

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 683

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

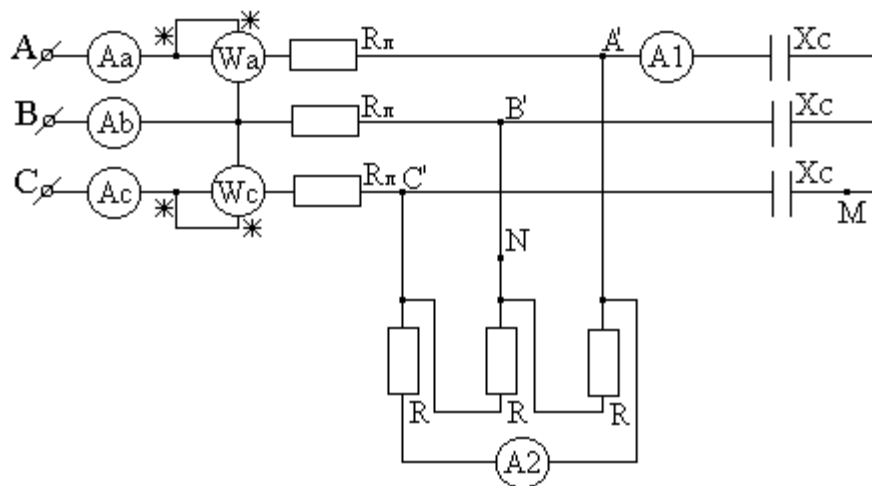
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

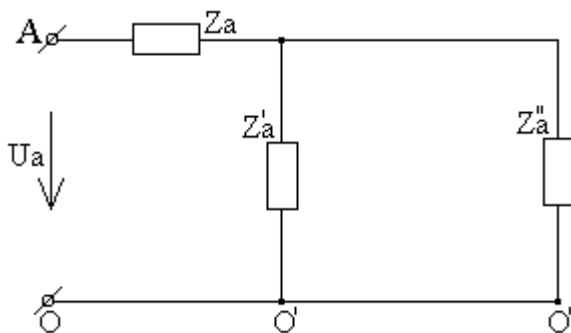
Так как нагрузка симметрическая, то будем проводить расчет только по одной фазе. Токи в остальных фазах будут такими же, только будут отличаться углы.

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

$$R' := \frac{R \cdot R}{3 \cdot R} \quad R' = 14$$

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

$$\begin{aligned} E_A &:= U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} & E_B &:= U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} & E_C &:= U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \\ F(E_A) &= (240 \ 0) & F(E_B) &= (240 \ -120) & F(E_C) &= (240 \ 120) \\ Z_a &:= R_L & Z_b &:= Z_a & Z_c &:= Z_b & Z_a &= 16.3 \\ Z'_a &:= R' & Z'_b &:= Z'_a & Z'_c &:= Z'_b & Z'_a &= 14 \\ Z''_a &:= -X_C \cdot i & Z''_b &:= Z''_a & Z''_c &:= Z''_b & Z''_a &= -75i \end{aligned}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 29.829 - 2.525i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.989 + 0.676i \quad F(I_A) = (8.017 \ 4.839)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -3.409 - 7.257i \quad F(I_B) = (8.017 \ -115.161)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.58 + 6.58i \quad F(I_C) = (8.017 \ 124.839)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$\begin{aligned} Z_{ea'} &:= \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} & Z_{ea'} &= 13.529 - 2.525i \\ U_{A'O} &:= I_A \cdot Z_{ea'} & U_{A'O} &= 109.784 - 11.024i \end{aligned}$$

Остальные токи равны:

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.147 + 1.464i \quad F(I''_A) = (1.471 \ 84.266)$$

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

$$\Gamma_B = 1.194 - 0.859i$$

$$F(\Gamma_B) = (1.471 \quad -35.734)$$

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

$$\Gamma_C = -1.341 - 0.605i$$

$$F(\Gamma_C) = (1.471 \quad -155.734)$$

Линейное напряжение равно:

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

$$U_{A'B'} = 155.129 - 111.612i$$

$$F(U_{A'B'}) = (191.108 \quad -35.734)$$

Остальные токи равны:

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

$$\Gamma_A = 3.694 - 2.657i$$

$$F(\Gamma_A) = (4.55 \quad -35.734)$$

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

$$\Gamma_B = -4.148 - 1.87i$$

$$F(\Gamma_B) = (4.55 \quad -155.734)$$

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

$$\Gamma_C = 0.455 + 4.527i$$

$$F(\Gamma_C) = (4.55 \quad 84.266)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 1.471 \text{ (A)} \quad A_2 = 4.55 \text{ (A)} \quad A_a = 8.017 \text{ (A)} \quad A_b = 8.017 \text{ (A)} \quad A_c = 8.017 \text{ (A)}$$

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 :

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

$$E_{AC} = 360 - 207.846i$$

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

$$W_a = 2.735 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

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

$$E_{BC} = 360 - 207.846i$$

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

$$W_b = 3.017 \times 10^3$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b$$

$$W = 5.752 \times 10^3$$

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.

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

$$S_r = 5.752 \times 10^3 - 486.963i$$

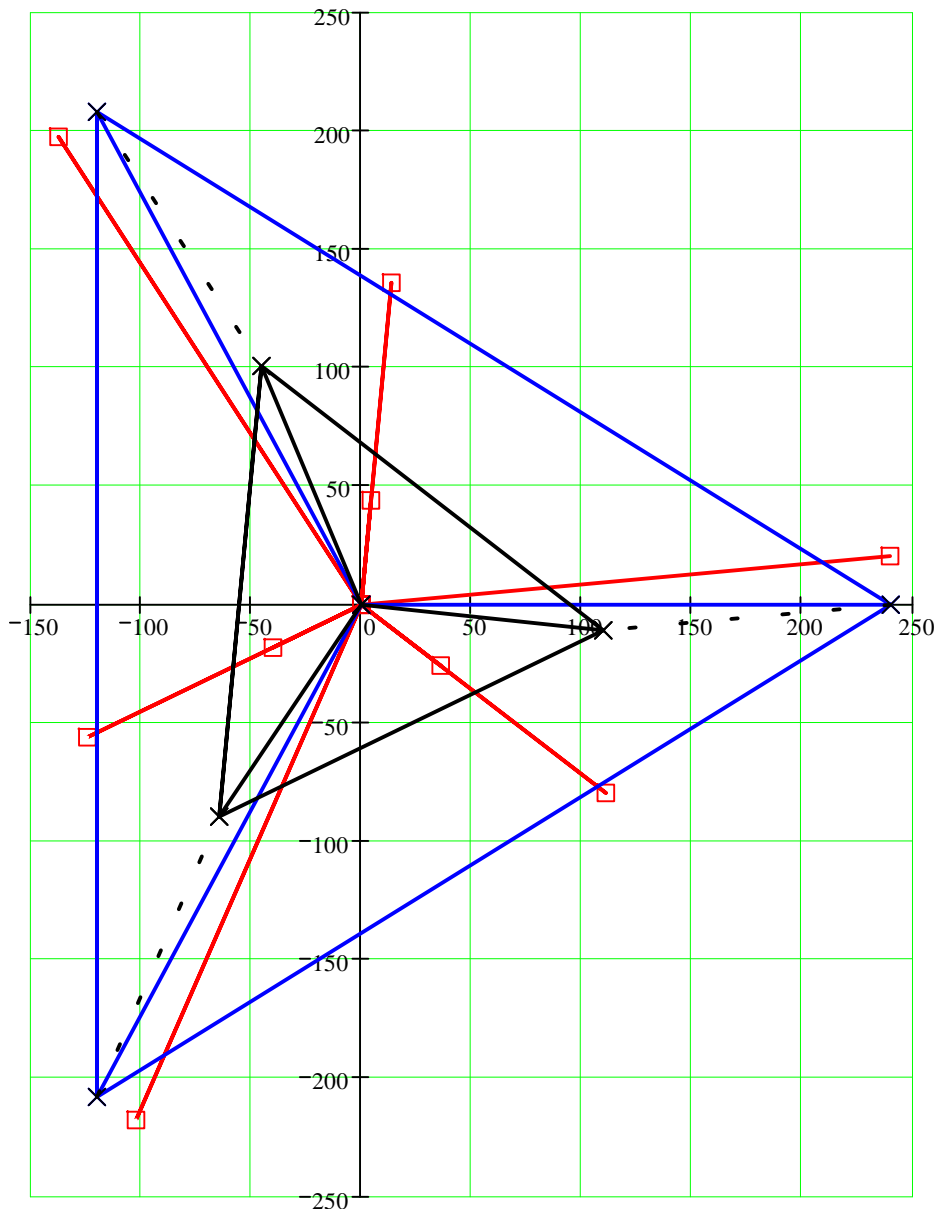
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 5.752 \times 10^3$$

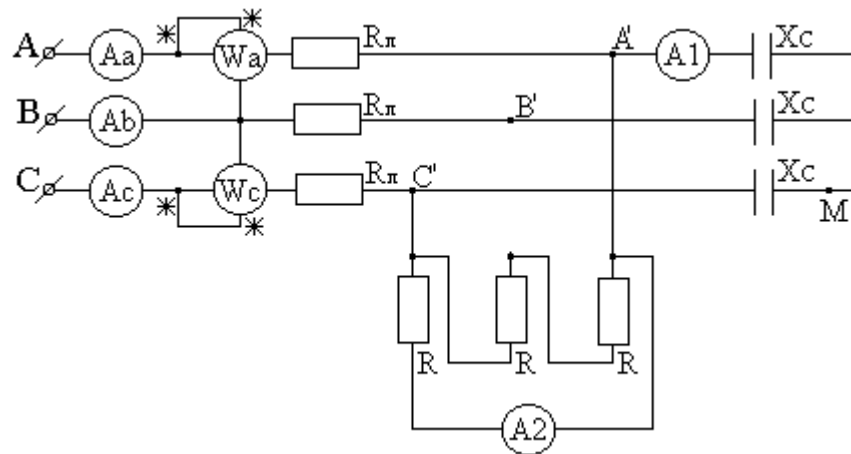
$$Q_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i)$$

$$Q_{pr} = -486.963i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.

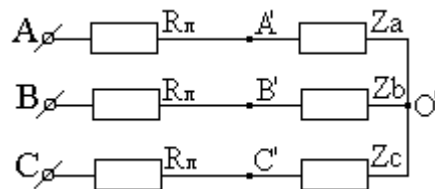


Несимметричная трёхфазная система.

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

$$X'_C := X_C + X_C + \frac{X_C \cdot X_C}{X_C} \qquad X'_C = 225$$

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:

$$Z_{C'A'} := \frac{\left[\frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} \right] \cdot (-X'_C \cdot i)}{(-X'_C \cdot i) + \left[\frac{R \cdot (R + R)}{R + R + R} \right]} \qquad Z_{C'A'} = 27.573 - 3.431i$$

$$Z_{A'B'} := -X'_C \cdot i \qquad Z_{B'C'} := Z_{A'B'} \qquad Z_{B'C'} = -225i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \qquad Z_a = 13.529 - 2.525i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \qquad Z_b = -6.764 - 111.237i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \qquad Z_c = 13.529 - 2.525i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$\begin{aligned} Z_{ea} &:= Z_a + Z_a & Z_{ea} &= 29.829 - 2.525i \\ Z_{eb} &:= Z_b + Z_b & Z_{eb} &= 9.536 - 111.237i \\ Z_{ec} &:= Z_c + Z_c & Z_{ec} &= 29.829 - 2.525i \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} Y_A &:= \frac{1}{Z_{ea}} & Y_B &:= \frac{1}{Z_{eb}} & Y_C &:= \frac{1}{Z_{ec}} \\ Y_A &= 0.033 + 2.818i \times 10^{-3} & Y_B &= 7.65 \times 10^{-4} + 8.924i \times 10^{-3} & Y_C &= 0.033 + 2.818i \times 10^{-3} \\ U_{O''O} &:= \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} & U_{O''O} &= 91.86 + 69.637i \end{aligned}$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$\begin{aligned} U_{AO''} &:= E_A - U_{O''O} & U_{AO''} &= 148.14 - 69.637i & F(U_{AO''}) &= (163.691 \quad -25.177) \\ U_{BO''} &:= E_B - U_{O''O} & U_{BO''} &= -211.86 - 277.483i & F(U_{BO''}) &= (349.115 \quad -127.362) \\ U_{CO''} &:= E_C - U_{O''O} & U_{CO''} &= -211.86 + 138.209i & F(U_{CO''}) &= (252.955 \quad 146.881) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} I_A &:= \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} & I_A &= 5.127 - 1.9i & F(I_A) &= (5.468 \quad -20.338) \\ I_B &:= \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} & I_B &= 2.314 - 2.103i & F(I_B) &= (3.127 \quad -42.262) \\ I_C &:= \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} & I_C &= -7.442 + 4.003i & F(I_C) &= (8.45 \quad 151.72) \\ U_{AB} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & U_{AB} &= 360 + 207.846i & F(U_{AB}) &= (415.692 \quad 30) \\ U_{AA'} &:= I_A \cdot Z_a & U_{AA'} &= 83.575 - 30.978i & F(U_{AA'}) &= (89.131 \quad -20.338) \\ U_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & U_{BC} &= -415.692i & F(U_{BC}) &= (415.692 \quad -90) \\ U_{BB'} &:= I_B \cdot Z_b & U_{BB'} &= 37.722 - 34.278i & F(U_{BB'}) &= (50.97 \quad -42.262) \\ U_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & U_{CA} &= -360 + 207.846i & F(U_{CA}) &= (415.692 \quad 150) \\ U_{CC'} &:= I_C \cdot Z_c & U_{CC'} &= -121.297 + 65.256i & F(U_{CC'}) &= (137.736 \quad 151.72) \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} U_{A'B'} &:= U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} & U_{A'B'} &= 314.147 + 204.546i & F(U_{A'B'}) &= (374.87 \quad 33.069) \\ U_{B'C'} &:= U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} & U_{B'C'} &= -159.019 - 316.158i & F(U_{B'C'}) &= (353.897 \quad -116.701) \\ U_{C'A'} &:= U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} & U_{C'A'} &= -155.129 + 111.612i & F(U_{C'A'}) &= (191.108 \quad 144.266) \end{aligned}$$

Остальный токи:

$$\Gamma_{1C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{2R} \quad \Gamma_{1C'A'} = -1.847 + 1.329i \quad F(\Gamma_{1C'A'}) = (2.275 \quad 144.266)$$

$$\Gamma_{2C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{R} \quad \Gamma_{2C'A'} = -3.694 + 2.657i \quad F(\Gamma_{2C'A'}) = (4.55 \quad 144.266)$$

$$\Gamma''_A := I_A + (\Gamma_{1C'A'} + \Gamma_{2C'A'}) \quad \Gamma''_A = -0.413 + 2.086i \quad F(\Gamma''_A) = (2.126 \quad 101.202)$$

$$\Gamma''_B := I_B \quad \Gamma''_B = 2.314 - 2.103i \quad F(\Gamma''_B) = (3.127 \quad -42.262)$$

$$\Gamma''_C := I_C - (\Gamma_{1C'A'} + \Gamma_{2C'A'}) \quad \Gamma''_C = -1.901 + 0.017i \quad F(\Gamma''_C) = (1.901 \quad 179.479)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 2.126 (A) \quad A_2 = 4.55 (A) \quad A_a = 5.468 (A) \quad A_b = 3.127 (A) \quad A_c = 8.45 (A)$$

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

Показание ваттметра Wa:

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

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 2.241 \times 10^3$$

Показание ваттметра Wb:

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

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 874.184$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 3.115 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 3.115 \times 10^3 - 1.344i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_{1C'A'}|)^2 \right] \cdot 2R + (|\Gamma_{2C'A'}|)^2 \cdot R \quad P_{pr} = 3.115 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma''_A|)^2 + (|\Gamma''_B|)^2 + (|\Gamma''_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -1.344i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

