

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 163

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

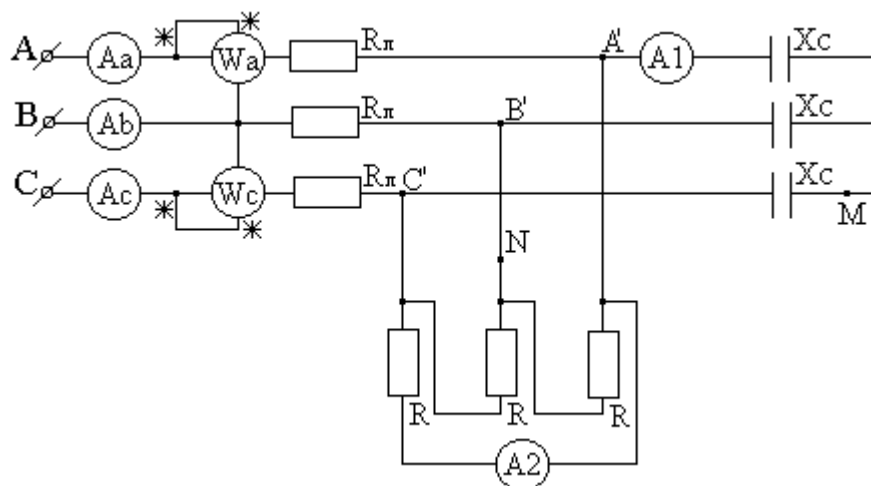
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 220 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 14.6 \quad R := 51 \quad X_C := 96$$

Обрыв проводится в точке N.



Общая схема трёхфазной цепи

Определение показаний измерительных приборов при симметричной нагрузке.

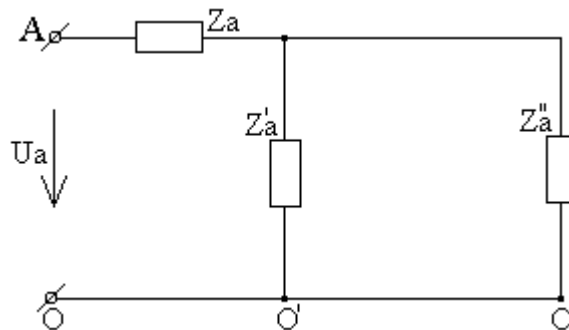
Так как нагрузка симметрическая, то будем проводить расчет только по одной фазе. Токи в остальных фазах будут такими же, только будут отличаться углы.

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

$$R' := \frac{R \cdot R}{3 \cdot R} \quad R' = 17$$

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

$$\begin{aligned} E_A &:= U_A \cdot e^{i\psi_A \frac{\pi}{180}} & E_B &:= U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \frac{\pi}{180}} & E_C &:= U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \frac{\pi}{180}} \\ F(E_A) &= (220 \ 0) & F(E_B) &= (220 \ -120) & F(E_C) &= (220 \ 120) \\ Z_a &:= R_L & Z_b &:= Z_a & Z_c &:= Z_b & Z_a &= 14.6 \\ Z'_a &:= R' & Z'_b &:= Z'_a & Z'_c &:= Z'_b & Z'_a &= 17 \\ Z''_a &:= -X_C \cdot i & Z''_b &:= Z''_a & Z''_c &:= Z''_b & Z''_a &= -96i \end{aligned}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 31.083 - 2.919i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.016 + 0.659i \quad F(I_A) = (7.047 \ 5.365)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -2.937 - 6.405i \quad F(I_B) = (7.047 \ -114.635)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.079 + 5.747i \quad F(I_C) = (7.047 \ 125.365)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$\begin{aligned} Z_{ea'} &:= \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} & Z_{ea'} &= 16.483 - 2.919i \\ U_{A'O} &:= I_A \cdot Z_{ea'} & U_{A'O} &= 117.567 - 9.619i \end{aligned}$$

Остальные токи равны:

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.1 + 1.225i \quad F(I''_A) = (1.229 \ 85.323)$$

$$\begin{aligned} \Gamma''_B &:= \Gamma''_A \cdot e^{-i120\frac{\pi}{180}} & \Gamma''_B &= 1.01 - 0.699i & F(\Gamma''_B) &= (1.229 \quad -34.677) \\ \Gamma''_C &:= \Gamma''_A \cdot e^{i120\frac{\pi}{180}} & \Gamma''_C &= -1.111 - 0.526i & F(\Gamma''_C) &= (1.229 \quad -154.677) \end{aligned}$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30\frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 168.021 - 116.245i \quad F(U_{A'B'}) = (204.313 \quad -34.677)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} \Gamma'_A &:= \frac{U_{A'B'}}{R} & \Gamma'_A &= 3.295 - 2.279i & F(\Gamma'_A) &= (4.006 \quad -34.677) \\ \Gamma'_B &:= \Gamma'_A \cdot e^{-i120\frac{\pi}{180}} & \Gamma'_B &= -3.621 - 1.713i & F(\Gamma'_B) &= (4.006 \quad -154.677) \\ \Gamma'_C &:= \Gamma'_A \cdot e^{i120\frac{\pi}{180}} & \Gamma'_C &= 0.327 + 3.993i & F(\Gamma'_C) &= (4.006 \quad 85.323) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 1.229(A) \quad A_2 = 4.006(A) \quad A_a = 7.047(A) \quad A_b = 7.047(A) \quad A_c = 7.047(A)$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{AC} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30\frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 330 - 190.526i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 2.19 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30\frac{\pi}{180}} & E_{BC} &= 330 - 190.526i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 2.441 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 4.631 \times 10^3$$

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.

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

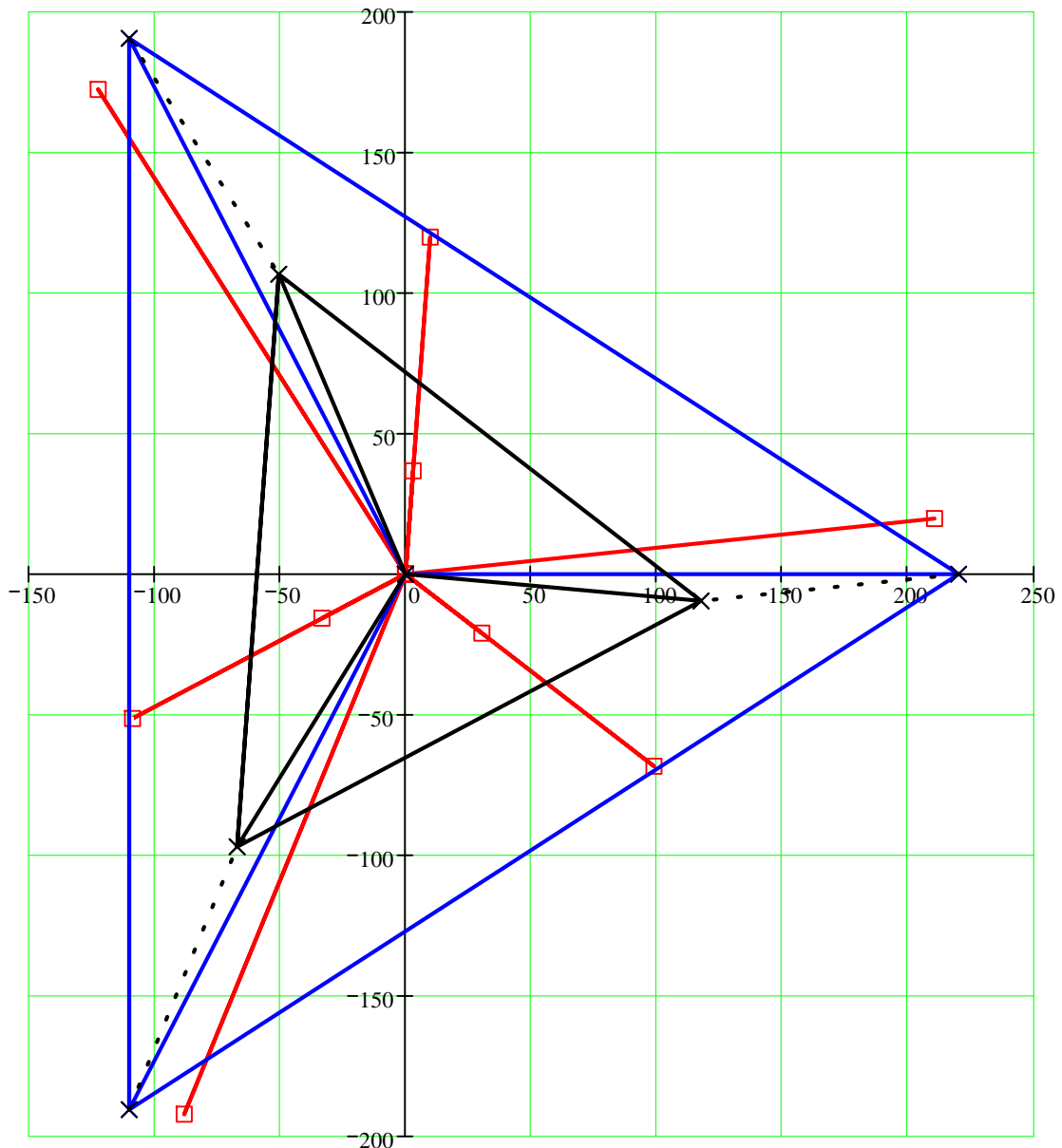
$$S_r = 4.631 \times 10^3 - 434.832i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

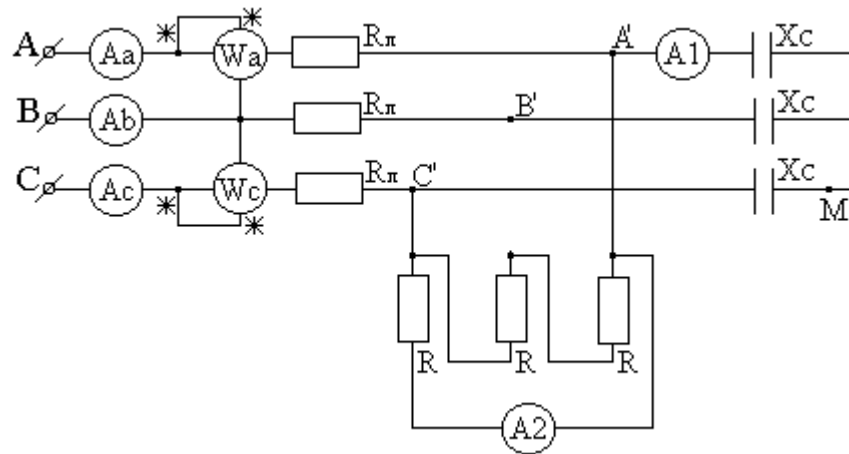
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 4.631 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -434.832i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.

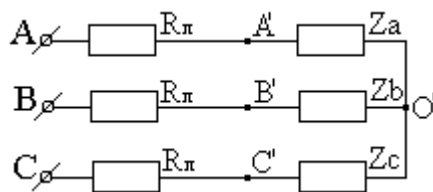


Несимметричная трёхфазная система.

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

$$X'_C := X_C + X_C + \frac{X_C \cdot X_C}{X_C} \quad X'_C = 288$$

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:

$$Z_{C'A'} := \frac{\left[\frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} \right] \cdot (-X'_C \cdot i)}{(-X'_C \cdot i) + \left[\frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} \right]} \quad Z_{C'A'} = 33.533 - 3.959i$$

$$Z_{A'B'} := -X'_C \cdot i \quad Z_{B'C'} := Z_{A'B'} \quad Z_{B'C'} = -288i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 16.483 - 2.919i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = -8.242 - 142.541i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 16.483 - 2.919i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$\begin{aligned} Z_{ea} &:= Z_a + Z_a & Z_{ea} &= 31.083 - 2.919i \\ Z_{eb} &:= Z_b + Z_b & Z_{eb} &= 6.358 - 142.541i \\ Z_{ec} &:= Z_c + Z_c & Z_{ec} &= 31.083 - 2.919i \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Y_A &:= \frac{1}{Z_{ea}} & Y_B &:= \frac{1}{Z_{eb}} & Y_C &:= \frac{1}{Z_{ec}} \\ Y_A &= 0.032 + 2.995i \times 10^{-3} & Y_B &= 3.123 \times 10^{-4} + 7.002i \times 10^{-3} & Y_C &= 0.032 + 2.995i \times 10^{-3} \\ U_{O''O} &:= \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} & U_{O''O} &= 80.435 + 70.69i \end{aligned}$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$\begin{aligned} U_{AO''} &:= E_A - U_{O''O} & U_{AO''} &= 139.565 - 70.69i & F(U_{AO''}) &= (156.446 \quad -26.862) \\ U_{BO''} &:= E_B - U_{O''O} & U_{BO''} &= -190.435 - 261.216i & F(U_{BO''}) &= (323.263 \quad -126.093) \\ U_{CO''} &:= E_C - U_{O''O} & U_{CO''} &= -190.435 + 119.836i & F(U_{CO''}) &= (225.002 \quad 147.819) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} & I_A &= 4.663 - 1.836i & F(I_A) &= (5.011 \quad -21.498) \\ I_B &:= \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} & I_B &= 1.769 - 1.415i & F(I_B) &= (2.266 \quad -38.647) \\ I_C &:= \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} & I_C &= -6.432 + 3.251i & F(I_C) &= (7.207 \quad 153.184) \\ U_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 - \frac{\pi}{180}} & U_{AB} &= 330 + 190.526i & F(U_{AB}) &= (381.051 \quad 30) \\ U_{AA'} &:= I_A \cdot Z_a & U_{AA'} &= 68.073 - 26.811i & F(U_{AA'}) &= (73.162 \quad -21.498) \\ U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 - \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -381.051i & F(U_{BC}) &= (381.051 \quad -90) \\ U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= 25.834 - 20.658i & F(U_{BB'}) &= (33.078 \quad -38.647) \\ U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 - \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -330 + 190.526i & F(U_{CA}) &= (381.051 \quad 150) \\ U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= -93.907 + 47.469i & F(U_{CC'}) &= (105.223 \quad 153.184) \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} U_{A'B'} &:= U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} & U_{A'B'} &= 287.761 + 196.679i & F(U_{A'B'}) &= (348.553 \quad 34.352) \\ U_{B'C'} &:= U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} & U_{B'C'} &= -119.741 - 312.924i & F(U_{B'C'}) &= (335.051 \quad -110.939) \\ U_{C'A'} &:= U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} & U_{C'A'} &= -168.021 + 116.245i & F(U_{C'A'}) &= (204.313 \quad 145.323) \end{aligned}$$

Остальный токи:

$$\Gamma_{1C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{2R} \quad \Gamma_{1C'A'} = -1.647 + 1.14i \quad F(\Gamma_{1C'A'}) = (2.003 \quad 145.323)$$

$$\Gamma_{2C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{R} \quad \Gamma_{2C'A'} = -3.295 + 2.279i \quad F(\Gamma_{2C'A'}) = (4.006 \quad 145.323)$$

$$\Gamma_A := I_A + (\Gamma_{1C'A'} + \Gamma_{2C'A'}) \quad \Gamma_A = -0.279 + 1.583i \quad F(\Gamma_A) = (1.607 \quad 100.008)$$

$$\Gamma_B := I_B \quad \Gamma_B = 1.769 - 1.415i \quad F(\Gamma_B) = (2.266 \quad -38.647)$$

$$\Gamma_C := I_C - (\Gamma_{1C'A'} + \Gamma_{2C'A'}) \quad \Gamma_C = -1.49 - 0.168i \quad F(\Gamma_C) = (1.5 \quad -173.581)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 1.607(A) \quad A_2 = 4.006(A) \quad A_a = 5.011(A) \quad A_b = 2.266(A) \quad A_c = 7.207(A)$$

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

Показание ваттметра Wa:

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 330 - 190.526i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 1.889 \times 10^3$$

Показание ваттметра Wb:

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 330 - 190.526i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 539.164$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.428 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.428 \times 10^3 - 956.57i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_{1C'A'}|)^2 \right] \cdot 2R + (|\Gamma_{2C'A'}|)^2 \cdot R \quad P_{pr} = 2.428 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -956.57i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

