

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант № 204

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

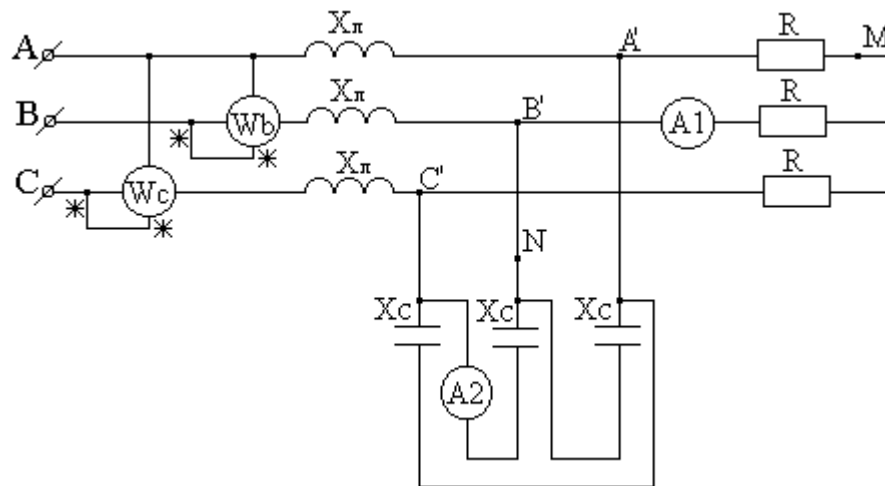
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 110 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad X_L := 4 \quad R := 80 \quad X_C := 93$$

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 необходимо первоначально произвести упрощение схемы, сведя её к схеме с элементами, соединенными звездой.

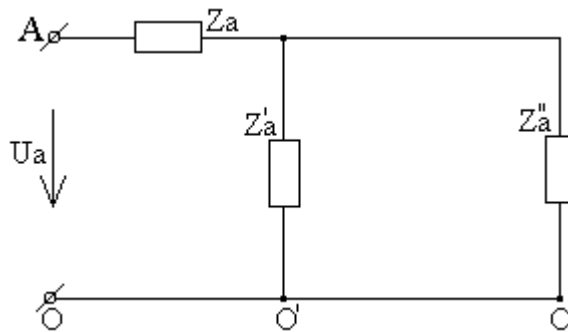
$$X'_C := \frac{(-X_C \cdot i) \cdot (-X_C \cdot i)}{3 \cdot (-X_C \cdot i)} \quad X'_C = -31i$$

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

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

$$F(E_A) = (110 \ 0) \quad F(E_B) = (110 \ -120) \quad F(E_C) = (110 \ 120)$$

$$\begin{array}{llll} Z_a := X_L \cdot i & Z_b := Z_a & Z_c := Z_b & Z_a = 4i \\ Z'_a := X'_C & Z'_b := Z'_a & Z'_c := Z'_b & Z'_a = -31i \\ Z''_a := R & Z''_b := Z''_a & Z''_c := Z''_b & Z''_a = 80 \end{array}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 10.444 - 22.953i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 1.807 + 3.97i \quad F(I_A) = (4.362 \ 65.533)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = 2.535 - 3.55i \quad F(I_B) = (4.362 \ -54.467)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = -4.342 - 0.421i \quad F(I_C) = (4.362 \ -174.467)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$\begin{array}{ll} Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} & Z_{ea'} = 10.444 - 26.953i \\ U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} & U_{A'O} = 125.881 - 7.227i \end{array}$$

Остальные токи равны:

$$I''_A := \frac{U_{A'O}}{Z''_a} \quad I''_A = 1.574 - 0.09i \quad F(I''_A) = (1.576 \quad -3.286)$$

$$I''_B := I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I''_B = -0.865 - 1.318i \quad F(I''_B) = (1.576 \quad -123.286)$$

$$I''_C := I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I''_C = -0.709 + 1.408i \quad F(I''_C) = (1.576 \quad 116.714)$$

Линейное напряжение равно:

$$U_{A'B'} := U_{A'O} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{A'B'} = 182.564 - 119.856i \quad F(U_{A'B'}) = (218.392 \quad -33.286)$$

Остальные токи равны:

$$I'_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{X_C \cdot i} \quad I'_{A'B'} = -1.289 - 1.963i \quad F(I'_{A'B'}) = (2.348 \quad -123.286)$$

$$I'_{B'C'} := I'_{A'B'} \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_{B'C'} = -1.056 + 2.098i \quad F(I'_{B'C'}) = (2.348 \quad 116.714)$$

$$I'_{C'A'} := I'_{A'B'} \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_{C'A'} = 2.344 - 0.135i \quad F(I'_{C'A'}) = (2.348 \quad -3.286)$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 1.576 (A) \quad A_2 = 2.348 (A) \quad A_a = 4.362 (A) \quad A_b = 4.362 (A) \quad A_c = 4.362 (A)$$

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 :

$$E_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{CA} = -165 + 95.263i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = 676.322$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BA} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{BA} = -165 - 95.263i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = -80.133$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 596.188$$

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.

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 596.188 - 1.31i \times 10^3$$

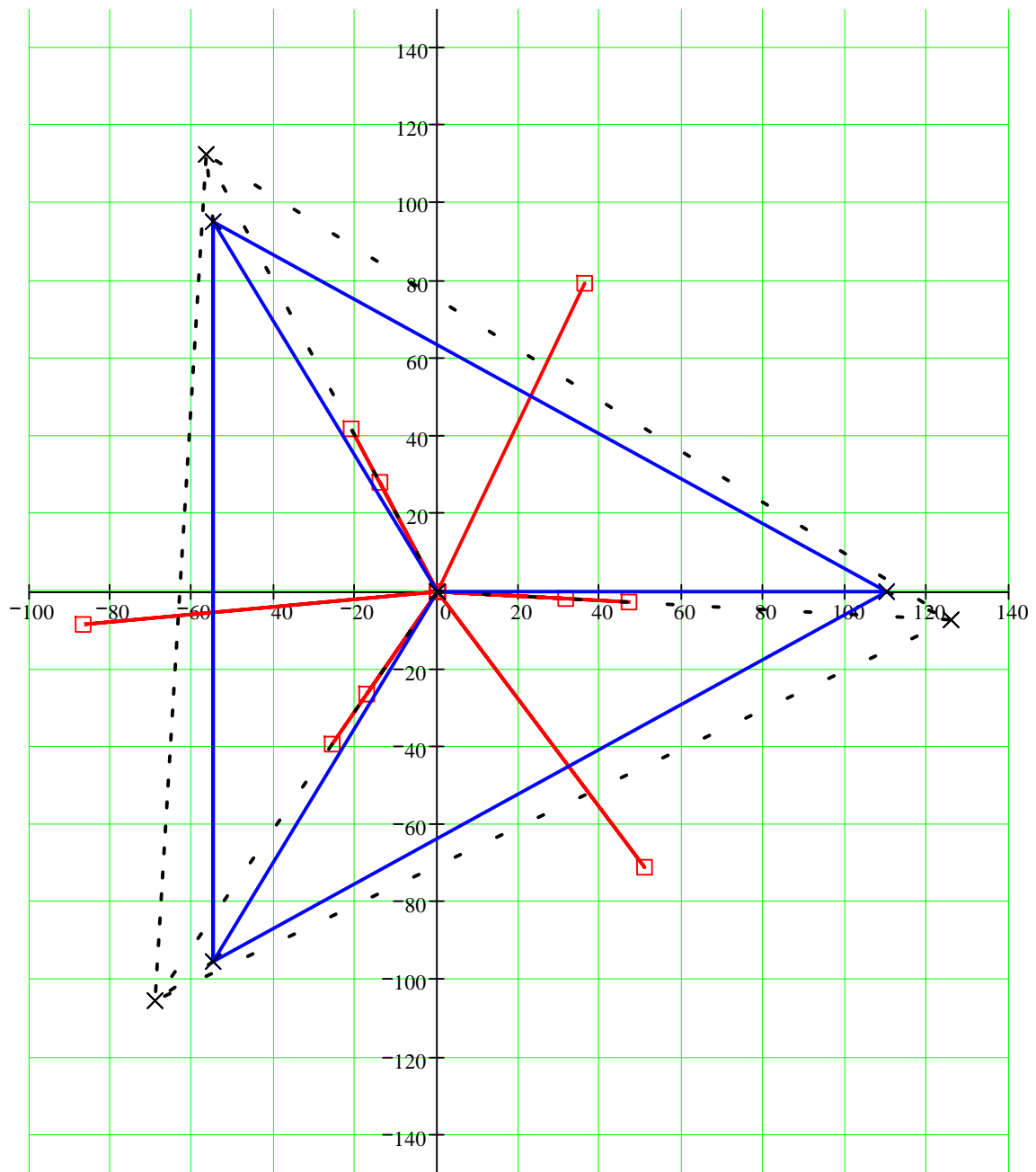
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot R$$

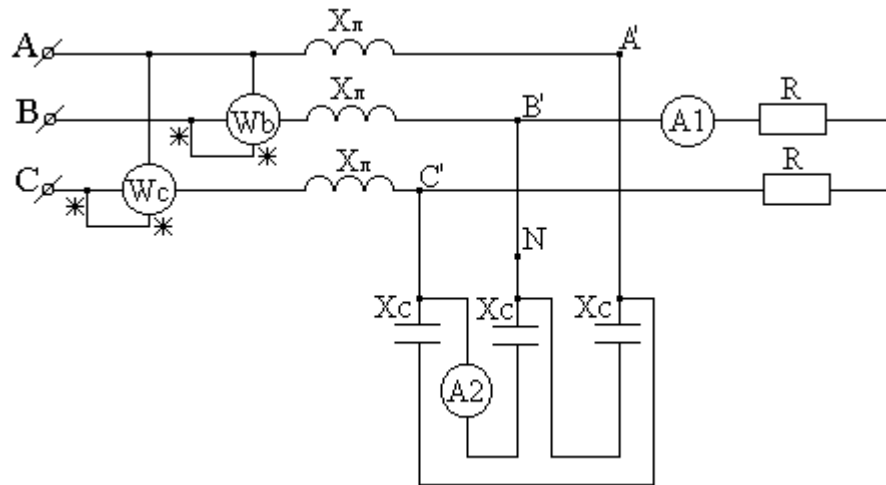
$$P_{pr} = 596.188$$

$$Q_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot X_L \cdot i + \left[(|I'_{AB}|)^2 + (|I'_{BC}|)^2 + (|I'_{CA}|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i, Q_{pr} = -1.31i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

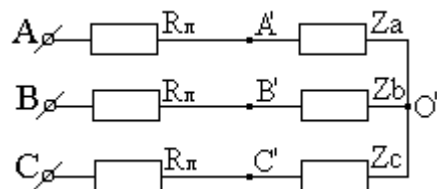


Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме.



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:

$$Z_{B'C'} := \frac{-X_C \cdot i \cdot 2R}{2R - X_C \cdot i} \quad Z_{B'C'} = 40.405 - 69.514i$$

$$Z_{A'B'} := -X_C \cdot i \quad Z_{C'A'} := Z_{A'B'} \quad Z_{C'A'} = -93i$$

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = -5.222 - 33.024i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 10.444 - 26.953i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 10.444 - 26.953i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = -5.222 - 29.024i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 10.444 - 22.953i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 10.444 - 22.953i$$

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

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

$$Y_A = -6.005 \times 10^{-3} + 0.033i \quad Y_B = 0.016 + 0.036i \quad Y_C = 0.016 + 0.036i$$

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

$$U_{O''O} = -8.244 + 21.275i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

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

$$U_{AO''} = 118.244 - 21.275i$$

$$F(U_{AO''}) = (120.143 \quad -10.2)$$

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

$$U_{BO''} = -46.756 - 116.538i$$

$$F(U_{BO''}) = (125.568 \quad -111.861)$$

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

$$U_{CO''} = -46.756 + 73.988i$$

$$F(U_{CO''}) = (87.523 \quad 122.291)$$

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

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

$$I_A = 4.074i$$

$$F(I_A) = (4.074 \quad 90)$$

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

$$I_B = 3.438 - 3.602i$$

$$F(I_B) = (4.979 \quad -46.328)$$

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

$$I_C = -3.438 - 0.472i$$

$$F(I_C) = (3.471 \quad -172.176)$$

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

$$U_{AB} = 165 + 95.263i$$

$$F(U_{AB}) = (190.526 \quad 30)$$

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

$$U_{AA'} = -16.296$$

$$F(U_{AA'}) = (16.296 \quad -180)$$

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

$$U_{BC} = -190.526i$$

$$F(U_{BC}) = (190.526 \quad -90)$$

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

$$U_{BB'} = 14.407 + 13.754i$$

$$F(U_{BB'}) = (19.918 \quad 43.672)$$

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

$$U_{CA} = -165 + 95.263i$$

$$F(U_{CA}) = (190.526 \quad 150)$$

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

$$U_{CC'} = 1.89 - 13.754i$$

$$F(U_{CC'}) = (13.883 \quad -82.176)$$

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:

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

$$U_{A'B'} = 195.703 + 109.017i$$

$$F(U_{A'B'}) = (224.018 \quad 29.12)$$

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

$$U_{B'C'} = -12.517 - 218.033i$$

$$F(U_{B'C'}) = (218.392 \quad -93.286)$$

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

$$U_{C'A'} = -183.186 + 109.017i$$

$$F(U_{C'A'}) = (213.171 \quad 149.243)$$

Остальные токи:

$$I_{A'B'} := \frac{U_{A'B'}}{-X_C \cdot i}$$

$$I_{A'B'} = -1.172 + 2.104i$$

$$F(I_{A'B'}) = (2.409 \quad 119.12)$$

$$I_{B'C'} := \frac{U_{B'C'}}{-X_C \cdot i}$$

$$I_{B'C'} = 2.344 - 0.135i$$

$$F(I_{B'C'}) = (2.348 \quad -3.286)$$

$$I_{C'A'} := \frac{U_{C'A'}}{-X_C \cdot i}$$

$$I_{C'A'} = -1.172 - 1.97i$$

$$F(I_{C'A'}) = (2.292 \quad -120.757)$$

$$I''_B := I_B + I_{A'B'} - I_{B'C'}$$

$$I''_B = -0.078 - 1.363i$$

$$F(I''_B) = (1.365 \quad -93.286)$$

$$I''_C := I_C + I_{B'C'} - I_{C'A'}$$

$$I''_C = 0.078 + 1.363i$$

$$F(I''_C) = (1.365 \quad 86.714)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 1.365 \text{ (A)} \quad A_2 = 2.348 \text{ (A)} \quad A_a = 4.074 \text{ (A)} \quad A_b = 4.979 \text{ (A)} \quad A_c = 3.471 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$E_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{CA} = -165 + 95.263i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = 522.335$$

Показание ваттметра W_b :

$$E_{BA} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{BA} = -165 - 95.263i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = -224.24$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 298.094$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 298.094 - 1.327i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_B'|)^2 + (|I_C'|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 298.094$$

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

$$Q_{pr} = -1.327i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи.

