

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 805

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

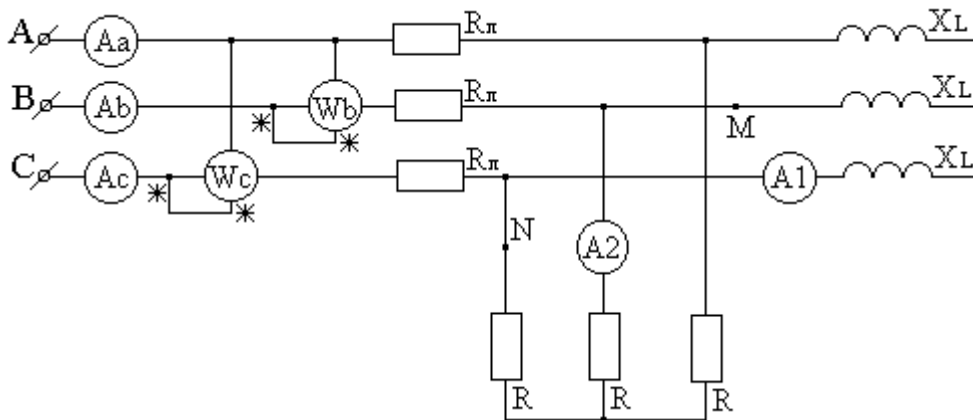
Симметричны трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 135 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 16.8 \quad R := 80 \quad X_L := 27$$

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:

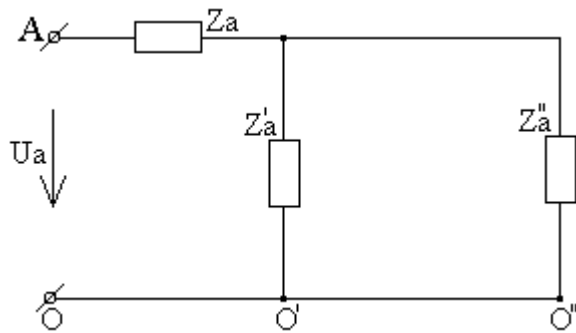
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

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

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 16.8$$

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

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



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 24.981 + 24.239i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 2.784 - 2.701i \quad F(I_A) = (3.878 \ -44.137)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -3.731 - 1.06i \quad F(I_B) = (3.878 \ -164.137)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = 0.947 + 3.761i \quad F(I_C) = (3.878 \ 75.863)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

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

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 88.237 + 45.374i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 1.103 + 0.567i \quad F(I'_A) = (1.24 \ 27.214)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -0.06 - 1.239i \quad F(I'_B) = (1.24 \ -92.786)$$

$$\begin{aligned}
I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.043 + 0.672i & F(I_C) &= (1.24 \quad 147.214) \\
I''_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z''_a} & I''_A &= 1.681 - 3.268i & F(I''_A) &= (3.675 \quad -62.786) \\
I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -3.67 + 0.179i & F(I''_B) &= (3.675 \quad 177.214) \\
I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 1.99 + 3.089i & F(I''_C) &= (3.675 \quad 57.214)
\end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.675 \quad A_2 = 1.24 \quad A_a = 3.878 \quad A_b = 3.878 \quad A_c = 3.878$$

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 :

$$\begin{aligned}
E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -202.5 + 116.913i \\
W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 247.892
\end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned}
E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -202.5 - 116.913i \\
W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 879.426
\end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 1.127 \times 10^3$$

Баланс активной и реактивной мощностей

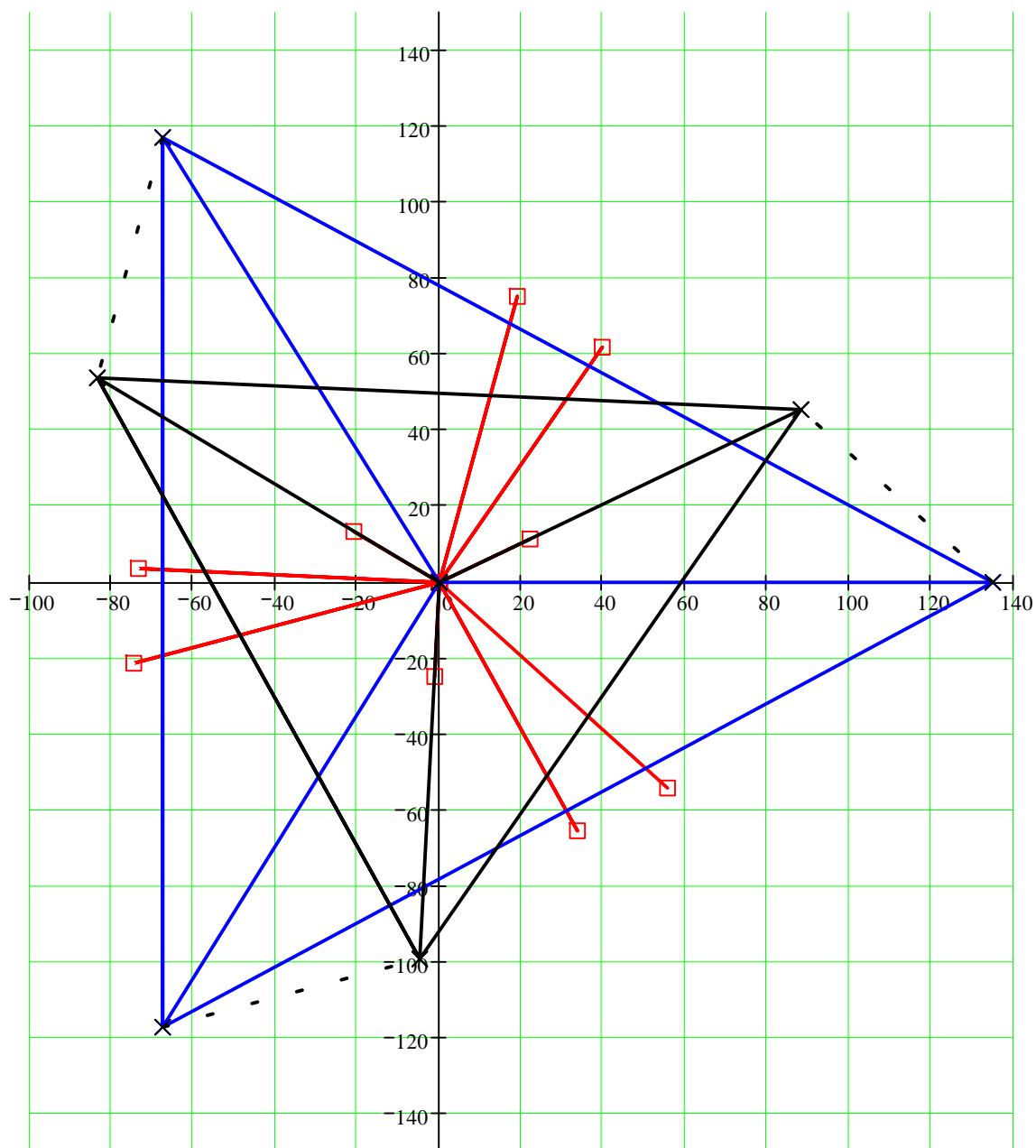
Правильность расчетов проверим, составив баланс активных и реактивных мощностей. Мощность источника энергии определяют в виде суммы произведений комплексов фазных ЭДС (напряжений) на сопряженные комплексы токов соответствующих фаз. В симметричной трёхфазной системе мощность, отдаваемая в нагрузку источником,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

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 1.127 \times 10^3 + 1.094i \times 10^3$$

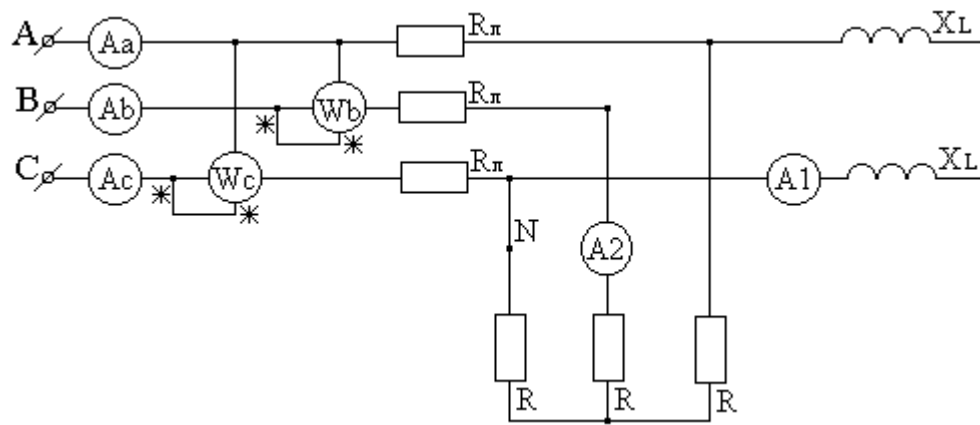
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned}
P_{Pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot R & P_{Pr} &= 1.127 \times 10^3 \\
Q_{Pr} &:= \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{Pr} &= 1.094i \times 10^3
\end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме

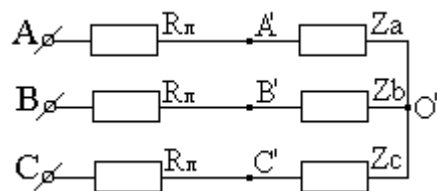


Несимметричная трёхфазная система.

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:

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

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

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:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 24.981 + 24.239i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 132.71 - 12.12i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 24.981 + 24.239i$$

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

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

$$Y_A = 0.021 - 0.02i \quad Y_B = 7.473 \times 10^{-3} + 6.825i \times 10^{-4} \quad Y_C = 0.021 - 0.02i$$

$$U_{O''O} := \frac{E_A \cdot Y_A + E_B \cdot Y_B + E_C \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad U_{O''O} = 39.678 + 34.92i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

$$U_{AO''} := E_A - U_{O''O} \quad U_{AO''} = 95.322 - 34.92i \quad F(U_{AO''}) = (101.517 \quad -20.12)$$

$$U_{BO''} := E_B - U_{O''O} \quad U_{BO''} = -107.178 - 151.833i \quad F(U_{BO''}) = (185.851 \quad -125.218)$$

$$U_{CO''} := E_C - U_{O''O} \quad U_{CO''} = -107.178 + 81.993i \quad F(U_{CO''}) = (134.945 \quad 142.583)$$

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

$$I_A := \frac{U_{AO''}}{Z_{ea}} \quad I_A = 1.267 - 2.627i \quad F(I_A) = (2.917 \quad -64.256)$$

$$I_B := \frac{U_{BO''}}{Z_{eb}} \quad I_B = -0.697 - 1.208i \quad F(I_B) = (1.395 \quad -120)$$

$$I_C := \frac{U_{CO''}}{Z_{ec}} \quad I_C = -0.569 + 3.835i \quad F(I_C) = (3.877 \quad 98.447)$$

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

$$U_{AA'} := I_A \cdot Z_a \quad U_{AA'} = 21.282 - 44.134i \quad F(U_{AA'}) = (48.998 \quad -64.256)$$

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

$$U_{BB'} := I_B \cdot Z_b \quad U_{BB'} = -11.715 - 20.291i \quad F(U_{BB'}) = (23.43 \quad -120)$$

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

$$U_{CC'} := I_C \cdot Z_c \quad U_{CC'} = -9.567 + 64.425i \quad F(U_{CC'}) = (65.132 \quad 98.447)$$

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:

$$U_{A'B'} := U_{AB} - U_{AA'} + U_{BB'} \quad U_{A'B'} = 169.503 + 140.757i \quad F(U_{A'B'}) = (220.327 \quad 39.707)$$

аналогично вычисляют

$$U_{B'C'} := U_{BC} - U_{BB'} + U_{CC'} \quad U_{B'C'} = 2.148 - 149.111i \quad F(U_{B'C'}) = (149.126 \quad -89.175)$$

$$U_{C'A'} := U_{CA} - U_{CC'} + U_{AA'} \quad U_{C'A'} = -171.651 + 8.354i \quad F(U_{C'A'}) = (171.854 \quad 177.214)$$

Ток, согласно закону Ома, равен:

$$I''_A := \frac{U_{C'A'}}{X_L \cdot i + X_L \cdot i} \quad I''_A = 0.155 + 3.179i \quad F(I''_A) = (3.182 \quad 87.214)$$

$$I''_C := I''_A \quad I''_C = 0.155 + 3.179i \quad F(I''_C) = (3.182 \quad 87.214)$$

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

$$\begin{aligned} I_C &:= I_C - I''_C & I_C &= -0.724 + 0.656i & F(I_C) &= (0.977 \quad 137.823) \\ I_B &:= I_B & I_B &= -0.697 - 1.208i & F(I_B) &= (1.395 \quad -120) \\ I_A &:= I_A + I''_A & I_A &= 1.421 + 0.552i & F(I_A) &= (1.525 \quad 21.211) \end{aligned}$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 3.182 \text{ (A)} \quad A_2 = 1.395 \text{ (A)} \quad A_a = 2.917 \text{ (A)} \quad A_b = 1.395 \text{ (A)} \quad A_c = 3.877 \text{ (A)}$$

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

Показание ваттметра W_a :

$$\begin{aligned} E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -202.5 + 116.913i \\ W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 563.659 \end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned} E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -202.5 - 116.913i \\ W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 282.412 \end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 846.071$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 846.071 + 546.925i$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned} P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_B|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 846.071 \\ Q_{pr} &:= \left[(|I'_A|)^2 + (|I'_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 546.925i \end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

