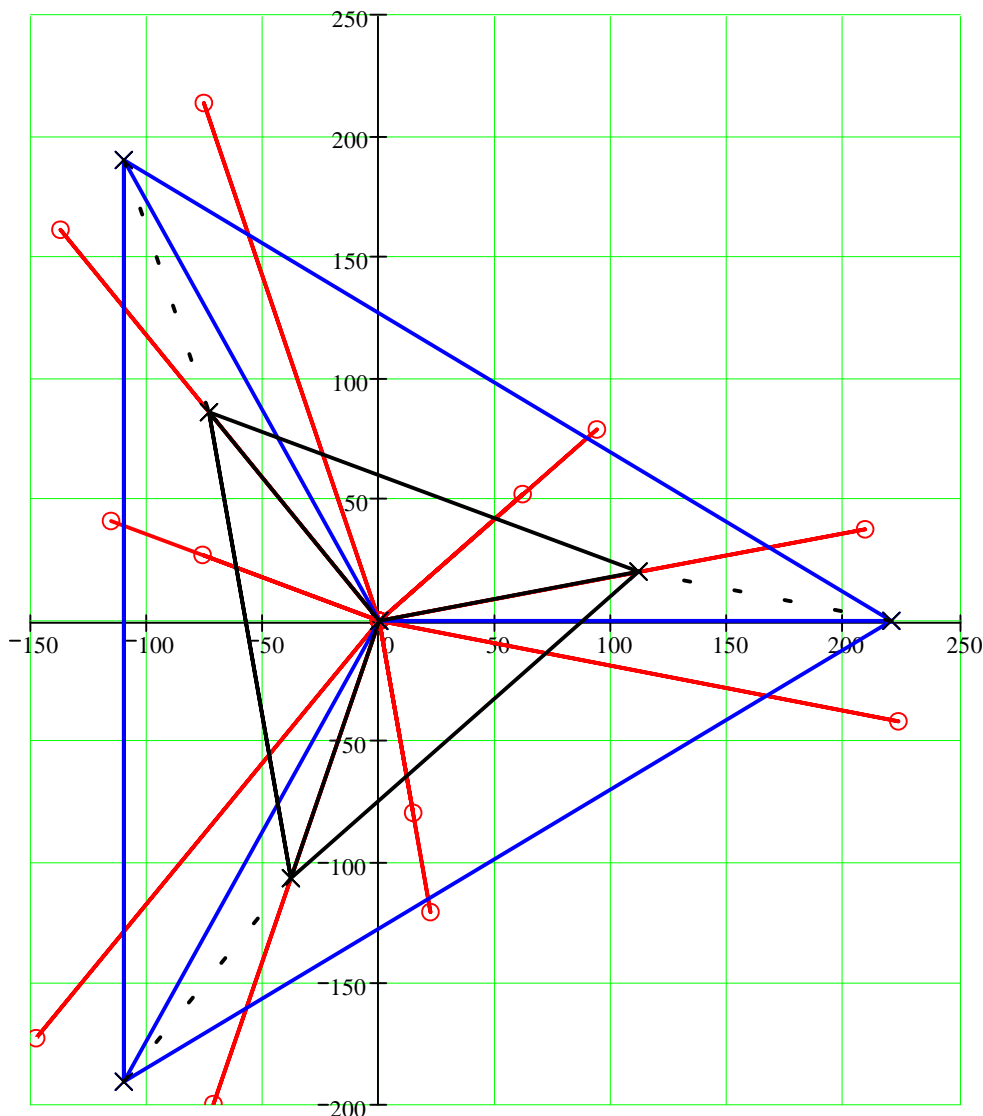
$$S_r = 4.911 \times 10^3 + 914.952i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

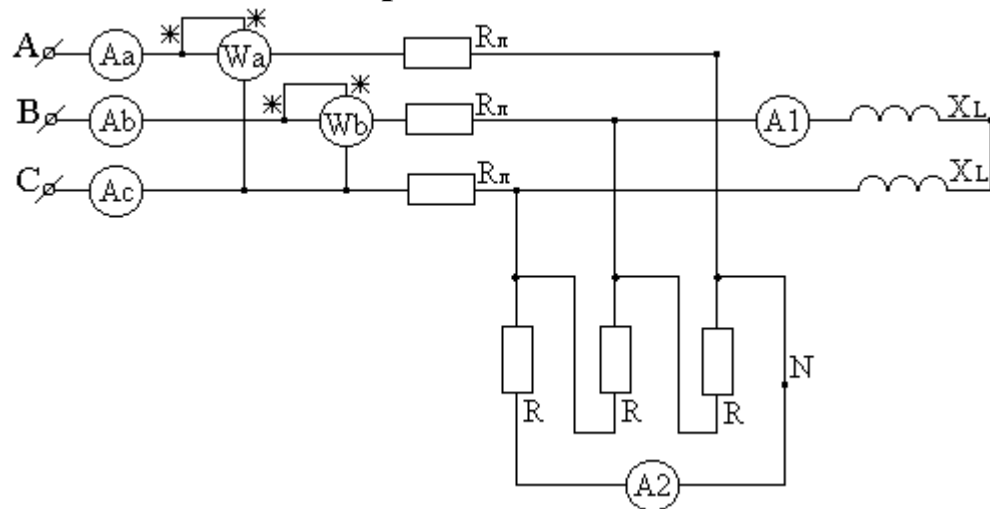
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_{AB}|)^2 + (|I'_{BC}|)^2 + (|I'_{CA}|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.911 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 914.952i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

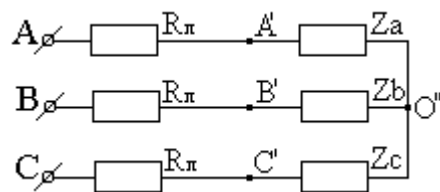


Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.



Несимметричная трёхфазная система.

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



Несимметричная звезда.

Сопротивления несимметричного треугольника равны:

$$Z_{C'A'} := R \quad Z_{C'A'} = 48$$

$$Z_{A'B'} := R \quad Z_{A'B'} = 48 \quad Z_{B'C'} := \frac{2 \cdot X_L \cdot i \cdot R}{2 \cdot X_L \cdot i + R} \quad Z_{B'C'} = 36.185 + 20.677i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 17.014 - 2.661i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 13.972 + 5.323i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 13.972 + 5.323i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 31.614 - 2.661i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 28.572 + 5.323i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 28.572 + 5.323i$$

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

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

$$Y_A = 0.031 + 2.644i \times 10^{-3} \quad Y_B = 0.034 - 6.301i \times 10^{-3} \quad Y_C = 0.034 - 6.301i \times 10^{-3}$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = -7.289 + 19.134i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 227.289 - 19.134i \quad F(U_{AO''}) = (228.093 \quad -4.812)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -102.711 - 209.66i \quad F(U_{BO''}) = (233.467 \quad -116.1)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -102.711 + 171.391i \quad F(U_{CO''}) = (199.811 \quad 120.933)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.19 \quad F(I_A) = (7.19 \quad 0)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -4.795 - 6.445i \quad F(I_B) = (8.033 \quad -126.653)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -2.394 + 6.445i \quad F(I_C) = (6.875 \quad 110.381)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{AB} = 330 + 190.526i \quad F(U_{AB}) = (381.051 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 104.967 \quad F(U_{AA'}) = (104.967 \quad 0)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{BC} = -381.051i \quad F(U_{BC}) = (381.051 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -70.012 - 94.09i \quad F(U_{BB'}) = (117.28 \quad -126.653)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{CA} = -330 + 190.526i \quad F(U_{CA}) = (381.051 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = -34.955 + 94.09i \quad F(U_{CC'}) = (100.374 \quad 110.381)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 155.021 + 96.435i \quad F(U_{A'B'}) = (182.568 \quad 31.885)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 35.056 - 192.871i \quad F(U_{B'C'}) = (196.031 \quad -79.698)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -190.077 + 96.435i \quad F(U_{C'A'}) = (213.141 \quad 153.099)$$

Согласно закону Ома токи равны:

$$\begin{aligned} I''_B &:= \frac{U_{B'C'}}{2 \cdot X_L \cdot i} & I''_B &= -2.296 - 0.417i & F(I''_B) &= (2.334 \quad -169.698) \\ I''_C &:= -I''_B & I''_C &= 2.296 + 0.417i & F(I''_C) &= (2.334 \quad 10.302) \\ I_A &:= I_A & I_A &= 7.19 & F(I_A) &= (7.19 \quad 0) \\ I_B &:= I_B - I''_B & I_B &= -2.499 - 6.027i & F(I_B) &= (6.525 \quad -112.522) \\ I_C &:= I_C - I''_C & I_C &= -4.69 + 6.027i & F(I_C) &= (7.637 \quad 127.89) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{R} & I_{A'B'} &= 3.23 + 2.009i & F(I_{A'B'}) &= (3.804 \quad 31.885) \\ I_{B'C'} &:= \frac{U_{B'C'}}{R} & I_{B'C'} &= 0.73 - 4.018i & F(I_{B'C'}) &= (4.084 \quad -79.698) \\ I_{C'A'} &:= \frac{U_{C'A'}}{R} & I_{C'A'} &= -3.96 + 2.009i & F(I_{C'A'}) &= (4.44 \quad 153.099) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 2.334 \text{ (A)} \quad A_2 = 4.44 \text{ (A)} \quad A_a = 7.19 \text{ (A)} \quad A_b = 8.033 \text{ (A)} \quad A_c = 6.875 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{AC} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 330 - 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 2.373 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 330 - 190.526i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 2.456 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 4.828 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 4.828 \times 10^3 + 457.476i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_{A'B'}|)^2 + (|I_{B'C'}|)^2 + (|I_{C'A'}|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.828 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 457.476i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

