

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 689

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

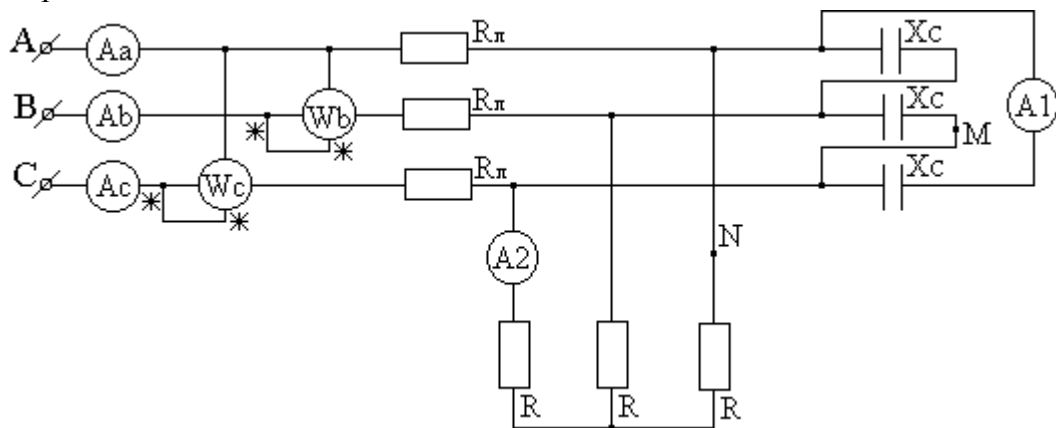
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 240 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 16.3 \quad R := 42 \quad X_C := 75$$

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.

Для определения токов в ветвях цепи (рис.1) необходимо первоначально произвести упрощение схемы, сведя её к схеме с элементами, соединенными звездой.

$$X'_C := \frac{(-X_C \cdot i) \cdot (-X_C \cdot i)}{3 \cdot (-X_C \cdot i)} \quad X'_C = -25i$$

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

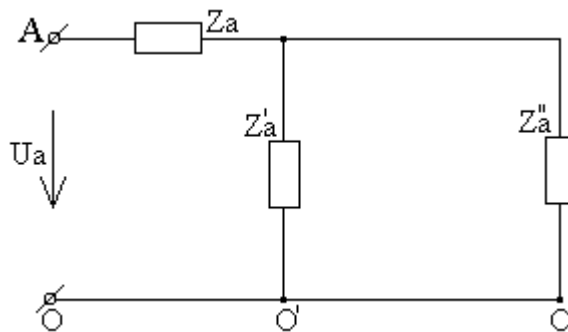
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

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

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

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 42$$

$$Z''_a := X'_C \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = -25i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 27.288 - 18.46i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 6.034 + 4.082i \quad F(I_A) = (7.285 \ 34.077)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = 0.518 - 7.266i \quad F(I_B) = (7.285 \ -85.923)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -6.552 + 3.185i \quad F(I_C) = (7.285 \ 154.077)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 10.988 - 18.46i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 141.648 - 66.533i$$

Токи звезды равны:

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z_a} & I_A &= 3.373 - 1.584i & F(I_A) &= (3.726 \quad -25.16) \\ I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_B &= -3.058 - 2.129i & F(I_B) &= (3.726 \quad -145.16) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I_C &= -0.314 + 3.713i & F(I_C) &= (3.726 \quad 94.84) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 154.852 - 222.47i \quad F(U_{A'B'}) = (271.057 \quad -55.16)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I''_A &:= \frac{U_{A'B'}}{(-X_C \cdot i)} & I''_A &= 2.966 + 2.065i & F(I''_A) &= (3.614 \quad 34.84) \\ I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_B &= 0.305 - 3.601i & F(I''_B) &= (3.614 \quad -85.16) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} & I''_C &= -3.271 + 1.537i & F(I''_C) &= (3.614 \quad 154.84) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.614 \text{ (A)} \quad A_2 = 3.726 \text{ (A)} \quad A_a = 7.285 \text{ (A)} \quad A_b = 7.285 \text{ (A)} \quad A_c = 7.285 \text{ (A)}$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -360 + 207.846i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 3.021 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -360 - 207.846i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 1.324 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 4.344 \times 10^3$$

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.

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

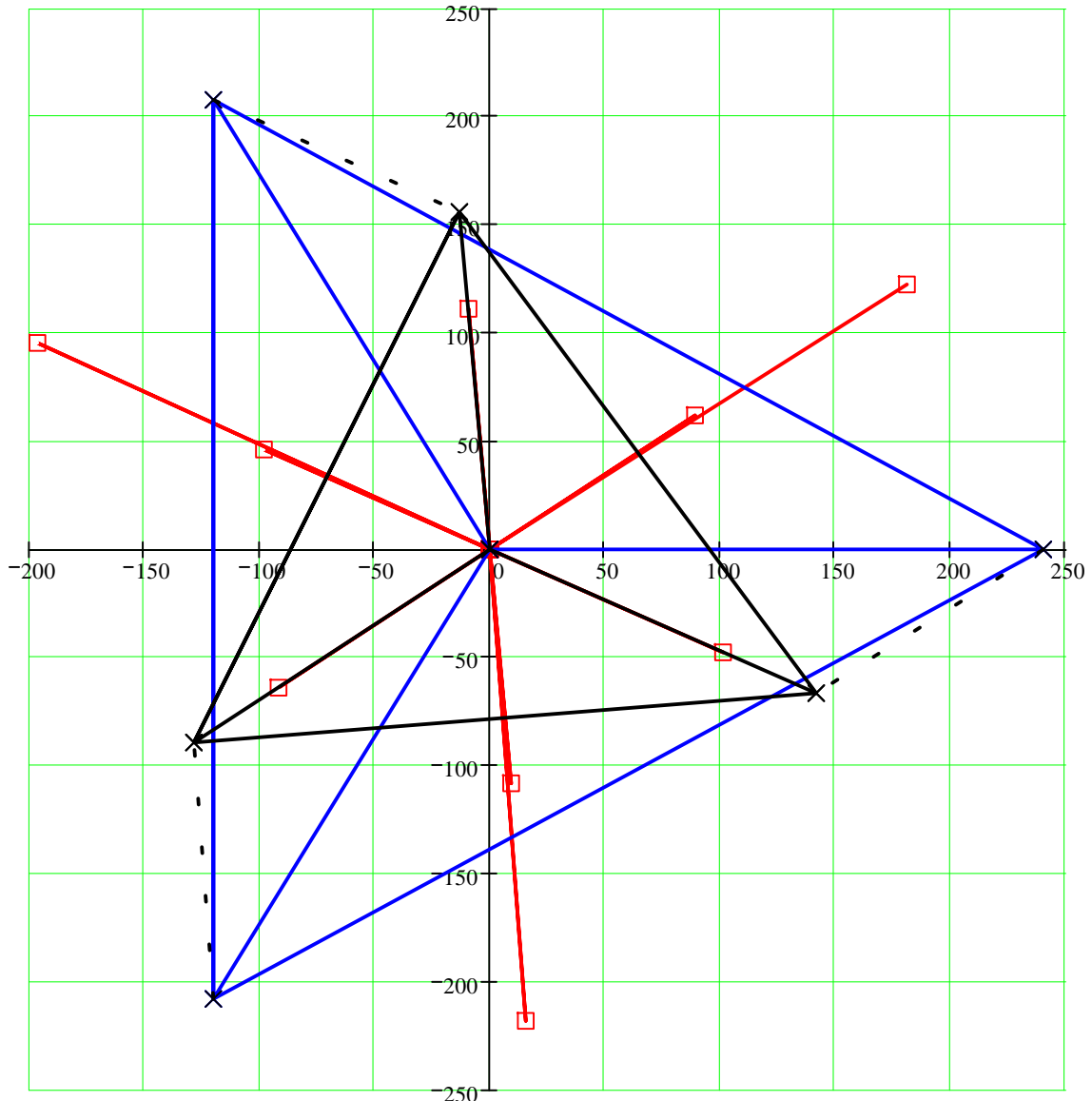
$$S_r = 4.344 \times 10^3 - 2.939i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

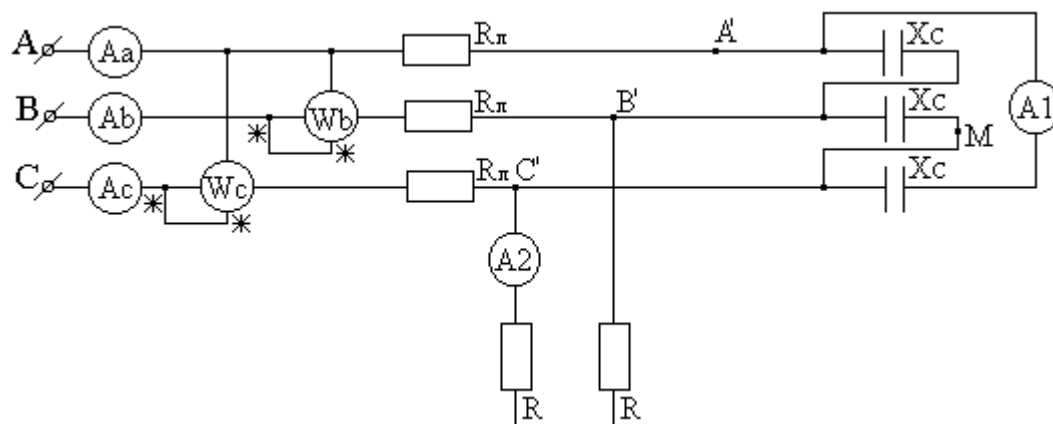
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.344 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -2.939i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

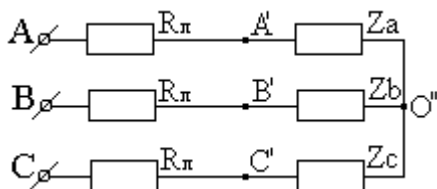


Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.



Несимметричная трёхфазная система.

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



Несимметричная звезда.

Сопротивления несимметричного треугольника равны:

$$R' := R + R$$

$$R' = 84$$

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

$$Z_{B'C'} = 37.26 - 41.732i$$

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

Сопротивление эквивалентной звезды:

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

$$Z_a = -5.494 - 28.27i$$

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

$$Z_b = 10.988 - 18.46i$$

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

$$Z_c = 10.988 - 18.46i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

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

$$Z_{ea} = 10.806 - 28.27i$$

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

$$Z_{eb} = 27.288 - 18.46i$$

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

$$Z_{ec} = 27.288 - 18.46i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.012 + 0.031i$$

$$Y_B = 0.025 + 0.017i$$

$$Y_C = 0.025 + 0.017i$$

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

$$U_{O''O} = 2.101 + 51.372i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

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

$$U_{AO''} = 237.899 - 51.372i$$

$$F(U_{AO''}) = (243.383 \quad -12.185)$$

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

$$U_{BO''} = -122.101 - 259.218i$$

$$F(U_{BO''}) = (286.536 \quad -115.222)$$

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

$$U_{CO''} = -122.101 + 156.474i$$

$$F(U_{CO''}) = (198.476 \quad 127.966)$$

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

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

$$I_A = 4.392 + 6.736i$$

$$F(I_A) = (8.042 \quad 56.896)$$

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

$$I_B = 1.339 - 8.594i$$

$$F(I_B) = (8.697 \quad -81.145)$$

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

$$I_C = -5.731 + 1.857i$$

$$F(I_C) = (6.024 \quad 162.043)$$

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

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

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

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

$$U_{AA'} = 71.591 + 109.803i$$

$$F(U_{AA'}) = (131.08 \quad 56.896)$$

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

$$U_{BC} = -415.692i$$

$$F(U_{BC}) = (415.692 \quad -90)$$

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

$$U_{BB'} = 21.824 - 140.077i$$

$$F(U_{BB'}) = (141.767 \quad -81.145)$$

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

$$U_{CA} = -360 + 207.846i$$

$$F(U_{CA}) = (415.692 \quad 150)$$

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

$$U_{CC'} = -93.415 + 30.274i$$

$$F(U_{CC'}) = (98.198 \quad 162.043)$$

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:

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

$$U_{A'B'} = 310.232 - 42.033i$$

$$F(U_{A'B'}) = (313.067 \quad -7.716)$$

аналогично вычисляют

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

$$U_{B'C'} = -115.239 - 245.341i$$

$$F(U_{B'C'}) = (271.057 \quad -115.16)$$

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

$$U_{C'A'} = -194.994 + 287.374i$$

$$F(U_{C'A'}) = (347.285 \quad 124.158)$$

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

$$I_C := \frac{U_{B'C'}}{R + jX}$$

$$I_C = -1.372 - 2.921i$$

$$F(I_C) = (3.227 \quad -115.16)$$

$$I_B := I_C$$

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

$$\begin{aligned} \Gamma''_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{-X_C \cdot i} & \Gamma''_{A'B'} &= 0.56 + 4.136i & F(\Gamma''_{A'B'}) &= (4.174 \quad 82.284) \\ \Gamma''_{B'C'} &:= \frac{U_{B'C'}}{-X_C \cdot i} & \Gamma''_{B'C'} &= 3.271 - 1.537i & F(\Gamma''_{B'C'}) &= (3.614 \quad -25.16) \\ \Gamma''_{C'A'} &:= \frac{U_{C'A'}}{-X_C \cdot i} & \Gamma''_{C'A'} &= -3.832 - 2.6i & F(\Gamma''_{C'A'}) &= (4.63 \quad -145.842) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 4.63 \text{ (A)} \quad A_2 = 3.227 \text{ (A)} \quad A_a = 8.042 \text{ (A)} \quad A_b = 8.697 \text{ (A)} \quad A_c = 6.024 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -360 + 207.846i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 2.449 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -360 - 207.846i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 1.304 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.753 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 3.753 \times 10^3 - 3.895i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 3.753 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma''_{A'B'}|)^2 + (|\Gamma''_{B'C'}|)^2 + (|\Gamma''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -3.895i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

