

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 609

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

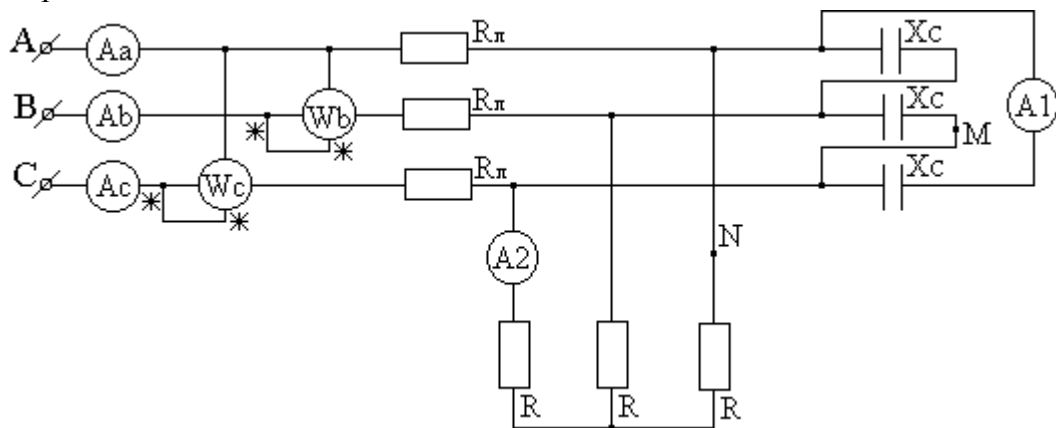
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 240 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 16.3 \quad R := 80 \quad X_C := 93$$

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.

$$X'_C := \frac{(-X_C \cdot i) \cdot (-X_C \cdot i)}{3 \cdot (-X_C \cdot i)} \quad X'_C = -31i$$

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

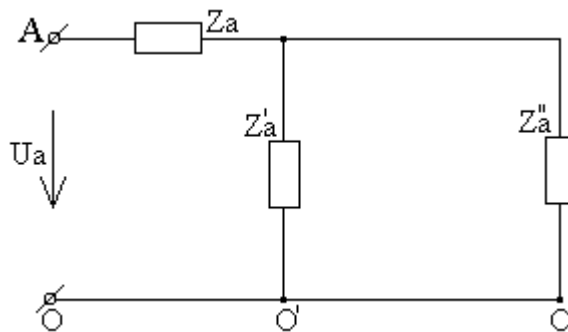
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (240 \ 0) \quad F(E_B) = (240 \ -120) \quad F(E_C) = (240 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 16.3$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 80$$

$$Z''_a := X'_C \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = -31i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 26.744 - 26.953i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 4.452 + 4.487i \quad F(I_A) = (6.321 \ 45.223)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = 1.66 - 6.099i \quad F(I_B) = (6.321 \ -74.777)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -6.112 + 1.612i \quad F(I_C) = (6.321 \ 165.223)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 10.444 - 26.953i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 167.431 - 73.135i$$

Токи звезды равны:

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z_a} & I_A &= 2.093 - 0.914i & F(I_A) &= (2.284 \quad -23.596) \\ I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_B &= -1.838 - 1.355i & F(I_B) &= (2.284 \quad -143.596) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_C &= -0.255 + 2.27i & F(I_C) &= (2.284 \quad 96.404) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 187.81 - 254.702i \quad F(U_{A'B'}) = (316.458 \quad -53.596)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I''_A &:= \frac{U_{A'B'}}{(-X_C \cdot i)} & I''_A &= 2.739 + 2.019i & F(I''_A) &= (3.403 \quad 36.404) \\ I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_B &= 0.38 - 3.382i & F(I''_B) &= (3.403 \quad -83.596) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_C &= -3.118 + 1.362i & F(I''_C) &= (3.403 \quad 156.404) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.403 \text{ (A)} \quad A_2 = 2.284 \text{ (A)} \quad A_a = 6.321 \text{ (A)} \quad A_b = 6.321 \text{ (A)} \quad A_c = 6.321 \text{ (A)}$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -360 + 207.846i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 2.535 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -360 - 207.846i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 670.183 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.205 \times 10^3$$

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.

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

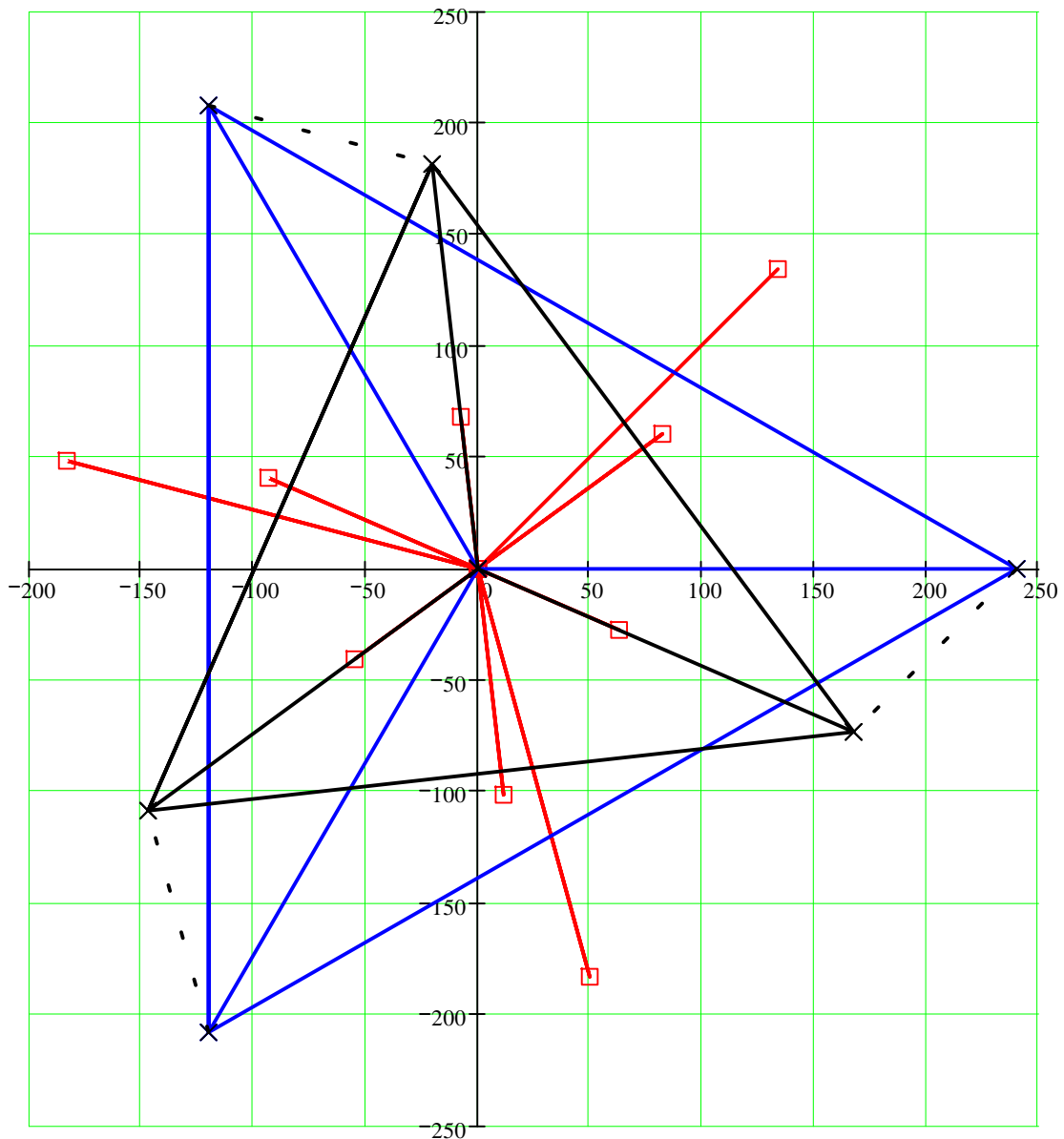
$$S_r = 3.205 \times 10^3 - 3.231i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

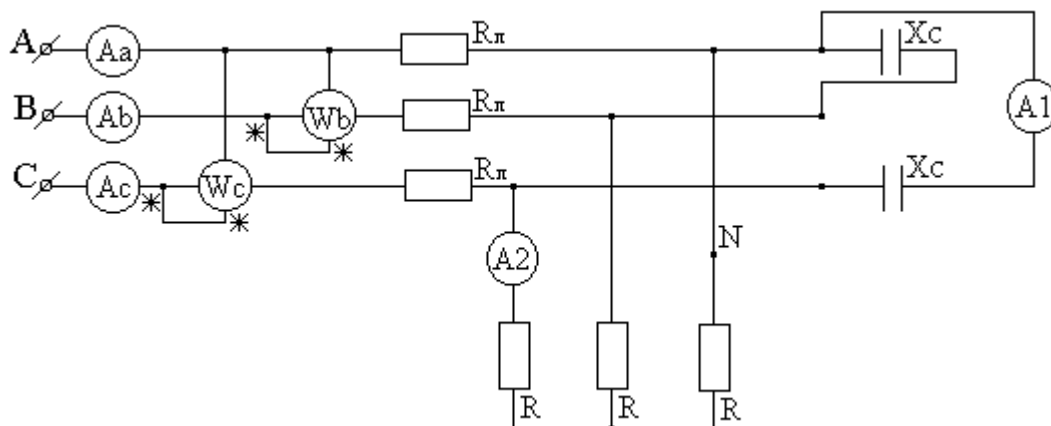
$$P_{pr} := [(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2] \cdot R_L + [(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2] \cdot R \quad P_{pr} = 3.205 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := [(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -3.231i \times 10^3$$

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.

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

$$R' = 240$$

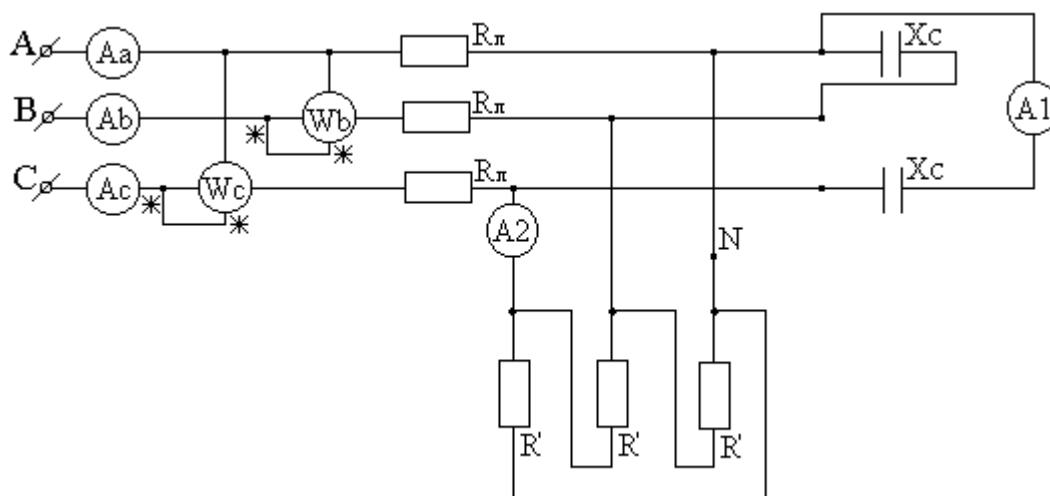
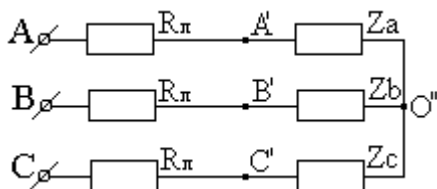


Схема преобразованной цепи.

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:

$$Z_{B'C'} := R' \quad Z_{B'C'} = 240$$

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

$$Z_{C'A'} := Z_{A'B'}$$

$$Z_{C'A'} = 31.333 - 80.859i$$

Сопровитление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}}$$

$$Z_a = -7.323 - 20.654i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}}$$

$$Z_b = 45.978 - 39.551i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}}$$

$$Z_c = 45.978 - 39.551i$$

Полные комплексные сопровитления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a$$

$$Z_{ea} = 8.977 - 20.654i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b$$

$$Z_{eb} = 62.278 - 39.551i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c$$

$$Z_{ec} = 62.278 - 39.551i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.018 + 0.041i$$

$$Y_B = 0.011 + 7.267i \times 10^{-3}$$

$$Y_C = 0.011 + 7.267i \times 10^{-3}$$

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

$$U_{O''O} = 107.362 + 51.673i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

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

$$U_{AO''} = 132.638 - 51.673i$$

$$F(U_{AO''}) = (142.348 \quad -21.285)$$

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

$$U_{BO''} = -227.362 - 259.519i$$

$$F(U_{BO''}) = (345.026 \quad -131.221)$$

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

$$U_{CO''} = -227.362 + 156.173i$$

$$F(U_{CO''}) = (275.832 \quad 145.515)$$

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

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

$$I_A = 4.452 + 4.487i$$

$$F(I_A) = (6.321 \quad 45.223)$$

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

$$I_B = -0.716 - 4.622i$$

$$F(I_B) = (4.677 \quad -98.803)$$

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

$$I_C = -3.736 + 0.135i$$

$$F(I_C) = (3.739 \quad 177.933)$$

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

$$U_{AB} = 360 + 207.846i$$

$$F(U_{AB}) = (415.692 \quad 30)$$

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

$$U_{AA'} = 72.569 + 73.135i$$

$$F(U_{AA'}) = (103.029 \quad 45.223)$$

$$\begin{aligned}
U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -415.692i & F(U_{BC}) &= (415.692 \quad -90) \\
U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= -11.666 - 75.333i & F(U_{BB'}) &= (76.231 \quad -98.803) \\
U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -360 + 207.846i & F(U_{CA}) &= (415.692 \quad 150) \\
U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= -60.903 + 2.198i & F(U_{CC'}) &= (60.943 \quad 177.933)
\end{aligned}$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 275.765 + 59.378i \quad F(U_{A'B'}) = (282.085 \quad 12.152)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = -49.237 - 338.162i \quad F(U_{B'C'}) = (341.728 \quad -98.284)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -226.528 + 278.784i \quad F(U_{C'A'}) = (359.215 \quad 129.096)$$

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

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{-X_C \cdot i} \quad I_{A'B'} = -0.638 + 2.965i \quad F(I_{A'B'}) = (3.033 \quad 102.152)$$

$$I_{C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{-X_C \cdot i} \quad I_{C'A'} = -2.998 - 2.436i \quad F(I_{C'A'}) = (3.863 \quad -140.904)$$

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

$$I_A := I_A - I_{A'B'} + I_{C'A'} \quad I_A = 2.093 - 0.914i \quad F(I_A) = (2.284 \quad -23.596)$$

$$I_B := I_B + I_{A'B'} \quad I_B = -1.354 - 1.656i \quad F(I_B) = (2.14 \quad -129.267)$$

$$I_C := I_C - I_{C'A'} \quad I_C = -0.739 + 2.571i \quad F(I_C) = (2.675 \quad 106.033)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.863 \text{ (A)} \quad A_2 = 2.675 \text{ (A)} \quad A_a = 6.321 \text{ (A)} \quad A_b = 4.677 \text{ (A)} \quad A_c = 3.739 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра Wa:

$$E_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{CA} = -360 + 207.846i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = 1.373 \times 10^3$$

Показание ваттметра Wb:

$$E_{BA} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{BA} = -360 - 207.846i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 1.218 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.591 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

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

$$S_r = 2.591 \times 10^3 - 2.243i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 2.591 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_{AB}|)^2 + (|I''_{CA}|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -2.243i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

