

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 905

Выполнил:_____

Проверил:_____

Условие задания

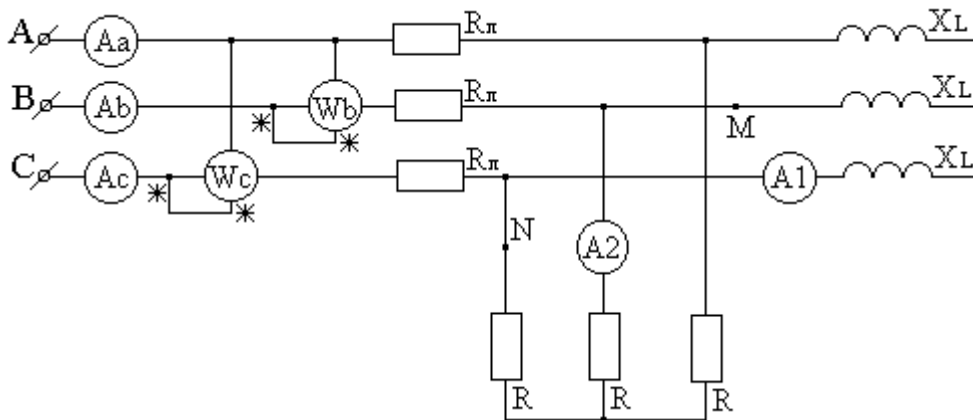
Симметричны трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 210 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 11 \quad R := 80 \quad X_L := 27$$

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:

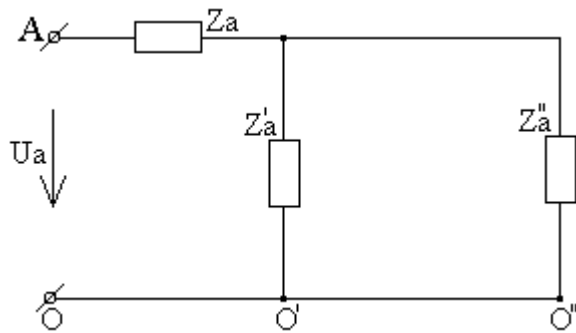
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (210 \ 0) \quad F(E_B) = (210 \ -120) \quad F(E_C) = (210 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 11$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 80$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 27i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 19.181 + 24.239i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 4.216 - 5.328i \quad F(I_A) = (6.794 \ -51.645)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -6.722 - 0.987i \quad F(I_B) = (6.794 \ -171.645)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = 2.506 + 6.315i \quad F(I_C) = (6.794 \ 68.355)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 8.181 + 24.239i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 163.626 + 58.604i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 2.045 + 0.733i \quad F(I'_A) = (2.173 \ 19.706)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -0.388 - 2.138i \quad F(I'_B) = (2.173 \ -100.294)$$

$$\begin{aligned} I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.657 + 1.405i & F(I_C) &= (2.173 \quad 139.706) \\ I''_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z''_a} & I''_A &= 2.171 - 6.06i & F(I''_A) &= (6.437 \quad -70.294) \\ I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -6.334 + 1.15i & F(I''_B) &= (6.437 \quad 169.706) \\ I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 4.163 + 4.91i & F(I''_C) &= (6.437 \quad 49.706) \end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 6.437 \quad A_2 = 2.173 \quad A_a = 6.794 \quad A_b = 6.794 \quad A_c = 6.794$$

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 :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -315 + 181.865i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 359.076 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -315 - 181.865i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 2.297 \times 10^3 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.656 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

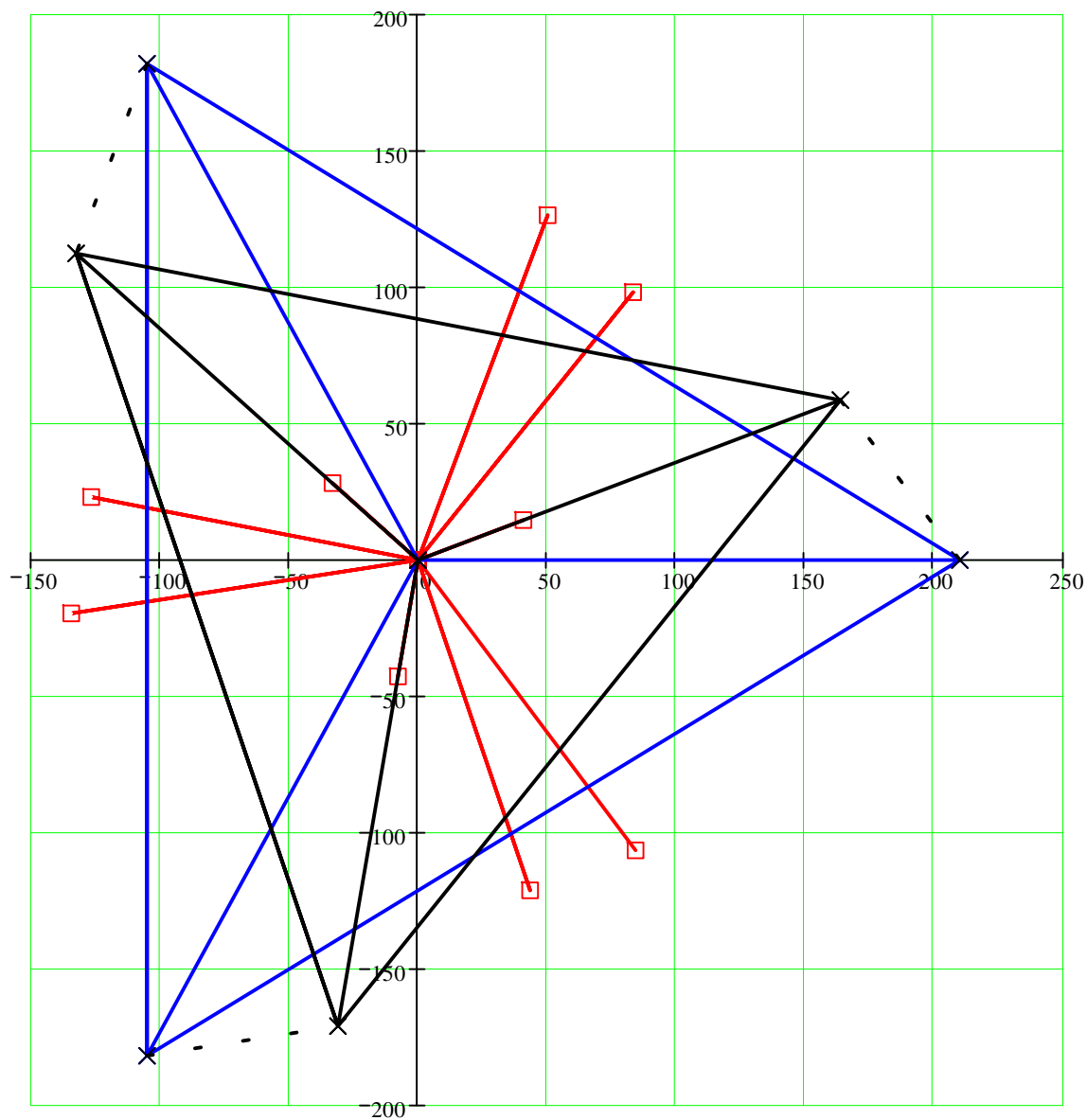
Правильность расчетов проверим, составив баланс активных и реактивных мощностей. Мощность источника энергии определяют в виде суммы произведений комплексов фазных ЭДС (напряжений) на сопряженные комплексы токов соответствующих фаз. В симметричной трёхфазной системе мощность, отдаваемая в нагрузку источником, равна утроенной мощности одной фазы.

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.656 \times 10^3 + 3.356i \times 10^3$$

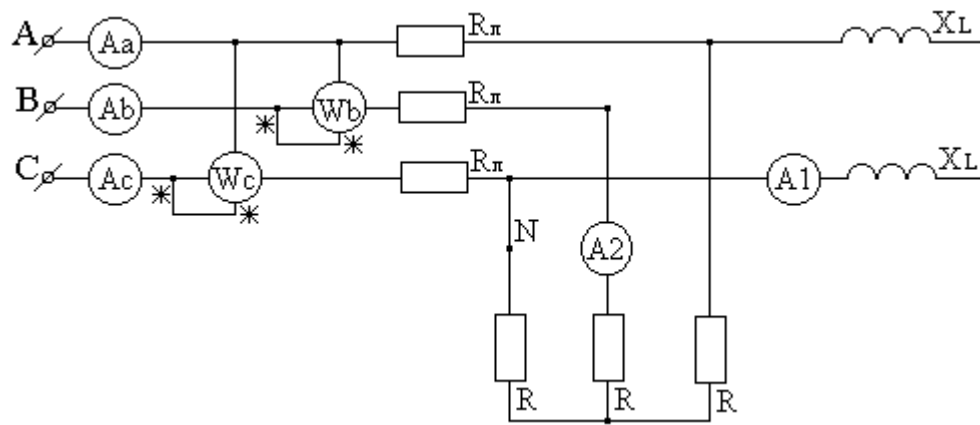
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{Pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot R & P_{Pr} &= 2.656 \times 10^3 \\ Q_{Pr} &:= \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{Pr} &= 3.356i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме

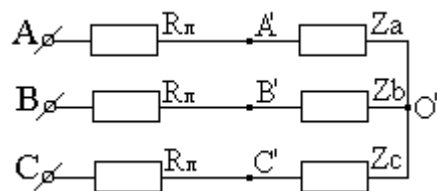


Несимметричная трёхфазная система.

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

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

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:

$$Z_{C'A'} := \frac{2 \cdot X_L \cdot i \cdot R'}{R' + 2 \cdot X_L \cdot i} \quad Z_{C'A'} = 11.565 + 51.398i$$

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

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 8.181 + 24.239i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 115.91 - 12.12i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = 8.181 + 24.239i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 19.181 + 24.239i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 126.91 - 12.12i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 19.181 + 24.239i$$

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

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

$$Y_A = 0.02 - 0.025i \quad Y_B = 7.808 \times 10^{-3} + 7.457i \times 10^{-4} \quad Y_C = 0.02 - 0.025i$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 65.655 + 57.782i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 144.345 - 57.782i \quad F(U_{AO''}) = (155.48 \quad -21.817)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -170.655 - 239.647i \quad F(U_{BO''}) = (294.201 \quad -125.455)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -170.655 + 124.083i \quad F(U_{CO''}) = (210.997 \quad 143.979)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 1.432 - 4.822i \quad F(I_A) = (5.03 \quad -73.462)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -1.154 - 1.999i \quad F(I_B) = (2.308 \quad -120)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -0.278 + 6.821i \quad F(I_C) = (6.826 \quad 92.334)$$

$$U_{AB} := E_A \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{AB} = 315 + 181.865i \quad F(U_{AB}) = (363.731 \quad 30)$$

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 15.751 - 53.042i \quad F(U_{AA'}) = (55.331 \quad -73.462)$$

$$U_{BC} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{BC} = -363.731i \quad F(U_{BC}) = (363.731 \quad -90)$$

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -12.692 - 21.984i \quad F(U_{BB'}) = (25.385 \quad -120)$$

$$U_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad U_{CA} = -315 + 181.865i \quad F(U_{CA}) = (363.731 \quad 150)$$

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = -3.058 + 75.026i \quad F(U_{CC'}) = (75.088 \quad 92.334)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 286.557 + 212.924i \quad F(U_{A'B'}) = (357.003 \quad 36.614)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 9.634 - 266.721i \quad F(U_{B'C'}) = (266.895 \quad -87.931)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -296.191 + 53.798i \quad F(U_{C'A'}) = (301.037 \quad 169.706)$$

Ток в активной нагрузке, согласно закону Ома, равен:

$$I''_A := \frac{U_{C'A'}}{2X_L \cdot i} \quad I''_A = 0.996 + 5.485i \quad F(I''_A) = (5.575 \quad 79.706)$$

$$I''_C := -I''_A \quad I''_C = -0.996 - 5.485i \quad F(I''_C) = (5.575 \quad -100.294)$$

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

$$\begin{aligned} I_C &:= I_C + I''_C & I_C &= -1.274 + 1.335i & F(I_C) &= (1.846 \quad 133.656) \\ I_B &:= I_B & I_B &= -1.154 - 1.999i & F(I_B) &= (2.308 \quad -120) \\ I_A &:= I_A - I''_A & I_A &= 0.436 - 10.307i & F(I_A) &= (10.316 \quad -87.58) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 5.575 \text{ (A)} \quad A_2 = 2.308 \text{ (A)} \quad A_a = 5.03 \text{ (A)} \quad A_b = 2.308 \text{ (A)} \quad A_c = 6.826 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -315 + 181.865i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 1.328 \times 10^3 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 - \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -315 - 181.865i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 726.923 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 2.055 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 2.055 \times 10^3 + 1.678i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 1.006 \times 10^4 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 1.678i \times 10^3 \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

