

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

Расчетно-графическая работа
“Трёхфазные цепи”
Вариант 025

Выполнил:_____

Проверил:_____

Киев 2007

Условие задания

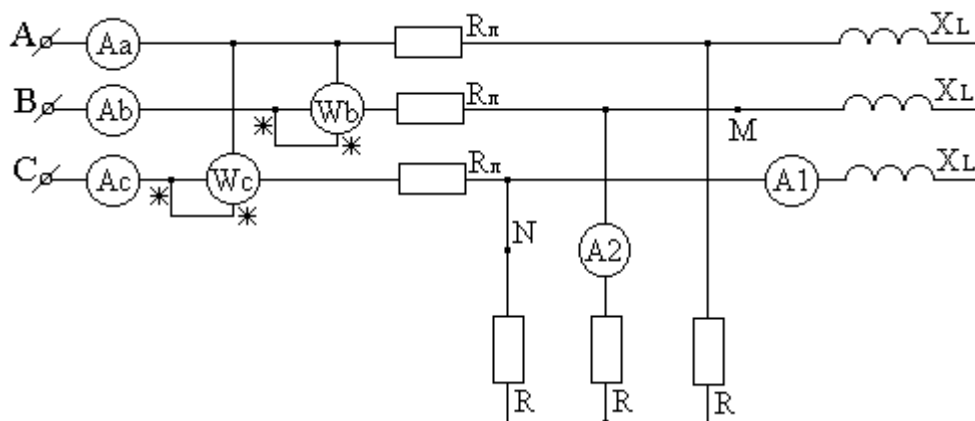
Симметричны трёхфазный генератор с обмотками, соединёнными в звезду, питает через трехпроводную линию электропередачи нагрузку с элементами, соединёнными звездой и треугольником.

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.

$$U_A := 127 \quad U_B := U_A \quad U_C := U_B \quad \psi_A := 0 \quad R_L := 12 \quad R := 72 \quad X_L := 30$$

Обрыв проводится в точке N.



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:

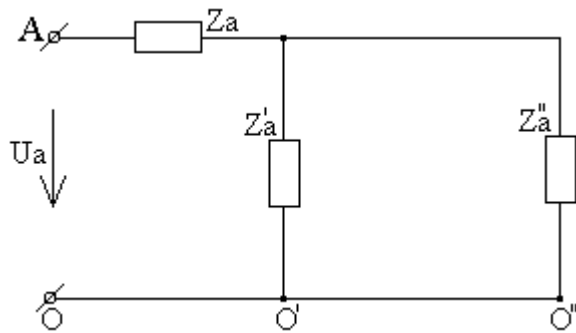
$$E_A := U_A \cdot e^{i \cdot \psi_A \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_B := U_B \cdot e^{i(\psi_A - 120) \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_C := U_C \cdot e^{i(\psi_A + 120) \cdot \frac{\pi}{180}}$$

$$F(E_A) = (127 \ 0) \quad F(E_B) = (127 \ -120) \quad F(E_C) = (127 \ 120)$$

$$Z_a := R_L \quad Z_b := Z_a \quad Z_c := Z_b \quad Z_a = 12$$

$$Z'_a := R \quad Z'_b := Z'_a \quad Z'_c := Z'_b \quad Z'_a = 72$$

$$Z''_a := X_L \cdot i \quad Z''_b := Z''_a \quad Z''_c := Z''_b \quad Z''_a = 30i$$



Преобразованная схема (фаза А)

Эквивалентное сопротивление данной схемы равно:

$$Z_{ea} := Z_a + \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea} = 22.651 + 25.562i$$

Ток в фазе А, согласно закону Ома, равен:

$$I_A := \frac{E_A}{Z_{ea}} \quad I_A = 2.466 - 2.783i \quad F(I_A) = (3.718 \ -48.455)$$

Соответственно в фазах В и С:

$$I_B := I_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_B = -3.643 - 0.744i \quad F(I_B) = (3.718 \ -168.455)$$

$$I_C := I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I_C = 1.177 + 3.527i \quad F(I_C) = (3.718 \ 71.545)$$

Фазное напряжение на параллельном участке А'О равно:

$$Z_{ea'} := \frac{Z'_a \cdot Z''_a}{Z'_a + Z''_a} \quad Z_{ea'} = 10.651 + 25.562i$$

$$U_{A'O} := I_A \cdot Z_{ea'} \quad U_{A'O} = 97.407 + 33.397i$$

Остальные токи равны:

$$I'_A := \frac{U_{A'O}}{Z'_a} \quad I'_A = 1.353 + 0.464i \quad F(I'_A) = (1.43 \ 18.925)$$

$$I'_B := I'_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad I'_B = -0.275 - 1.404i \quad F(I'_B) = (1.43 \ -101.075)$$

$$\begin{aligned}
I_C &:= I_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I_C &= -1.078 + 0.94i & F(I_C) &= (1.43 \quad 138.925) \\
I''_A &:= \frac{U_{A'O}}{Z''_a} & I''_A &= 1.113 - 3.247i & F(I''_A) &= (3.432 \quad -71.075) \\
I''_B &:= I''_A \cdot e^{-i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_B &= -3.369 + 0.659i & F(I''_B) &= (3.432 \quad 168.925) \\
I''_C &:= I''_A \cdot e^{i \cdot 120 \cdot \frac{\pi}{180}} & I''_C &= 2.255 + 2.588i & F(I''_C) &= (3.432 \quad 48.925)
\end{aligned}$$

На основании выполненных расчетов, показания амперметров будут равны:

$$A_1 = 3.432 \quad A_2 = 1.43 \quad A_a = 3.718 \quad A_b = 3.718 \quad A_c = 3.718$$

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 :

$$\begin{aligned}
E_{CA} &:= E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{CA} &= -190.5 + 109.985i \\
W_a &:= \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) & W_a &= 163.696
\end{aligned}$$

Показание ваттметра W_b :

$$\begin{aligned}
E_{BA} &:= E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} & E_{BA} &= -190.5 - 109.985i \\
W_b &:= \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) & W_b &= 775.886
\end{aligned}$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 939.582$$

Баланс активной и реактивной мощностей

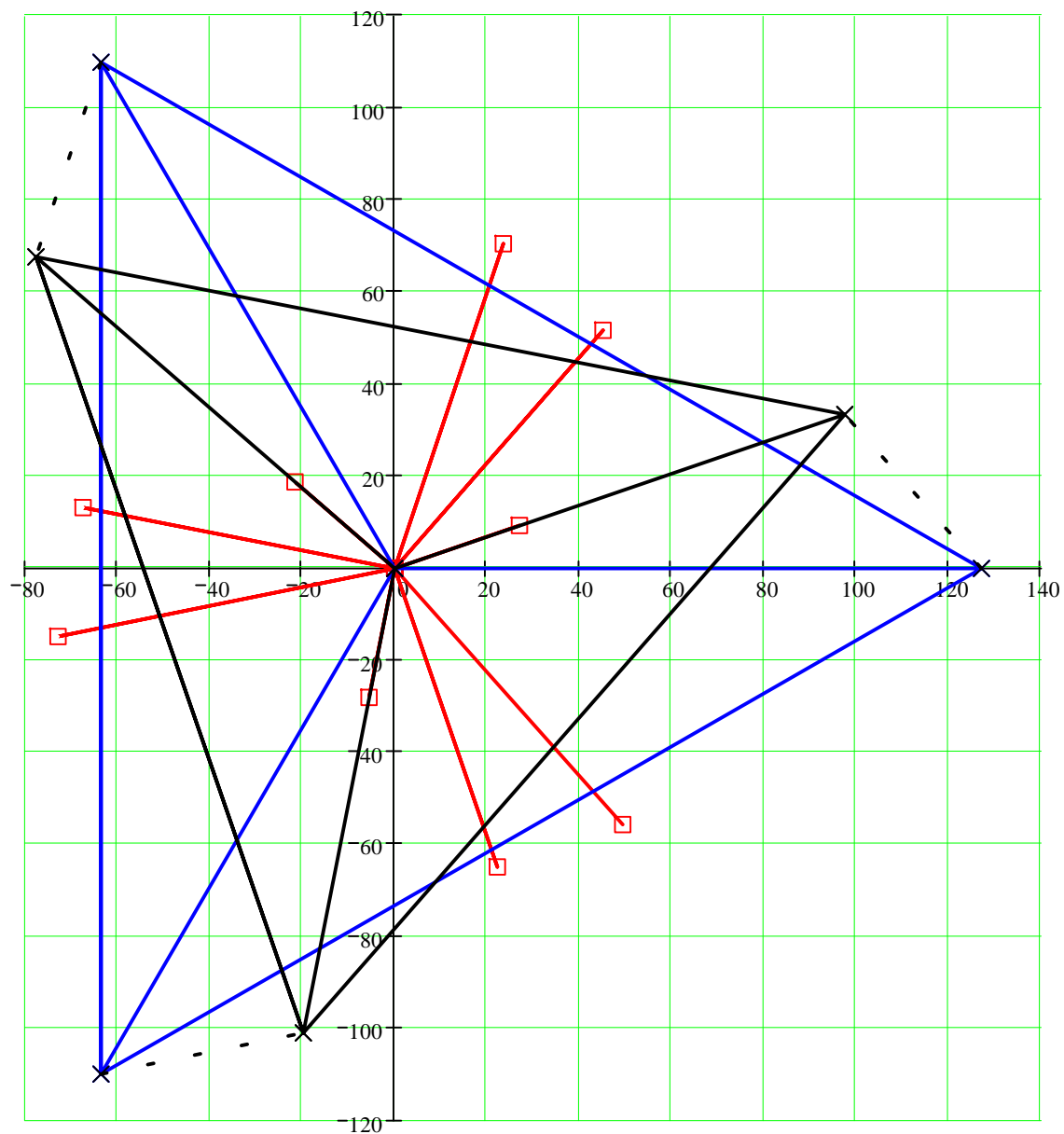
Правильность расчетов проверим, составив баланс активных и реактивных мощностей. Мощность источника энергии определяют в виде суммы произведений комплексов фазных ЭДС (напряжений) на сопряженные комплексы токов соответствующих фаз. В симметричной трёхфазной системе мощность, отдаваемая в нагрузку источником,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

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 939.582 + 1.06i \times 10^3$$

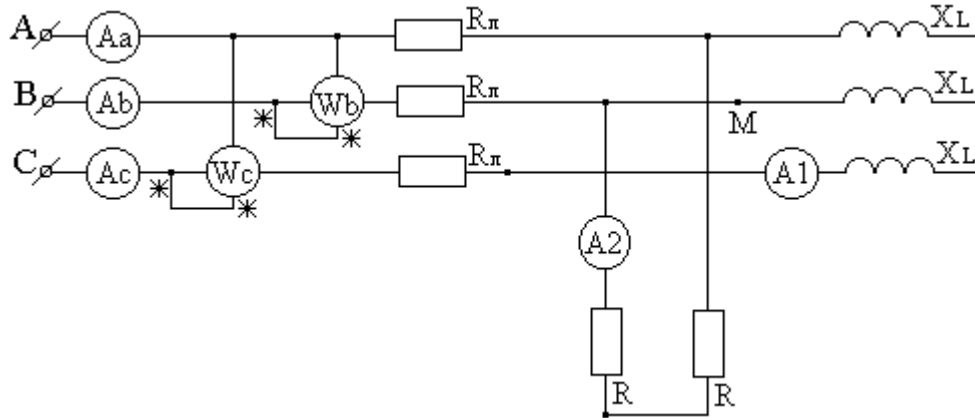
Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$\begin{aligned}
P_{pr} &:= \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot R & P_{pr} &= 939.582 \\
Q_{pr} &:= \left[(|I''_A|)^2 + (|I''_B|)^2 + (|I''_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) & Q_{pr} &= 1.06i \times 10^3
\end{aligned}$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи



Определение показаний измерительных приборов в аварийном режиме

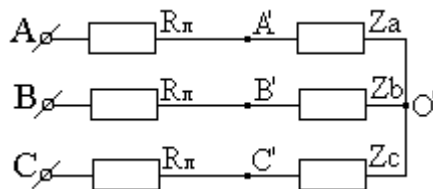


Несимметричная трёхфазная система.

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

$$X'_L := X_L \cdot i + X_L \cdot i + \frac{X_L \cdot i \cdot X_L \cdot i}{X_L \cdot i} \quad X'_L = 90i$$

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:

$$Z_{A'B'} := \frac{2 \cdot R \cdot X'_L}{2R + X'_L} \quad Z_{A'B'} = 40.449 + 64.719i$$

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

Сопротивление эквивалентной звезды:

$$Z_a := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_a = 10.651 + 25.562i$$

$$Z_b := \frac{Z_{A'B'} \cdot Z_{B'C'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_b = 10.651 + 25.562i$$

$$Z_c := \frac{Z_{B'C'} \cdot Z_{C'A'}}{Z_{A'B'} + Z_{B'C'} + Z_{C'A'}} \quad Z_c = -5.325 + 32.219i$$

Полные комплексные сопротивления в каждой фазе цепи:

$$Z_{ea} := Z_a + Z_a \quad Z_{ea} = 22.651 + 25.562i$$

$$Z_{eb} := Z_b + Z_b \quad Z_{eb} = 22.651 + 25.562i$$

$$Z_{ec} := Z_c + Z_c \quad Z_{ec} = 6.675 + 32.219i$$

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

$$Y_A := \frac{1}{Z_{ea}}$$

$$Y_B := \frac{1}{Z_{eb}}$$

$$Y_C := \frac{1}{Z_{ec}}$$

$$Y_A = 0.019 - 0.022i$$

$$Y_B = 0.019 - 0.022i$$

$$Y_C = 6.165 \times 10^{-3} - 0.03i$$

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

$$U_{O''O} = 19.798 + 11.056i$$

Фазные напряжения на элементах нагрузки цепи равны:

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

$$U_{AO''} = 107.202 - 11.056i$$

$$F(U_{AO''}) = (107.77 \quad -5.888)$$

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

$$U_{BO''} = -83.298 - 121.042i$$

$$F(U_{BO''}) = (146.934 \quad -124.535)$$

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

$$U_{CO''} = -83.298 + 98.929i$$

$$F(U_{CO''}) = (129.327 \quad 130.097)$$

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

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

$$I_A = 1.839 - 2.564i$$

$$F(I_A) = (3.155 \quad -54.344)$$

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

$$I_B = -4.27 - 0.525i$$

$$F(I_B) = (4.302 \quad -172.99)$$

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

$$I_C = 2.431 + 3.089i$$

$$F(I_C) = (3.931 \quad 51.801)$$

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

$$U_{AB} = 190.5 + 109.985i$$

$$F(U_{AB}) = (219.97 \quad 30)$$

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

$$U_{AA'} = 22.072 - 30.767i$$

$$F(U_{AA'}) = (37.865 \quad -54.344)$$

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

$$U_{BC} = -219.97i$$

$$F(U_{BC}) = (219.97 \quad -90)$$

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

$$U_{BB'} = -51.24 - 6.3i$$

$$F(U_{BB'}) = (51.626 \quad -172.99)$$

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

$$U_{CA} = -190.5 + 109.985i$$

$$F(U_{CA}) = (219.97 \quad 150)$$

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

$$U_{CC'} = 29.167 + 37.067i$$

$$F(U_{CC'}) = (47.167 \quad 51.801)$$

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:

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

$$U_{A'B'} = 117.188 + 134.452i$$

$$F(U_{A'B'}) = (178.354 \quad 48.925)$$

аналогично вычисляют

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

$$U_{B'C'} = 80.407 - 176.603i$$

$$F(U_{B'C'}) = (194.046 \quad -65.52)$$

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

$$U_{C'A'} = -197.595 + 42.152i$$

$$F(U_{C'A'}) = (202.041 \quad 167.958)$$

Ток в активной нагрузке, согласно закону Ома, равен:

$$\Gamma_A := \frac{U_{A'B'}}{2R} \quad \Gamma_A = 0.814 + 0.934i \quad F(\Gamma_A) = (1.239 \quad 48.925)$$

$$\Gamma_B := -\Gamma_A \quad \Gamma_B = -0.814 - 0.934i \quad F(\Gamma_B) = (1.239 \quad -131.075)$$

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

$$\Gamma_C := I_C \quad \Gamma_C = 2.431 + 3.089i \quad F(\Gamma_C) = (3.931 \quad 51.801)$$

$$\Gamma_A := I_A - \Gamma_A \quad \Gamma_A = 1.026 - 3.498i \quad F(\Gamma_A) = (3.645 \quad -73.658)$$

$$\Gamma_B := I_B - \Gamma_B \quad \Gamma_B = -3.456 + 0.409i \quad F(\Gamma_B) = (3.48 \quad 173.256)$$

Согласно выполненным расчетам, показания включенных в цепь амперметров равны:

$$A_1 = 3.931 \quad A_2 = 1.239 \quad A_a = 3.155 \quad A_b = 4.302 \quad A_c = 3.931$$

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

Показание ваттметра Wa:

$$E_{CA} := E_C \cdot \sqrt{3} \cdot e^{i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{CA} = -190.5 + 109.985i$$

$$W_a := \operatorname{Re}(E_{CA} \cdot \overline{I_C}) \quad W_a = -123.297$$

Показание ваттметра Wb:

$$E_{BA} := E_B \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-i \cdot 30 \cdot \frac{\pi}{180}} \quad E_{BA} = -190.5 - 109.985i$$

$$W_b := \operatorname{Re}(E_{BA} \cdot \overline{I_B}) \quad W_b = 871.174$$

Полная мощность равна:

$$W := W_a + W_b \quad W = 747.877$$

Баланс активной и реактивной мощностей

$$S_r := E_A \cdot \overline{I_A} + E_B \cdot \overline{I_B} + E_C \cdot \overline{I_C} \quad S_r = 747.877 + 1.225i \times 10^3$$

Определим мощность, потребляемую приёмником:

$$P_{pr} := \left[(|I_A|)^2 + (|I_B|)^2 + (|I_C|)^2 \right] \cdot R_L + \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 \right] \cdot R \quad P_{pr} = 747.877$$

$$Q_{pr} := \left[(|\Gamma_A|)^2 + (|\Gamma_B|)^2 + (|\Gamma_C|)^2 \right] \cdot (X_L \cdot i) \quad Q_{pr} = 1.225i \times 10^3$$

Построение совмещенной векторной диаграммы токов и топографической диаграммы напряжений цепи

