

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 017

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

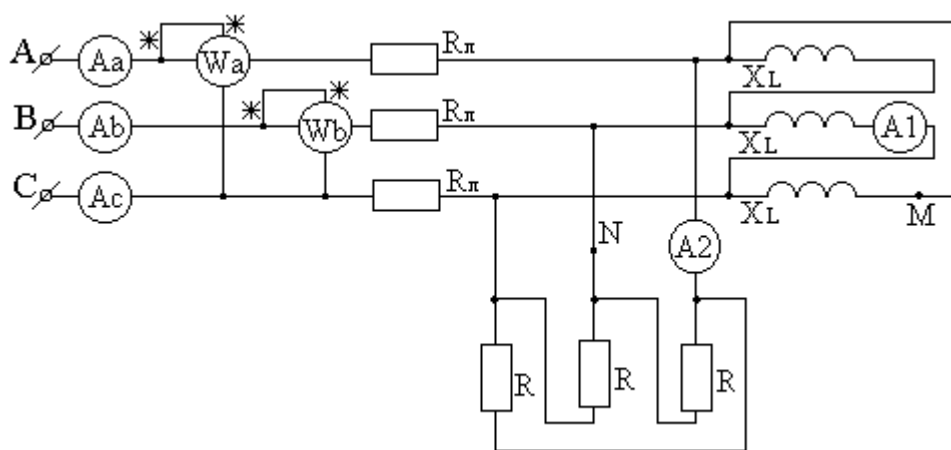
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 127 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 12 \quad R := 56 \quad X_L := 33$$

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.

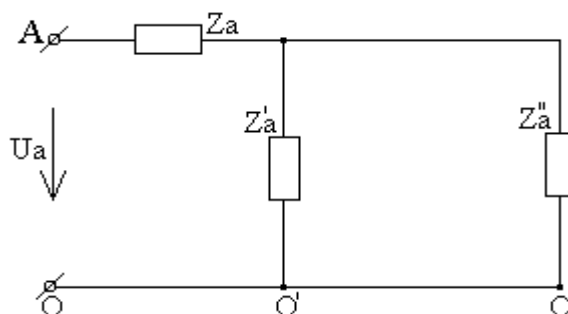
За опорную примем фазу А. Фазные напряжения генератора и сопротивления элементов нагрузки в комплексной форме равны:

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

$$F(E_A) = (127 \ 0) \quad F(E_B) = (127 \ -120) \quad F(E_C) = (127 \ 120)$$

$$R' := \frac{R \cdot R}{R + R + R} \quad R' = 18.667 \quad X'_L := \frac{X_L \cdot X_L}{X_L + X_L + X_L} \quad X'_L = 11$$

$$\begin{array}{llll} Z_a := R_L & Z_b := Z_a & Z_c := Z_b & Z_a = 12 \\ Z'_a := R' & Z'_b := Z'_a & Z'_c := Z'_b & Z'_a = 18.667 \\ Z''_a := X'_L \cdot i & Z''_b := Z''_a & Z''_c := Z''_b & Z''_a = 11i \end{array}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 16.811 + 8.165i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 6.113 - 2.969i \quad F(I_A) = (6.795 \ -25.904)$$

$$I_B := I_A \cdot e^{-i120 \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -5.627 - 3.809i \quad F(I_B) = (6.795 \ -145.904)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i120 \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -0.485 + 6.778i \quad F(I_C) = (6.795 \ 94.096)$$

Фазное напряжение на параллельных участках равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 4.811 + 8.165i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 53.649 + 35.624i$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 111.325 + 6.976i \quad F(U_{A'B'}) = (111.543 \ 3.585)$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned}
 I''_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{X_L \cdot i} & I''_{A'B'} &= 0.211 - 3.373i & F(I''_{A'B'}) &= (3.38 \quad -86.415) \\
 I''_{B'C'} &:= I''_{A'B'} \cdot e^{-i120\frac{\pi}{180}} & I''_{B'C'} &= -3.027 + 1.504i & F(I''_{B'C'}) &= (3.38 \quad 153.585) \\
 I''_{C'A'} &:= I''_{A'B'} \cdot e^{i120\frac{\pi}{180}} & I''_{C'A'} &= 2.816 + 1.87i & F(I''_{C'A'}) &= (3.38 \quad 33.585) \\
 I'_{A'B'} &:= \frac{U_{A'B'}}{R} & I'_{A'B'} &= 1.988 + 0.125i & F(I'_{A'B'}) &= (1.992 \quad 3.585) \\
 I'_{B'C'} &:= I'_{A'B'} \cdot e^{-i120\frac{\pi}{180}} & I'_{B'C'} &= -0.886 - 1.784i & F(I'_{B'C'}) &= (1.992 \quad -116.415) \\
 I'_{C'A'} &:= I'_{A'B'} \cdot e^{i120\frac{\pi}{180}} & I'_{C'A'} &= -1.102 + 1.659i & F(I'_{C'A'}) &= (1.992 \quad 123.585) \\
 I_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z'_a} & I_A &= 2.874 + 1.908i & F(I_A) &= (3.45 \quad 33.585)
 \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.38 \quad A_2 = 3.45 \quad A_a = 6.795 \quad A_b = 6.795 \quad A_c = 6.795$$

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 :

$$\begin{aligned}
 E_{AC} &:= E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30\frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 190.5 - 109.985i \\
 W_a &:= \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) & W_a &= 1.491 \times 10^3
 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned}
 E_{BC} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30\frac{\pi}{180}} & E_{AC} &= 190.5 - 109.985i \\
 W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 837.94
 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.329 \times 10^3$$

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.

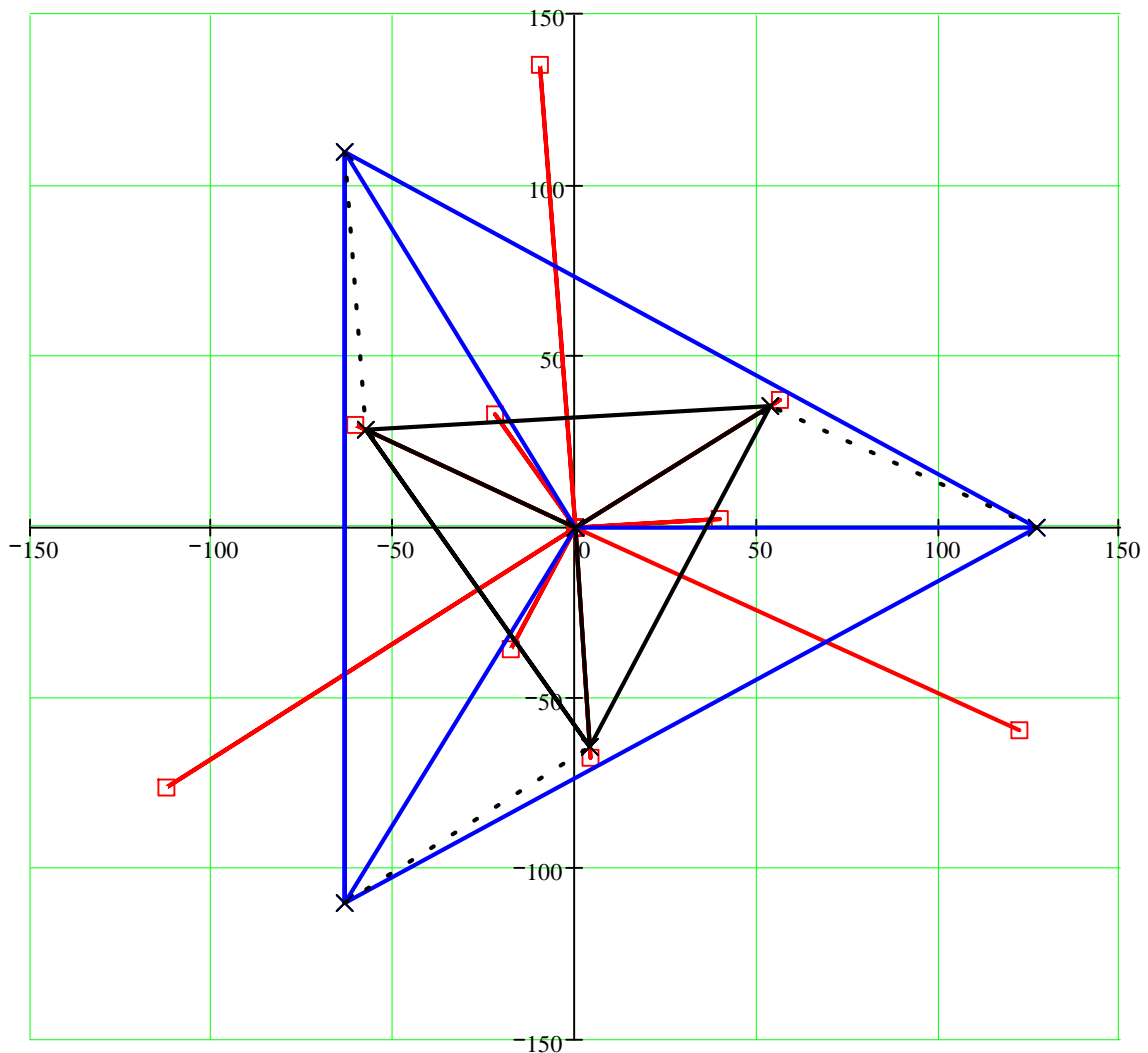
$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.329 \times 10^3 + 1.131i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

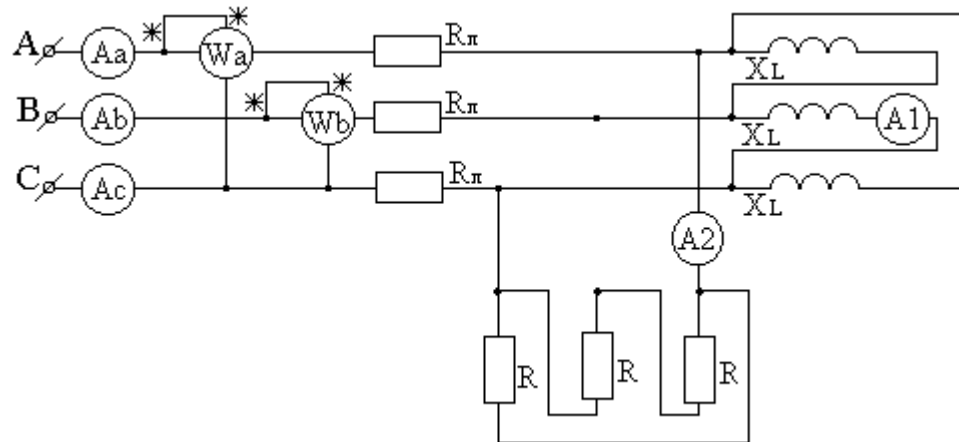
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_{A'B'}|)^2 + (|I'_{B'C'}|)^2 + (|I'_{C'A'}|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 2.329 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_{A'B'}|)^2 + (|I''_{B'C'}|)^2 + (|I''_{C'A'}|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 1.131i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.



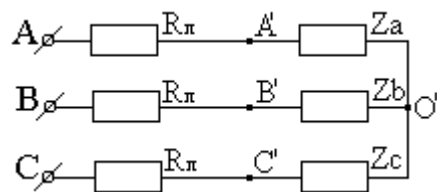
Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме



Несимметричная трёхфазная система.

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

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:

$$Z_{C'A'} := \frac{\left[\frac{R \cdot (2R)}{3R} \right] \cdot X_L \cdot i}{X_L \cdot i + \left[\frac{R \cdot (2R)}{3R} \right]} \quad Z_{C'A'} = 16.375 + 18.525i$$

$$Z_{A'B'} := X_L \cdot i \quad Z_{B'C'} := Z_{A'B'} \quad Z_{B'C'} = 33i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 4.811 + 8.165i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = -2.406 + 12.418i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 4.811 + 8.165i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 16.811 + 8.165i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 9.594 + 12.418i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 16.811 + 8.165i$$

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

$$Y_A := \frac{1}{Z_{ea}} \quad Y_B := \frac{1}{Z_{eb}} \quad Y_C := \frac{1}{Z_{ec}}$$

$$Y_A = 0.048 - 0.023i \quad Y_B = 0.039 - 0.05i \quad Y_C = 0.048 - 0.023i$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = -21.224 + 4.908i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи (рис.5) равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 148.224 - 4.908i \quad F(U_{AO''}) = (148.305 \quad -1.897)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -42.276 - 114.893i \quad F(U_{BO''}) = (122.424 \quad -110.201)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -42.276 + 105.077i \quad F(U_{CO''}) = (113.263 \quad 111.916)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 7.019 - 3.701i \quad F(I_A) = (7.935 \quad -27.801)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -7.441 - 2.345i \quad F(I_B) = (7.802 \quad -162.51)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = 0.421 + 6.046i \quad F(I_C) = (6.06 \quad 86.012)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{AB} = 190.5 + 109.985i \quad F(U_{AB}) = (219.97 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 84.233 - 44.413i \quad F(U_{AA'}) = (95.224 \quad -27.801)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{BC} = -219.97i \quad F(U_{BC}) = (219.97 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -89.291 - 28.135i \quad F(U_{BB'}) = (93.619 \quad -162.51)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{CA} = -190.5 + 109.985i \quad F(U_{CA}) = (219.97 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = 5.058 + 72.548i \quad F(U_{CC'}) = (72.724 \quad 86.012)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 16.976 + 126.263i \quad F(U_{A'B'}) = (127.399 \quad 82.342)$$

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 94.348 - 119.287i \quad F(U_{B'C'}) = (152.089 \quad -51.658)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -111.325 - 6.976i \quad F(U_{C'A'}) = (111.543 \quad -176.415)$$

$$I''_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{X_L \cdot i} \quad I''_{A'B'} = 3.826 - 0.514i \quad F(I''_{A'B'}) = (3.861 \quad -7.658)$$

$$I''_{B'C'} := \frac{U_{B'C'}}{X_L \cdot i} \quad I''_{B'C'} = -3.615 - 2.859i \quad F(I''_{B'C'}) = (4.609 \quad -141.658)$$

$$I''_{C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{X_L \cdot i} \quad I''_{C'A'} = -0.211 + 3.373i \quad F(I''_{C'A'}) = (3.38 \quad 93.585)$$

$$\Gamma_{C''A''} := \frac{U_{C'A'}}{2R} \quad \Gamma_{C''A''} = -0.994 - 0.062i \quad F(\Gamma_{C''A''}) = (0.996 \quad -176.415)$$

$$\Gamma_{C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{R} \quad \Gamma_{C'A'} = -1.988 - 0.125i \quad F(\Gamma_{C'A'}) = (1.992 \quad -176.415)$$

$$\Gamma_A := \Gamma_{B'C'} + \Gamma_{C'A'} \quad \Gamma_A = -2.874 - 1.908i \quad F(\Gamma_A) = (3.45 \quad -146.415)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 4.609 \quad A_2 = 3.45 \quad A_a = 7.935 \quad A_b = 7.802 \quad A_c = 6.06$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 190.5 - 109.985i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 1.744 \times 10^3$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 190.5 - 109.985i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 515.746$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.26 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.26 \times 10^3 + 1.57i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + (|\Gamma_{C''A''}|)^2 \cdot 2R + (|\Gamma_{C'A'}|)^2 \cdot R \quad P_{pr} = 2.26 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma_{AB''}|)^2 + (|\Gamma_{B'C''}|)^2 + (|\Gamma_{C'A''}|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i \quad Q_{pr} = 1.57i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

