

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 171

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

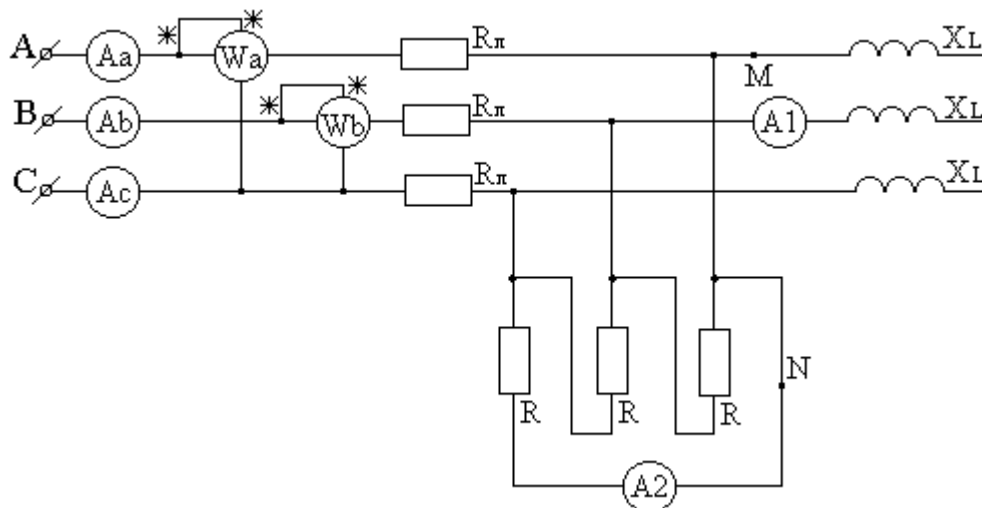
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 14.6 \quad R := 78 \quad X_L := 25$$

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:

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

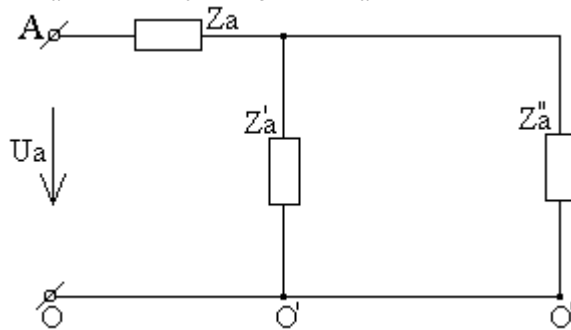
$$F(E_A) = (220 \ 0) \quad F(E_B) = (220 \ -120) \quad F(E_C) = (220 \ 120)$$

$$R' := \frac{R^2}{3R} \quad R' = 26$$

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

$$Z'_a := R' \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 26$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 25i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 27.09 + 12.99i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 6.603 - 3.166i \quad F(I_A) = (7.323 \ -25.618)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -6.043 - 4.135i \quad F(I_B) = (7.323 \ -145.618)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -0.559 + 7.301i \quad F(I_C) = (7.323 \ 94.382)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 12.49 + 12.99i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 123.599 + 46.225i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 4.754 + 1.778i \quad F(I'_A) = (5.075 \ 20.505)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -0.837 - 5.006i \quad F(I_B) = (5.075 \quad -99.495)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -3.917 + 3.228i \quad F(I_C) = (5.075 \quad 140.505)$$

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 1.849 - 4.944i \quad F(I''_A) = (5.278 \quad -69.495)$$

$$I''_B := I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_B = -5.206 + 0.871i \quad F(I''_B) = (5.278 \quad 170.505)$$

$$I''_C := I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_C = 3.357 + 4.073i \quad F(I''_C) = (5.278 \quad 50.505)$$

$$I_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I_A = 4.754 + 1.778i \quad F(I_A) = (5.075 \quad 20.505)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -0.837 - 5.006i \quad F(I_B) = (5.075 \quad -99.495)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -3.917 + 3.228i \quad F(I_C) = (5.075 \quad 140.505)$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 145.367 + 176.377i \quad F(U_{A'B'}) = (228.562 \quad 50.505)$$

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{R} \quad I_{A'B'} = 1.864 + 2.261i \quad F(I_{A'B'}) = (2.93 \quad 50.505)$$

$$I_{B'C'} := I_{A'B'} \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_{B'C'} = 1.026 - 2.745i \quad F(I_{B'C'}) = (2.93 \quad -69.495)$$

$$I_{C'A'} := I_{A'B'} \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I_{C'A'} = -2.89 + 0.483i \quad F(I_{C'A'}) = (2.93 \quad 170.505)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 5.278 \quad A_2 = 2.93 \quad A_a = 7.323 \quad A_b = 7.323 \quad A_c = 7.323$$

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 :

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

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 2.782 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

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

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.576 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b$$

$$W = 4.358 \times 10^3$$

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.

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

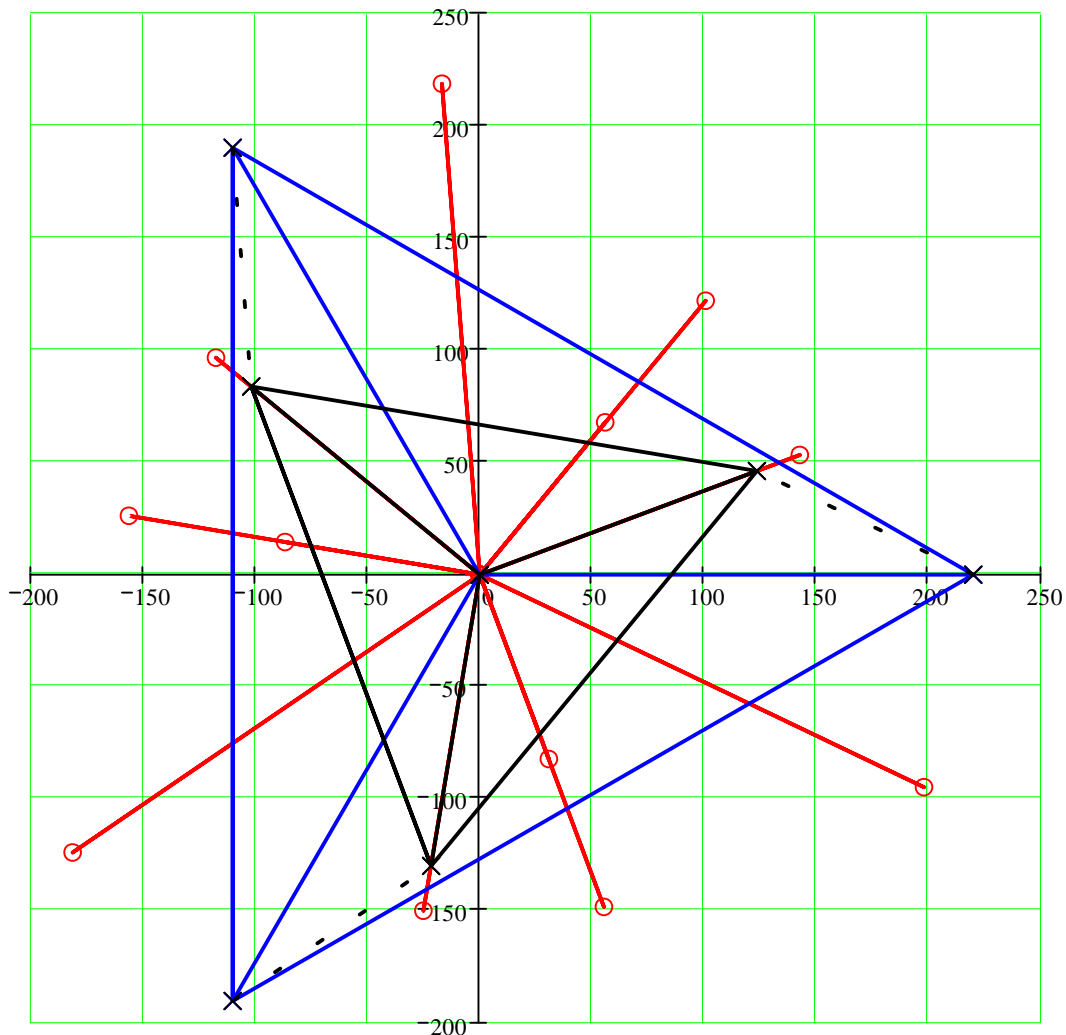
$$S_r = 4.358 \times 10^3 + 2.09i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

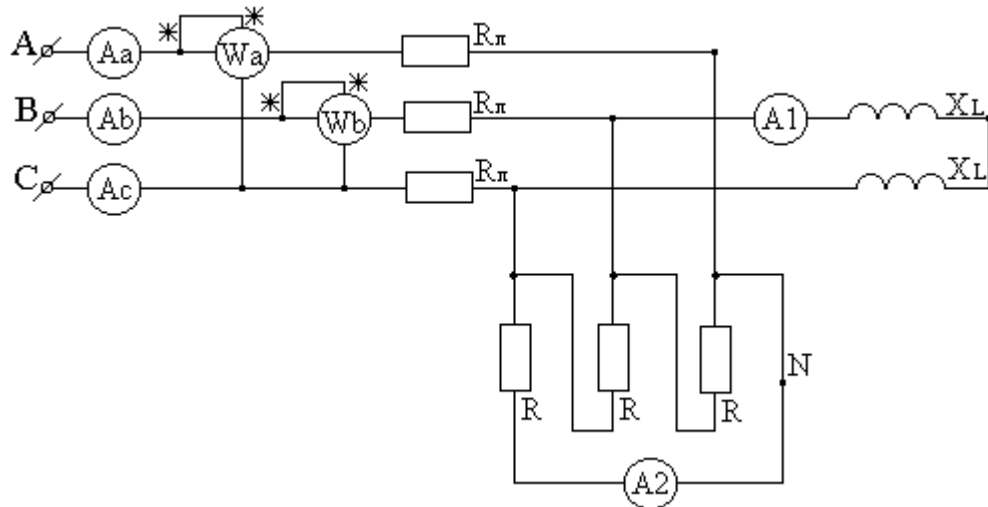
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_{AB}|)^2 + (|I'_{BC}|)^2 + (|I'_{CA}|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.358 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 2.09i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

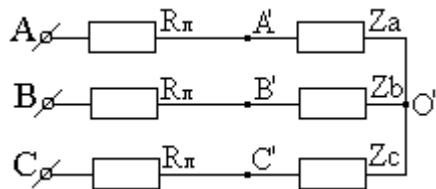


Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.



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:

$$Z_{C'A'} := R \quad Z_{C'A'} = 78$$

$$Z_{A'B'} := R \quad Z_{A'B'} = 78 \quad Z_{B'C'} := \frac{2 \cdot X_L \cdot i \cdot R}{2 \cdot X_L \cdot i + R} \quad Z_{B'C'} = 22.717 + 35.438i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 32.755 - 6.495i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 12.49 + 12.99i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 12.49 + 12.99i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 47.355 - 6.495i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 27.09 + 12.99i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 27.09 + 12.99i$$

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

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

$$Y_A = 0.021 + 2.843i \times 10^{-3} \quad Y_B = 0.03 - 0.014i \quad Y_C = 0.03 - 0.014i$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = -36.602 + 35.195i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 256.602 - 35.195i \quad F(U_{AO''}) = (259.005 \quad -7.81)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -73.398 - 225.72i \quad F(U_{BO''}) = (237.354 \quad -108.013)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -73.398 + 155.331i \quad F(U_{CO''}) = (171.799 \quad 115.292)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 5.419 \quad F(I_A) = (5.419 \quad -2.562 \times 10^{-15})$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -5.451 - 5.718i \quad F(I_B) = (7.9 \quad -133.631)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = 0.033 + 5.718i \quad F(I_C) = (5.718 \quad 89.674)$$

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

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 79.113 \quad F(U_{AA'}) = (79.113 \quad -2.562 \times 10^{-15})$$

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

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -79.589 - 83.486i \quad F(U_{BB'}) = (115.344 \quad -133.631)$$

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

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = 0.475 + 83.486i \quad F(U_{CC'}) = (83.487 \quad 89.674)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 171.298 + 107.04i \quad F(U_{A'B'}) = (201.992 \quad 32)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 80.064 - 214.08i \quad F(U_{B'C'}) = (228.562 \quad -69.495)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -251.362 + 107.04i \quad F(U_{C'A'}) = (273.204 \quad 156.934)$$

Согласно закону Ома токи равны:

$$\begin{aligned} I_B'' &:= \frac{U_{B'C'}}{2 \cdot X_L \cdot i} & I_B'' &= -4.282 - 1.601i & F(I_B'') &= (4.571 \quad -159.495) \\ I_C'' &:= -I_B'' & I_C'' &= 4.282 + 1.601i & F(I_C'') &= (4.571 \quad 20.505) \\ I_A' &:= I_A & I_A' &= 5.419 & F(I_A') &= (5.419 \quad -2.562 \times 10^{-15}) \\ I_B' &:= I_B - I_B'' & I_B' &= -1.17 - 4.117i & F(I_B') &= (4.28 \quad -105.861) \\ I_C' &:= I_C - I_C'' & I_C' &= -4.249 + 4.117i & F(I_C') &= (5.916 \quad 135.905) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{R} & I_{A'B'} &= 2.196 + 1.372i & F(I_{A'B'}) &= (2.59 \quad 32) \\ I_{B'C'} &:= \frac{U_{B'C'}}{R} & I_{B'C'} &= 1.026 - 2.745i & F(I_{B'C'}) &= (2.93 \quad -69.495) \\ I_{C'A'} &:= \frac{U_{C'A'}}{R} & I_{C'A'} &= -3.223 + 1.372i & F(I_{C'A'}) &= (3.503 \quad 156.934) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 4.571 \quad A_2 = 3.503 \quad A_a = 5.419 \quad A_b = 7.9 \quad A_c = 5.718$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{AC} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 330 - 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 1.788 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{BC} &= 330 - 190.526i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 2.179 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.967 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 3.967 \times 10^3 + 1.045i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_{A'B'}|)^2 + (|I_{B'C'}|)^2 + (|I_{C'A'}|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 3.967 \times 10^3 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I_B''|)^2 + (|I_C''|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i & Q_{pr} &= 1.045i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

