

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 139

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

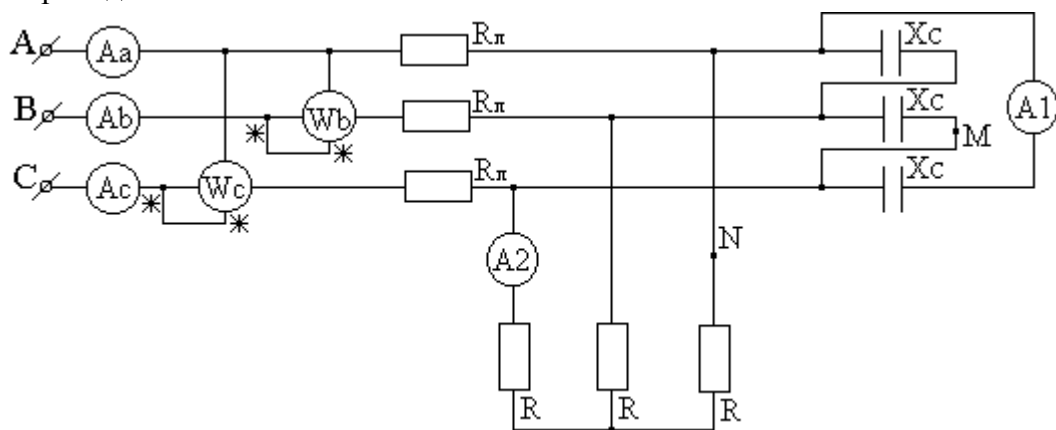
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 14.6 \quad R := 48 \quad X_C := 72$$

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 (рис.1) необходимо первоначально произвести упрощение схемы, сведя её к схеме с элементами, соединенными звездой.

$$X'_C := \frac{(-X_C \cdot i) \cdot (-X_C \cdot i)}{3 \cdot (-X_C \cdot i)} \quad X'_C = -24i$$

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

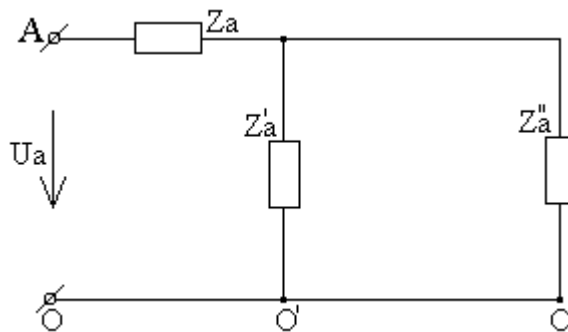
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

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

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

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 48$$

$$Z''_a := X'_C \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = -24i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 24.2 - 19.2i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 5.579 + 4.426i \quad F(I_A) = (7.122 \ 38.428)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = 1.044 - 7.045i \quad F(I_B) = (7.122 \ -81.572)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -6.623 + 2.618i \quad F(I_C) = (7.122 \ 158.428)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 9.6 - 19.2i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 138.546 - 64.625i$$

Токи звезды равны:

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z_a} & I_A &= 2.886 - 1.346i & F(I_A) &= (3.185 \quad -25.007) \\ I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_B &= -2.609 - 1.826i & F(I_B) &= (3.185 \quad -145.007) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_C &= -0.277 + 3.173i & F(I_C) &= (3.185 \quad 94.993) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 151.851 - 216.922i \quad F(U_{A'B'}) = (264.79 \quad -55.007)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I''_A &:= \frac{U_{A'B'}}{(-X_C \cdot i)} & I''_A &= 3.013 + 2.109i & F(I''_A) &= (3.678 \quad 34.993) \\ I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_B &= 0.32 - 3.664i & F(I''_B) &= (3.678 \quad -85.007) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_C &= -3.333 + 1.555i & F(I''_C) &= (3.678 \quad 154.993) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.678 \text{ (A)} \quad A_2 = 3.185 \text{ (A)} \quad A_a = 7.122 \text{ (A)} \quad A_b = 7.122 \text{ (A)} \quad A_c = 7.122 \text{ (A)}$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -330 + 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 2.684 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -330 - 190.526i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 997.757 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.682 \times 10^3$$

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.

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

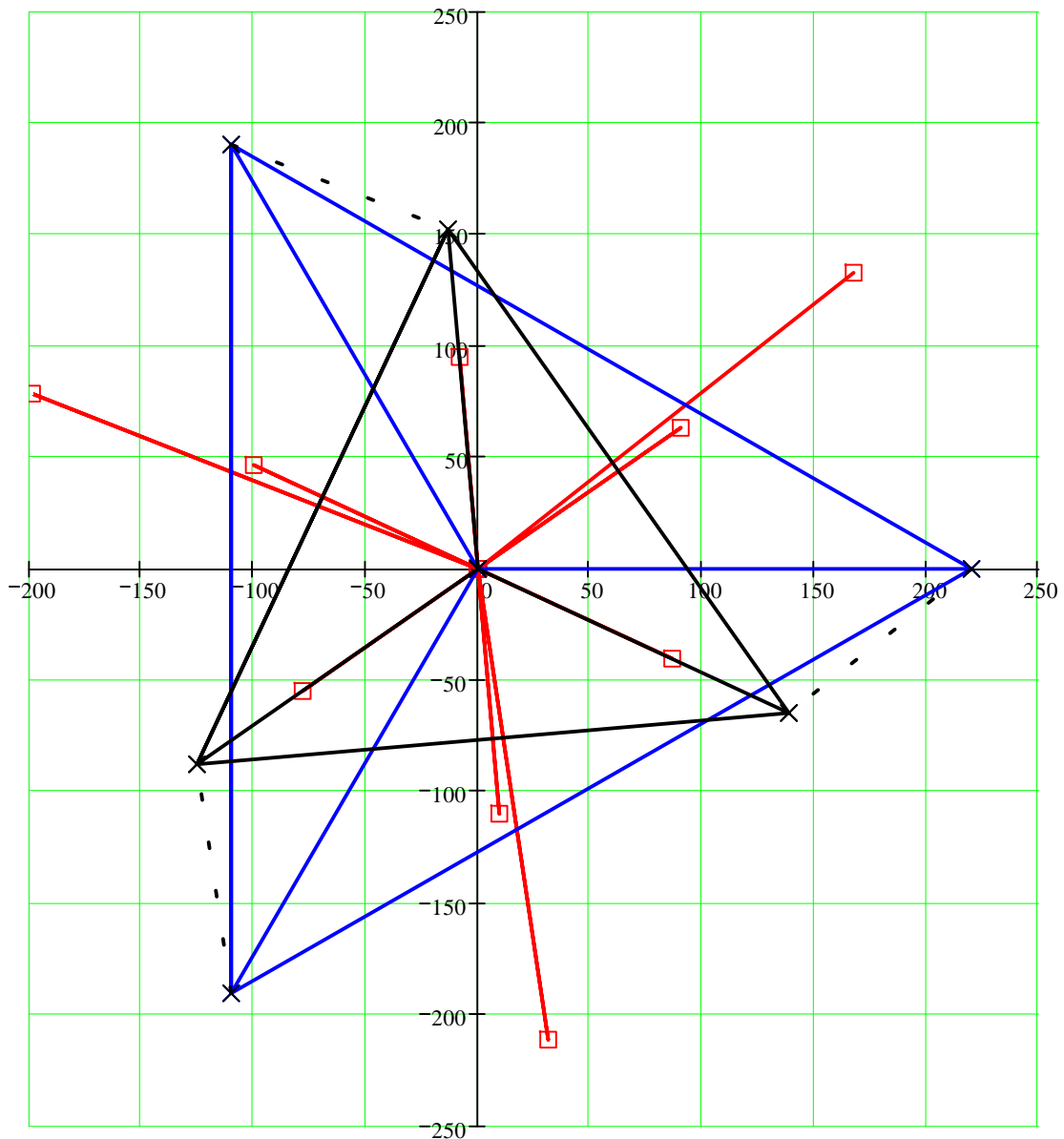
$$S_r = 3.682 \times 10^3 - 2.921i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

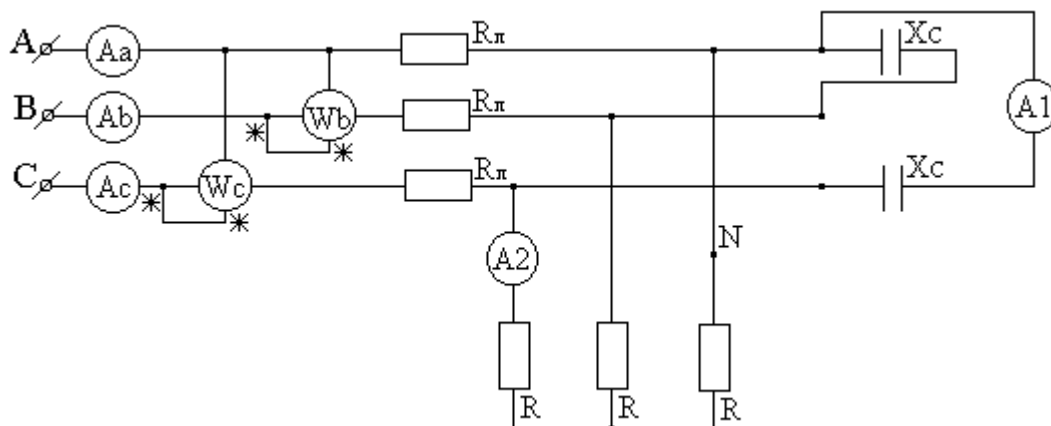
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 3.682 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -2.921i \times 10^3$$

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 нагрузку с элементами, соединенными звездой, следует заменить эквивалентным треугольником.

$$R' := R + R + \frac{R \cdot R}{R}$$

$$R' = 144$$

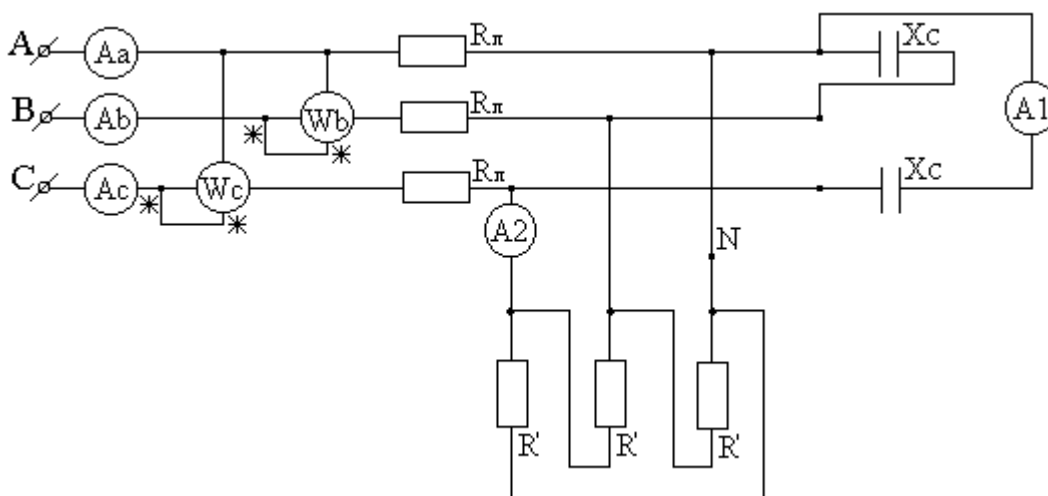
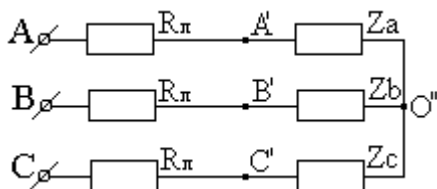


Схема преобразованной цепи.

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



Несимметричная звезда.

Сопровитления несимметричного треугольника равны:

$$Z_{B'C'} := R' \quad Z_{B'C'} = 144$$

$$Z_{A'B'} := \frac{-X_C \cdot i \cdot R'}{R' - X_C \cdot i} \quad Z_{C'A'} := Z_{A'B'} \quad Z_{C'A'} = 28.8 - 57.6i$$

Сопровитление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = -2.215 - 17.723i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 33.231 - 22.154i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 33.231 - 22.154i$$

Полные комплексные сопровитления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 12.385 - 17.723i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 47.831 - 22.154i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 47.831 - 22.154i$$

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

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

$$Y_A = 0.026 + 0.038i \quad Y_B = 0.017 + 7.973i \times 10^{-3} \quad Y_C = 0.017 + 7.973i \times 10^{-3}$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 72.456 + 44.059i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 147.544 - 44.059i \quad F(U_{AO''}) = (153.982 \quad -16.627)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -182.456 - 234.585i \quad F(U_{BO''}) = (297.188 \quad -127.875)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -182.456 + 146.466i \quad F(U_{CO''}) = (233.971 \quad 141.244)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 5.579 + 4.426i \quad F(I_A) = (7.122 \quad 38.428)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -1.27 - 5.493i \quad F(I_B) = (5.638 \quad -103.023)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -4.309 + 1.067i \quad F(I_C) = (4.439 \quad 166.097)$$

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

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 81.454 + 64.625i \quad F(U_{AA'}) = (103.977 \quad 38.428)$$

$$\begin{aligned}
U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -381.051i & F(U_{BC}) &= (381.051 \quad -90) \\
U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= -18.549 - 80.197i & F(U_{BB'}) &= (82.314 \quad -103.023) \\
U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -330 + 190.526i & F(U_{CA}) &= (381.051 \quad 150) \\
U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= -62.906 + 15.572i & F(U_{CC'}) &= (64.804 \quad 166.097)
\end{aligned}$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 229.997 + 45.704i \quad F(U_{A'B'}) = (234.494 \quad 11.239)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = -44.357 - 285.283i \quad F(U_{B'C'}) = (288.711 \quad -98.838)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -185.64 + 239.579i \quad F(U_{C'A'}) = (303.085 \quad 127.771)$$

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

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{-X_C \cdot i} \quad I_{A'B'} = -0.635 + 3.194i \quad F(I_{A'B'}) = (3.257 \quad 101.239)$$

$$I_{C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{-X_C \cdot i} \quad I_{C'A'} = -3.327 - 2.578i \quad F(I_{C'A'}) = (4.21 \quad -142.229)$$

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

$$I_A := I_A - I_{A'B'} + I_{C'A'} \quad I_A = 2.886 - 1.346i \quad F(I_A) = (3.185 \quad -25.007)$$

$$I_B := I_B + I_{A'B'} \quad I_B = -1.905 - 2.299i \quad F(I_B) = (2.985 \quad -129.655)$$

$$I_C := I_C - I_{C'A'} \quad I_C = -0.981 + 3.645i \quad F(I_C) = (3.775 \quad 105.066)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 4.21 \text{ (A)} \quad A_2 = 3.775 \text{ (A)} \quad A_a = 7.122 \text{ (A)} \quad A_b = 5.638 \text{ (A)} \quad A_c = 4.439 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра Wa:

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

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = 1.625 \times 10^3$$

Показание ваттметра Wb:

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

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.466 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.091 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

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

$$S_r = 3.091 \times 10^3 - 2.04i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 3.091 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_{A'B'}|)^2 + (|I''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -2.04i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

