

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 806

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

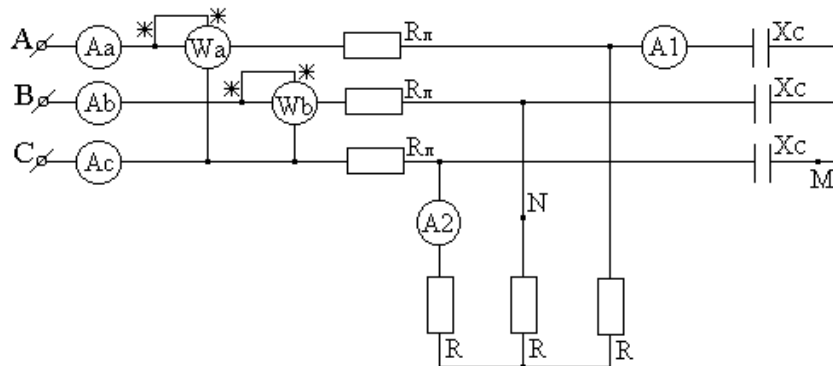
Симметричный трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

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

Обрыв проводится в точке М.



Общая схема трёхфазной цепи

Определение показаний измерительных приборов при симметричной нагрузке

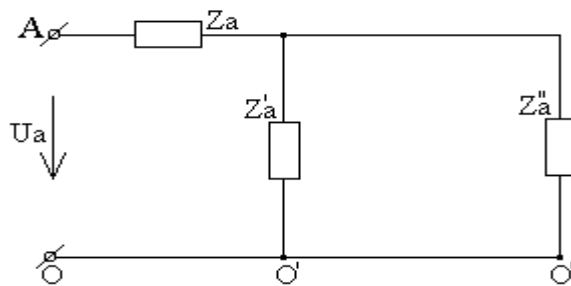
Так как нагрузка симметрическая, то будем проводить расчет только по одной фазе. Токи в остальных фазах будут такими же, только будут отличаться углы.

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

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

$$F(E_A) = (135 \ 0) \quad F(E_B) = (135 \ -120) \quad F(E_C) = (135 \ 120)$$

$$\begin{aligned} Z_a &:= R_L & Z_b &:= Z_a & Z_c &:= Z_b & Z_a &= 16.8 \\ Z'_a &:= R & Z'_b &:= Z'_a & Z'_c &:= Z'_b & Z'_a &= 80 \\ Z''_a &:= -X_C \cdot i & Z''_b &:= Z''_a & Z''_c &:= Z''_b & Z''_a &= -93i \end{aligned}$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 62.778 - 39.551i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 1.539 + 0.97i \quad F(I_A) = (1.819 \ 32.211)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$\begin{aligned} I_B &:= I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_B &= 0.07 - 1.818i & F(I_B) &= (1.819 \ -87.789) \\ I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.61 + 0.848i & F(I_C) &= (1.819 \ 152.211) \end{aligned}$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$\begin{aligned} Z_{ea'} &:= \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} & Z_{ea'} &= 45.978 - 39.551i \\ U_{A'O} &:= I_A \cdot Z_{ea'} & U_{A'O} &= 109.138 - 16.294i \end{aligned}$$

Остальные токи равны:

$$\begin{aligned} I'_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z'_a} & I'_A &= 1.364 - 0.204i & F(I'_A) &= (1.379 \ -8.491) \\ I'_B &:= I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I'_B &= -0.858 - 1.08i & F(I'_B) &= (1.379 \ -128.491) \\ I'_C &:= I'_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I'_C &= -0.506 + 1.283i & F(I'_C) &= (1.379 \ 111.509) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Gamma_A &:= \frac{U_{AO}}{Z_a} & \Gamma_A &= 0.175 + 1.174i & F(\Gamma_A) &= (1.187 \quad 81.509) \\ \Gamma_B &:= \Gamma_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & \Gamma_B &= 0.929 - 0.738i & F(\Gamma_B) &= (1.187 \quad -38.491) \\ \Gamma_C &:= \Gamma_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & \Gamma_C &= -1.104 - 0.435i & F(\Gamma_C) &= (1.187 \quad -158.491) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 1.379(A) \quad A_2 = 1.187(A) \quad A_a = 1.819(A) \quad A_b = 1.819(A) \quad A_c = 1.819(A)$$

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 :

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

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 198.344$$

Показание ваттметра W_b :

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

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 425.122$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 623.466$$

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.

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 623.466 - 392.791i$$

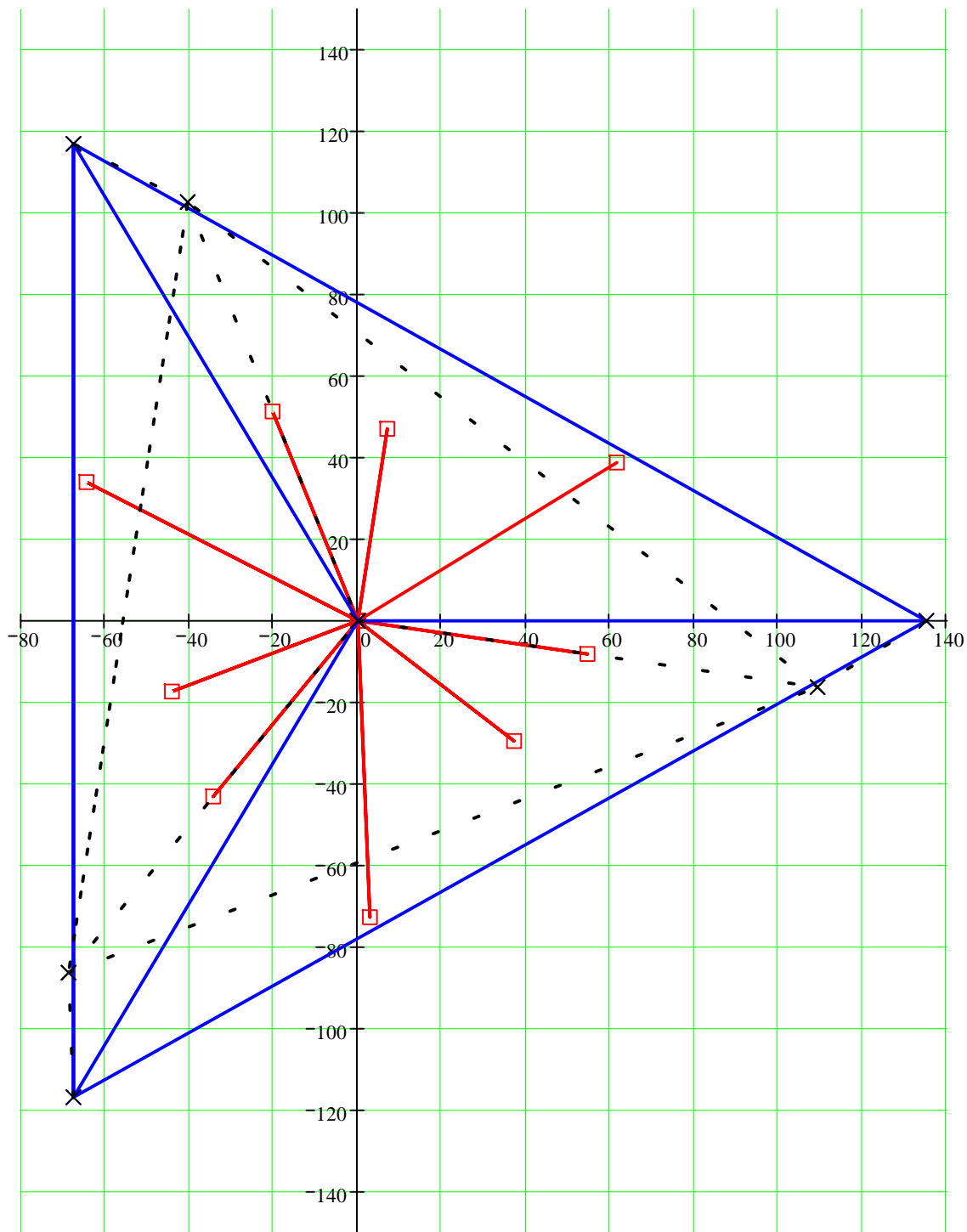
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot R$$

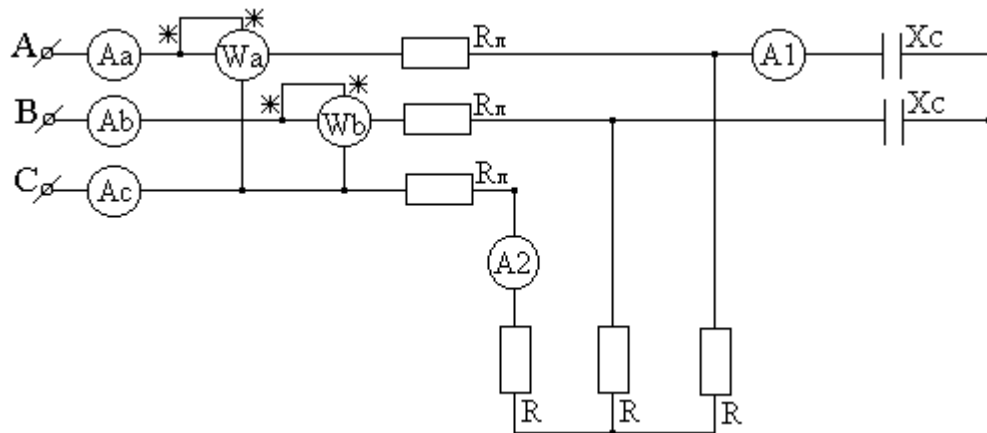
$$P_{pr} = 623.466$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -392.791i$$

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.

$$R' := R + R + \frac{R \cdot R}{R} \quad R' = 240$$

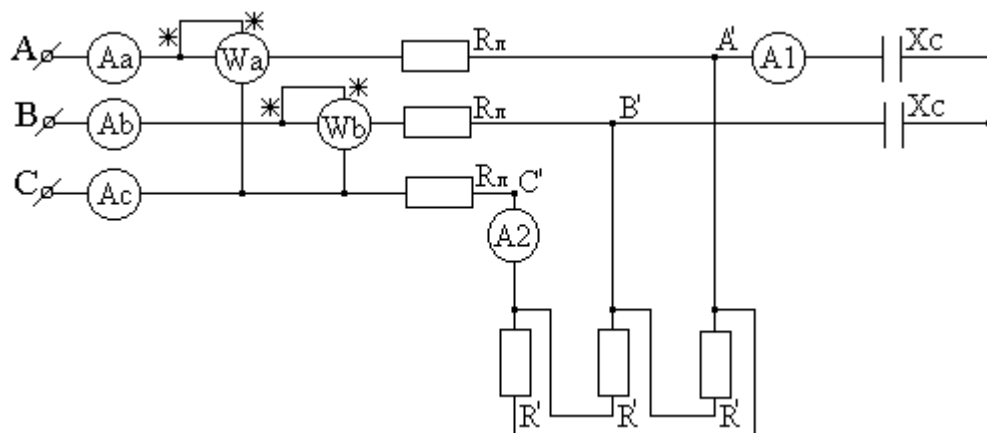
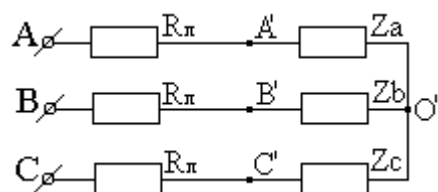


Схема преобразованной цепи.

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:

$$Z_{A'B'} := \frac{-2 \cdot X_C \cdot i \cdot R'}{R' - 2 \cdot X_C \cdot i} \quad Z_{A'B'} = 90.059 - 116.205i$$

$$Z_{B'C'} := R' \quad Z_{C'A'} := R' \quad Z_{C'A'} = 240$$

Соппротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 45.978 - 39.551i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 45.978 - 39.551i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 97.011 + 19.775i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 62.778 - 39.551i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 62.778 - 39.551i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 113.811 + 19.775i$$

Фазные напряжения на нагрузке в цепи удобно определять, вычислив предварительно смещение нейтрали (О - потенциал узла генератора, который на схеме на показан):

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

$$Y_A = 0.011 + 7.184i \times 10^{-3} \quad Y_B = 0.011 + 7.184i \times 10^{-3} \quad Y_C = 8.529 \times 10^{-3} - 1.482i \times 10^{-3}$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 35.746 - 6.756i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 99.254 + 6.756i \quad F(U_{AO''}) = (99.483 \quad 3.894)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -103.246 - 110.157i \quad F(U_{BO''}) = (150.978 \quad -133.145)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -103.246 + 123.669i \quad F(U_{CO''}) = (161.102 \quad 129.857)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 1.083 + 0.79i \quad F(I_A) = (1.341 \quad 36.105)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -0.386 - 1.998i \quad F(I_B) = (2.035 \quad -100.934)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -0.697 + 1.208i \quad F(I_C) = (1.395 \quad 120)$$

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

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 18.199 + 13.273i \quad F(U_{AA'}) = (22.525 \quad 36.105)$$

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

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -6.484 - 33.564i \quad F(U_{BB'}) = (34.185 \quad -100.934)$$

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

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = -11.715 + 20.291i \quad F(U_{CC'}) = (23.43 \quad 120)$$

Для определения токов во всех ветвях рассчитываемой схемы необходимо определить напряжение между точками A', B' и C'.

Согласно второму закону Кирхгофа:

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

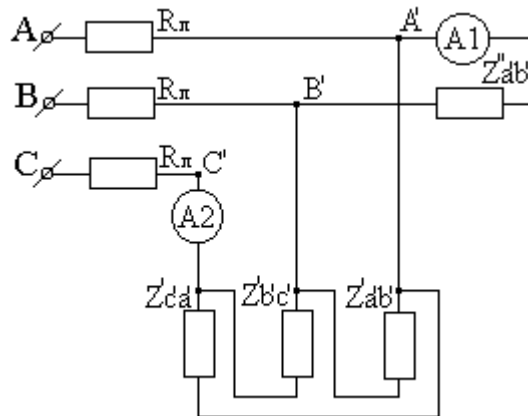
отсюда:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 177.817 + 70.076i \quad F(U_{A'B'}) = (191.127 \quad 21.509)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = -5.231 - 179.972i \quad F(U_{B'C'}) = (180.048 \quad -91.665)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -172.586 + 109.896i \quad F(U_{C'A'}) = (204.605 \quad 147.513)$$



Несимметричная трёхфазная система.

$$Z''_{a'b'} := Z''_a + Z''_b \quad Z''_{a'b'} = -186i$$

$$Z''_{a'b'} := R' \quad Z''_{b'c'} := Z''_{a'b'} \quad Z''_{c'a'} := Z''_{b'c'} \quad Z''_{a'b'} = 240$$

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

$$I''_A := \frac{U_{A'B'}}{Z''_{a'b'}} \quad I''_A = -0.377 + 0.956i \quad F(I''_A) = (1.028 \quad 111.509)$$

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

Токи в нагрузке, соединенной звездой в системе могут быть вычислены по первому закону Кирхгофа.

$$I_C := I_C \quad I_C = -0.697 + 1.208i \quad F(I_C) = (1.395 \quad 120)$$

$$I_B := I_B + I''_B \quad I_B = -0.763 - 1.042i \quad F(I_B) = (1.291 \quad -126.206)$$

$$I_A := I_B + I_C \quad I_A = -1.46 + 0.166i \quad F(I_A) = (1.469 \quad 173.517)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 1.395 (A) \quad A_2 = 1.028 (A) \quad A_a = 1.341 (A) \quad A_b = 2.035 (A) \quad A_c = 1.395 (A)$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$E_{AC} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i30 \frac{\pi}{180}} \quad E_{AC} = 202.5 - 116.913i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{AC} \cdot \overline{I_A}) \quad W_a = 126.989$$

Показание ваттметра Wb:

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

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BC} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 467.156$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 594.145$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 594.145 - 196.396i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 594.145$$

$$Q_{pr} := \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 \right] \cdot (-X_C \cdot i) \quad Q_{pr} = -196.396i$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

