

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 313

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

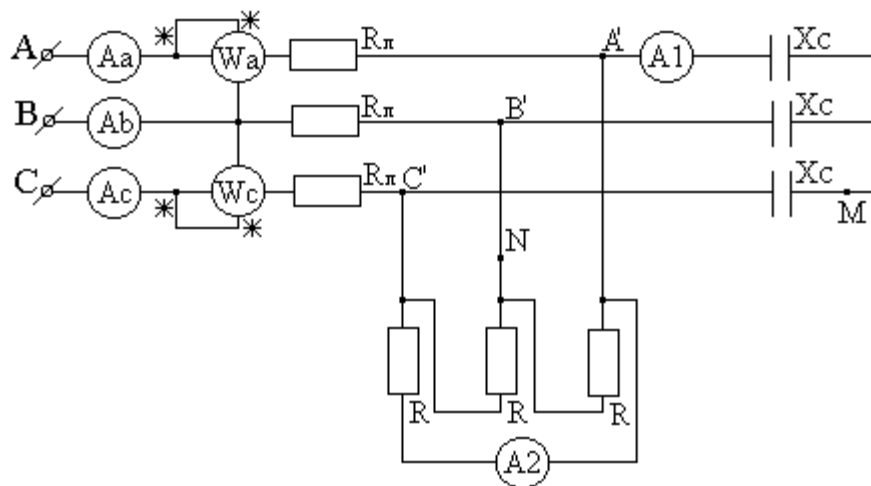
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 200 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 10 \quad R := 56 \quad X_C := 84$$

Обрыв проводится в точке N.



Общая схема трёхфазной цепи

Определение показаний измерительных приборов при симметричной нагрузке.

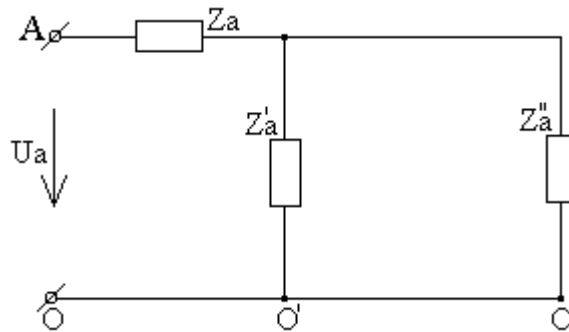
Так как нагрузка симметрическая, то будем проводить расчет только по одной фазе. Токи в остальных фазах будут такими же, только будут отличаться углы.

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

$$R' := \frac{R \cdot R}{3 \cdot R} \quad R' = 18.667$$

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

$$\begin{aligned} E_A &:= U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} & E_B &:= U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} & E_C &:= U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \\ F(E_A) &= (200 \ 0) & F(E_B) &= (200 \ -120) & F(E_C) &= (200 \ 120) \\ Z_a &:= R_L & Z_b &:= Z_a & Z_c &:= Z_b & Z_a &= 10 \\ Z'_a &:= R' & Z'_b &:= Z'_a & Z'_c &:= Z'_b & Z'_a &= 18.667 \\ Z''_a &:= -X_C \cdot i & Z''_b &:= Z''_a & Z''_c &:= Z''_b & Z''_a &= -84i \end{aligned}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 27.788 - 3.953i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.055 + 1.004i \quad F(I_A) = (7.126 \ 8.096)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.658 - 6.611i \quad F(I_B) = (7.126 \ -111.904)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.396 + 5.608i \quad F(I_C) = (7.126 \ 128.096)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$\begin{aligned} Z_{ea'} &:= \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} & Z_{ea'} &= 17.788 - 3.953i \\ U_{A'O} &:= I_A \cdot Z_{ea'} & U_{A'O} &= 129.455 - 10.035i \end{aligned}$$

Остальные токи равны:

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.119 + 1.541i \quad F(I''_A) = (1.546 \ 85.567)$$

$$\Gamma_B := \Gamma_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}}$$

$$\Gamma_B = 1.275 - 0.874i$$

$$F(\Gamma_B) = (1.546 \quad -34.433)$$

$$\Gamma_C := \Gamma_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}}$$

$$\Gamma_C = -1.394 - 0.667i$$

$$F(\Gamma_C) = (1.546 \quad -154.433)$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}}$$

$$U_{A'B'} = 185.491 - 127.164i$$

$$F(U_{A'B'}) = (224.895 \quad -34.433)$$

Остальные токи равны:

$$\Gamma_A := \frac{U_{A'B'}}{R}$$

$$\Gamma_A = 3.312 - 2.271i$$

$$F(\Gamma_A) = (4.016 \quad -34.433)$$

$$\Gamma_B := \Gamma_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}}$$

$$\Gamma_B = -3.623 - 1.733i$$

$$F(\Gamma_B) = (4.016 \quad -154.433)$$

$$\Gamma_C := \Gamma_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}}$$

$$\Gamma_C = 0.31 + 4.004i$$

$$F(\Gamma_C) = (4.016 \quad 85.567)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 1.546(A) \quad A_2 = 4.016(A) \quad A_a = 7.126(A) \quad A_b = 7.126(A) \quad A_c = 7.126(A)$$

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 :

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

$$E_{AC} = 300 - 173.205i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A})$$

$$W_a = 1.943 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

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

$$E_{BC} = 300 - 173.205i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B})$$

$$W_b = 2.29 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b$$

$$W = 4.233 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

Правильность расчетов проверим, составив баланс активных и реактивных мощностей. Мощность источника энергии определяют в виде суммы произведений комплексов фазных ЭДС (напряжений) на сопряженные комплексы токов соответствующих фаз. В симметричной трёхфазной системе мощность, отдаваемая в нагрузку источником, равна утроенной мощности одной фазы.

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

$$S_r = 4.233 \times 10^3 - 602.115i$$

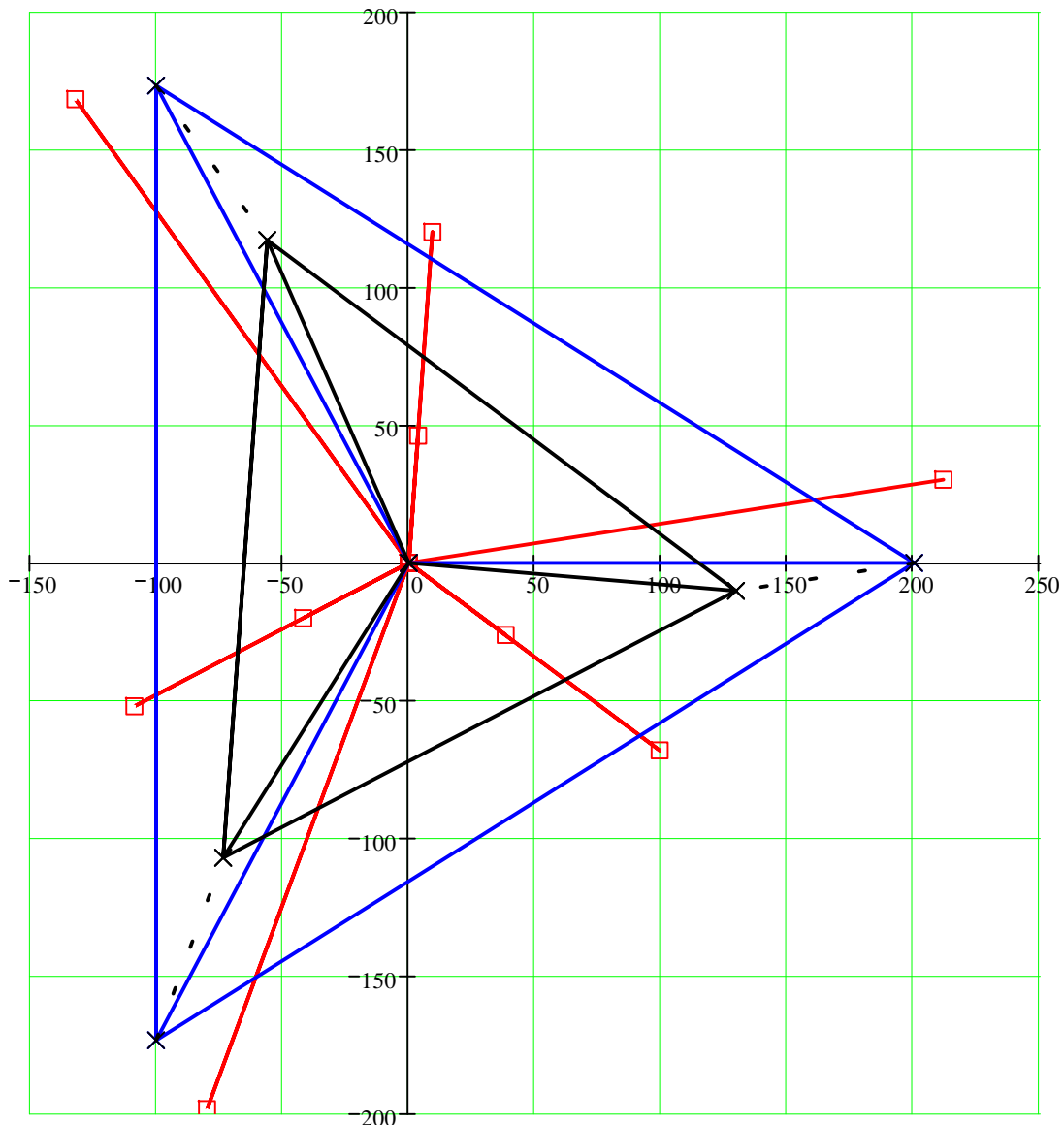
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.233 \times 10^3$$

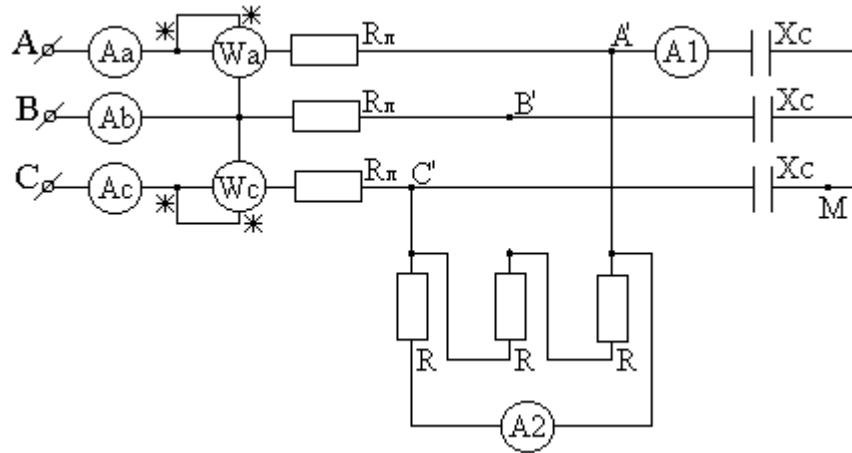
$$Q_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i)$$

$$Q_{pr} = -602.115i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.

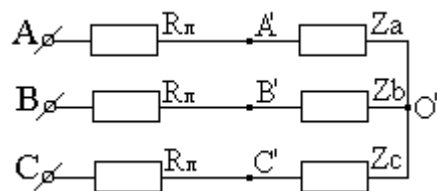


Несимметричная трёхфазная система.

С целью упрощения схемы несимметричной трёхфазной системы нагрузку с элементами, соединёнными звездой, следует заменить эквивалентным треугольником.

$$X'_C := X_C + X_C + \frac{X_C \cdot X_C}{X_C} \quad X'_C = 252$$

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



Несимметричная звезда.

Сопротивления несимметричного треугольника равны:

$$Z_{C'A'} := \frac{\left[\frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} \right] \cdot (-X'_C \cdot i)}{(-X'_C \cdot i) + \left[\frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} \right]} \quad Z_{C'A'} = 36.532 - 5.412i$$

$$Z_{A'B'} := -X'_C \cdot i \qquad Z_{B'C'} := Z_{A'B'} \qquad Z_{B'C'} = -252i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B''} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 17.788 - 3.953i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = -8.894 - 124.024i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 17.788 - 3.953i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

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

$$Z_{ea} = 27.788 - 3.953i$$

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

$$Z_{eb} = 1.106 - 124.024i$$

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

$$Z_{ec} = 27.788 - 3.953i$$

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

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

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

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

$$Y_A = 0.035 + 5.018i \times 10^{-3}$$

$$Y_B = 7.189 \times 10^{-5} + 8.062i \times 10^{-3}$$

$$Y_C = 0.035 + 5.018i \times 10^{-3}$$

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

$$U_{O''O} = 73.509 + 63.188i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

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

$$U_{AO''} = 126.491 - 63.188i$$

$$F(U_{AO''}) = (141.396 \quad -26.544)$$

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

$$U_{BO''} = -173.509 - 236.393i$$

$$F(U_{BO''}) = (293.235 \quad -126.278)$$

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

$$U_{CO''} = -173.509 + 110.017i$$

$$F(U_{CO''}) = (205.449 \quad 147.622)$$

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

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

$$I_A = 4.779 - 1.594i$$

$$F(I_A) = (5.038 \quad -18.448)$$

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

$$I_B = 1.893 - 1.416i$$

$$F(I_B) = (2.364 \quad -36.789)$$

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

$$I_C = -6.672 + 3.01i$$

$$F(I_C) = (7.32 \quad 155.718)$$

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

$$U_{AB} = 300 + 173.205i$$

$$F(U_{AB}) = (346.41 \quad 30)$$

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

$$U_{AA'} = 47.787 - 15.941i$$

$$F(U_{AA'}) = (50.376 \quad -18.448)$$

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

$$U_{BC} = -346.41i$$

$$F(U_{BC}) = (346.41 \quad -90)$$

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

$$U_{BB'} = 18.934 - 14.159i$$

$$F(U_{BB'}) = (23.643 \quad -36.789)$$

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

$$U_{CA} = -300 + 173.205i$$

$$F(U_{CA}) = (346.41 \quad 150)$$

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

$$U_{CC'} = -66.721 + 30.1i$$

$$F(U_{CC'}) = (73.197 \quad 155.718)$$

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:

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

$$U_{A'B'} = 271.147 + 174.987i$$

$$F(U_{A'B'}) = (322.709 \quad 32.837)$$

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

$$U_{B'C'} = -85.656 - 302.151i$$

$$F(U_{B'C'}) = (314.058 \quad -105.827)$$

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

$$U_{C'A'} = -185.491 + 127.164i$$

$$F(U_{C'A'}) = (224.895 \quad 145.567)$$

Остальные токи:

$$\Gamma_{1C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{2R} \quad \Gamma_{1C'A'} = -1.656 + 1.135i \quad F(\Gamma_{1C'A'}) = (2.008 \quad 145.567)$$

$$\Gamma_{2C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{R} \quad \Gamma_{2C'A'} = -3.312 + 2.271i \quad F(\Gamma_{2C'A'}) = (4.016 \quad 145.567)$$

$$\Gamma''_A := I_A + (\Gamma_{1C'A'} + \Gamma_{2C'A'}) \quad \Gamma''_A = -0.19 + 1.812i \quad F(\Gamma''_A) = (1.822 \quad 95.979)$$

$$\Gamma''_B := I_B \quad \Gamma''_B = 1.893 - 1.416i \quad F(\Gamma''_B) = (2.364 \quad -36.789)$$

$$\Gamma''_C := I_C - (\Gamma_{1C'A'} + \Gamma_{2C'A'}) \quad \Gamma''_C = -1.704 - 0.396i \quad F(\Gamma''_C) = (1.749 \quad -166.909)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 1.822 \text{ (A)} \quad A_2 = 4.016 \text{ (A)} \quad A_a = 5.038 \text{ (A)} \quad A_b = 2.364 \text{ (A)} \quad A_c = 7.32 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра Wa:

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 300 - 173.205i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 1.71 \times 10^3$$

Показание ваттметра Wb:

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 300 - 173.205i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 490.476$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.2 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.2 \times 10^3 - 1.005i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_{1C'A'}|)^2 \right] \cdot 2R + (|\Gamma_{2C'A'}|)^2 \cdot R \quad P_{pr} = 2.2 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma''_A|)^2 + (|\Gamma''_B|)^2 + (|\Gamma''_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -1.005i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

