

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 803

Выполнил: _____

Проверил: _____

Киев 2007

Условие задания

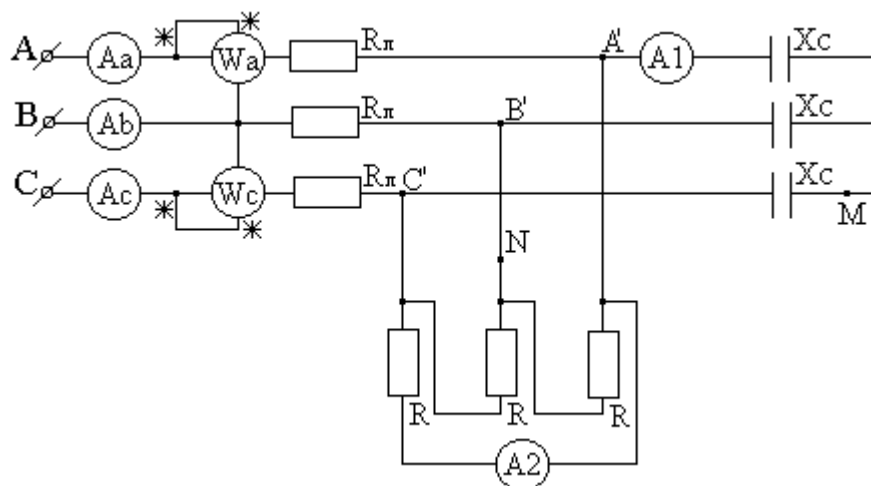
Симметричны трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 135 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 16.8 \quad R := 80 \quad X_C := 93$$

Обрыв проводится в точке М.



Общая схема трёхфазной цепи

Определение показаний измерительных приборов при симметричной нагрузке

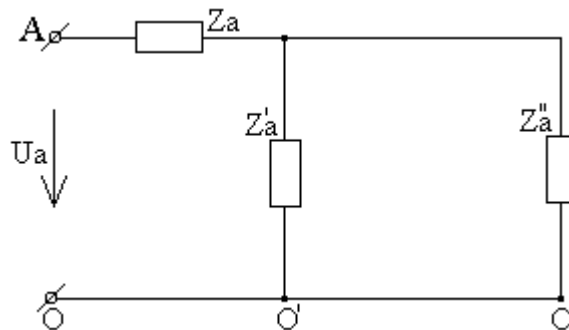
Так как нагрузка симметрическая, то будем проводить расчет только по одной фазе. Токи в остальных фазах будут такими же, только будут отличаться углы.

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

$$R' := \frac{R \cdot R}{3 \cdot R} \quad R' = 26.667$$

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

$$\begin{aligned} E_A &:= U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} & E_B &:= U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} & E_C &:= U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \\ F(E_A) &= (135 \ 0) & F(E_B) &= (135 \ -120) & F(E_C) &= (135 \ 120) \\ Z_a &:= R_L & Z_b &:= Z_a & Z_c &:= Z_b & Z_a &= 16.8 \\ Z'_a &:= R' & Z'_b &:= Z'_a & Z'_c &:= Z'_b & Z'_a &= 26.667 \\ Z''_a &:= -X_C \cdot i & Z''_b &:= Z''_a & Z''_c &:= Z''_b & Z''_a &= -93i \end{aligned}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 41.441 - 7.065i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 3.166 + 0.54i \quad F(I_A) = (3.211 \ 9.676)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -1.115 - 3.011i \quad F(I_B) = (3.211 \ -110.324)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -2.05 + 2.472i \quad F(I_C) = (3.211 \ 129.676)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$\begin{aligned} Z_{ea'} &:= \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} & Z_{ea'} &= 24.641 - 7.065i \\ U_{A'O} &:= I_A \cdot Z_{ea'} & U_{A'O} &= 81.817 - 9.067i \end{aligned}$$

Остальные токи равны:

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 0.097 + 0.88i \quad F(I''_A) = (0.885 \ 83.676)$$

$$I''_B := I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_B = 0.713 - 0.524i \quad F(I''_B) = (0.885 \quad -36.324)$$

$$I''_C := I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I''_C = -0.811 - 0.355i \quad F(I''_C) = (0.885 \quad -156.324)$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 114.873 - 84.457i \quad F(U_{A'B'}) = (142.579 \quad -36.324)$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'B'}}{R} \quad I'_A = 1.436 - 1.056i \quad F(I'_A) = (1.782 \quad -36.324)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -1.632 - 0.716i \quad F(I'_B) = (1.782 \quad -156.324)$$

$$I'_C := I'_A \cdot e^{i \cdot 120 \frac{\pi}{180}} \quad I'_C = 0.196 + 1.771i \quad F(I'_C) = (1.782 \quad 83.676)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 0.885 \quad A_2 = 1.782 \quad A_a = 3.211 \quad A_b = 3.211 \quad A_c = 3.211$$

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 :

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 202.5 - 116.913i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I'_A}) \quad W_a = 577.942$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 202.5 - 116.913i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I'_B}) \quad W_b = 704.144$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 1.282 \times 10^3$$

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.

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

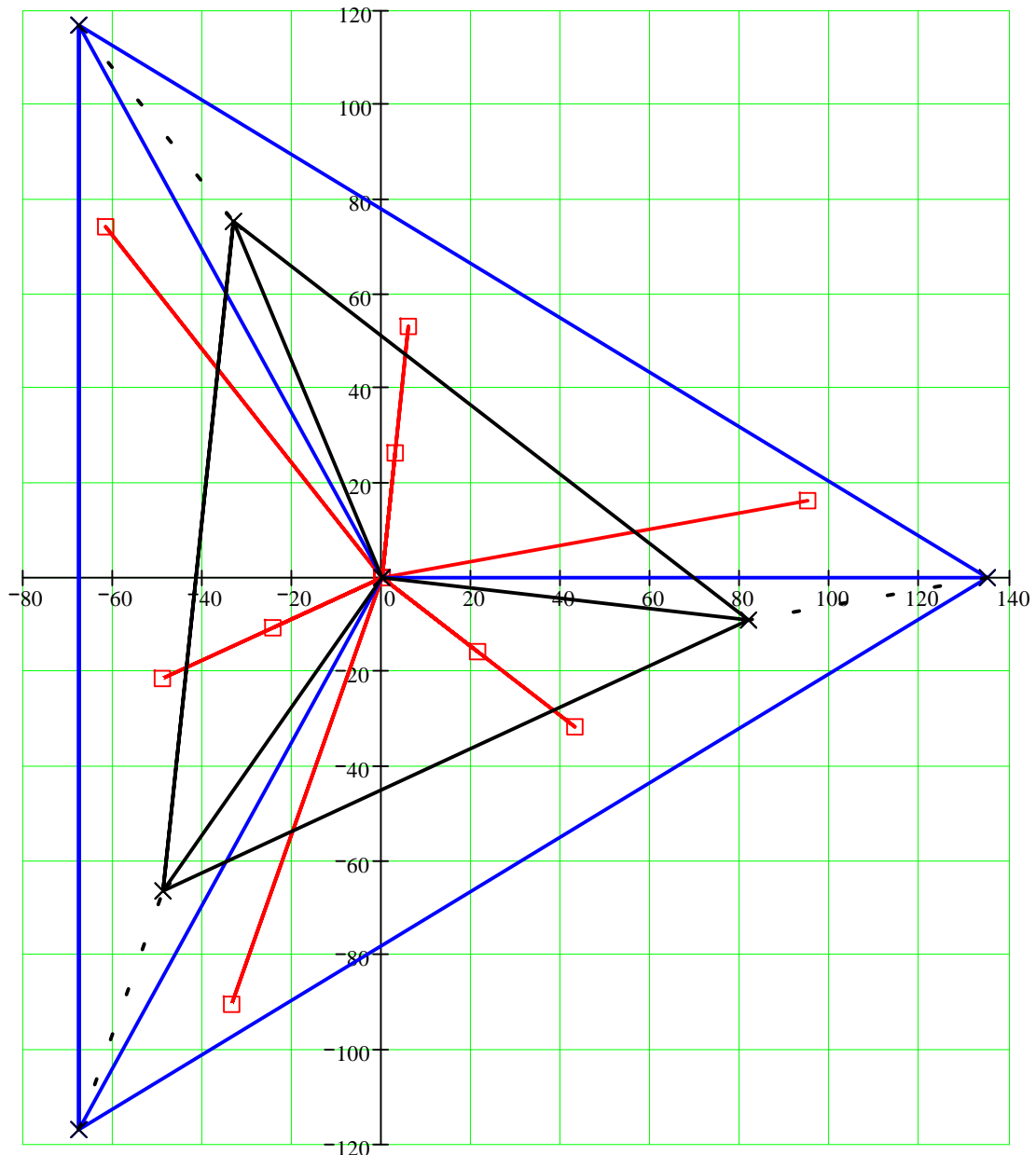
$$S_r = 1.282 \times 10^3 - 218.589i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

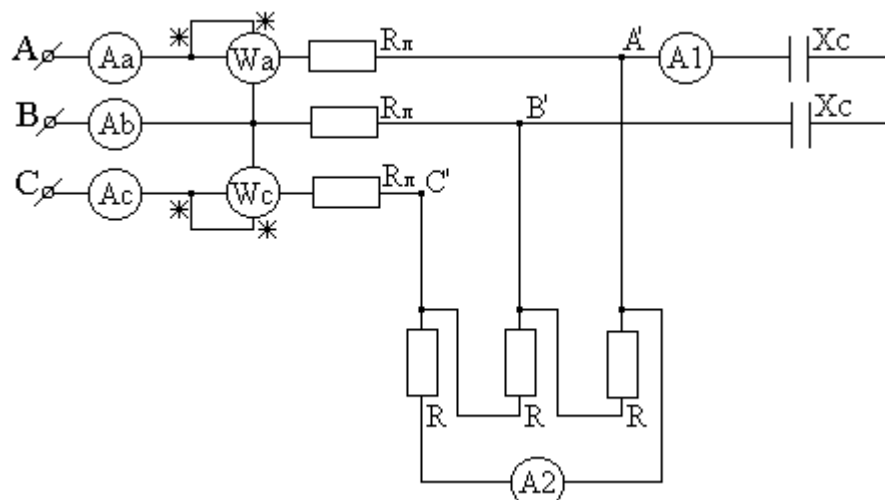
$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 1.282 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -218.589i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

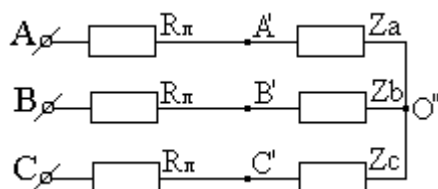


Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме



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:

$$Z_{A'B'} := \frac{-2 \cdot X_C \cdot i \cdot R}{R - 2 \cdot X_C \cdot i} \quad Z_{A'B'} = 67.511 - 29.037i$$

$$Z_{B'C'} := R \quad Z_{C'A'} := R$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 24.641 - 7.065i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 24.641 - 7.065i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 27.68 + 3.533i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 41.441 - 7.065i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 41.441 - 7.065i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 44.48 + 3.533i$$

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

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

$$Y_A = 0.023 + 3.998i \times 10^{-3} \quad Y_B = 0.023 + 3.998i \times 10^{-3} \quad Y_C = 0.022 - 1.774i \times 10^{-3}$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 11.075 + 2.761i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 123.925 - 2.761i \quad F(U_{AO''}) = (123.956 \quad -1.277)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -78.575 - 119.675i \quad F(U_{BO''}) = (143.165 \quad -123.288)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -78.575 + 114.152i \quad F(U_{CO''}) = (138.581 \quad 124.541)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 2.917 + 0.431i \quad F(I_A) = (2.949 \quad 8.399)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -1.364 - 3.12i \quad F(I_B) = (3.406 \quad -113.612)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -1.553 + 2.69i \quad F(I_C) = (3.106 \quad 120)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{AB} = 202.5 + 116.913i \quad F(U_{AB}) = (233.827 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 49.005 + 7.236i \quad F(U_{AA'}) = (49.537 \quad 8.399)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{BC} = -233.827i \quad F(U_{BC}) = (233.827 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -22.916 - 52.423i \quad F(U_{BB'}) = (57.213 \quad -113.612)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} \quad U_{CA} = -202.5 + 116.913i \quad F(U_{CA}) = (233.827 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = -26.089 + 45.187i \quad F(U_{CC'}) = (52.178 \quad 120)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 130.578 + 57.255i \quad F(U_{A'B'}) = (142.579 \quad 23.676)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = -3.173 - 136.216i \quad F(U_{B'C'}) = (136.253 \quad -91.334)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -127.406 + 78.962i \quad F(U_{C'A'}) = (149.891 \quad 148.211)$$

$$Z''_{a'b'} := Z''_a + Z''_b$$

$$Z''_{a'b'} = -186i$$

$$Z'_{a'b'} := R$$

$$Z'_{b'c'} := Z'_{a'b'}$$

$$Z'_{c'a'} := Z'_{b'c'}$$

$$Z'_{a'b'} = 80$$

Ток в нагрузке $Z''_{a'b'}$, согласно закону Ома, равен:

$$I''_A := \frac{U_{A'B'}}{Z''_{a'b'}}$$

$$I''_A = -0.308 + 0.702i$$

$$F(I''_A) = (0.767 \quad 113.676)$$

$$I''_B := I''_A$$

Ток в нагрузке R , согласно закону Ома, равен:

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

$$I'_A = 1.632 + 0.716i$$

$$F(I'_A) = (1.782 \quad 23.676)$$

$$I'_B := \frac{U_{B'C'}}{R}$$

$$I'_B = -0.04 - 1.703i$$

$$F(I'_B) = (1.703 \quad -91.334)$$

$$I'_C := \frac{U_{C'A'}}{R}$$

$$I'_C = -1.593 + 0.987i$$

$$F(I'_C) = (1.874 \quad 148.211)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 0.767$$

$$A_2 = 1.782$$

$$A_a = 2.949$$

$$A_b = 3.406$$

$$A_c = 3.106$$

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

Показание ваттметра W_a :

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

$$E_{AC} = 202.5 - 116.913i$$

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

$$W_a = 540.335$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i30 \frac{\pi}{180}}$$

$$E_{AC} = 202.5 - 116.913i$$

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

$$W_b = 729.638$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b$$

$$W = 1.27 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

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

$$S_r = 1.27 \times 10^3 - 109.295i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 1.27 \times 10^3$$

$$Q_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -109.295i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

