

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Выбор варианта и параметров элементов цепи

1. По заданному номеру варианта изобразим цепь, подлежащую расчету, и выпишем значения параметров элементов.

2. В качестве источника задан симметричный трехфазный генератор, обмотки которого соединены звездой с прямой последовательностью чередования фаз.

Величина ЭДС фазы A $E_A = 220$ В (для четных вариантов выбирается равной 127 В, для нечетных – 220 В).

Численные значения комплексных сопротивлений обмоток генератора в Омах рассчитываются по следующей формуле

$$\begin{aligned} \underline{Z}_0 &= (A_0 + jB_0) \cdot 0.1 = \\ &= [4 + j(-2)] \cdot 0.1 = 0.4 - 0.2j \text{ Ом,} \end{aligned}$$

где A_0 – сумма цифр номера варианта;

B_0 – разность цифр номера варианта (из первой цифры вычитается вторая, если число однозначное, то B_0 равно номеру варианта).

3. Граф схемы, режим нейтрали, несимметричный режим и определяемое напряжение заданы в таблице 1.

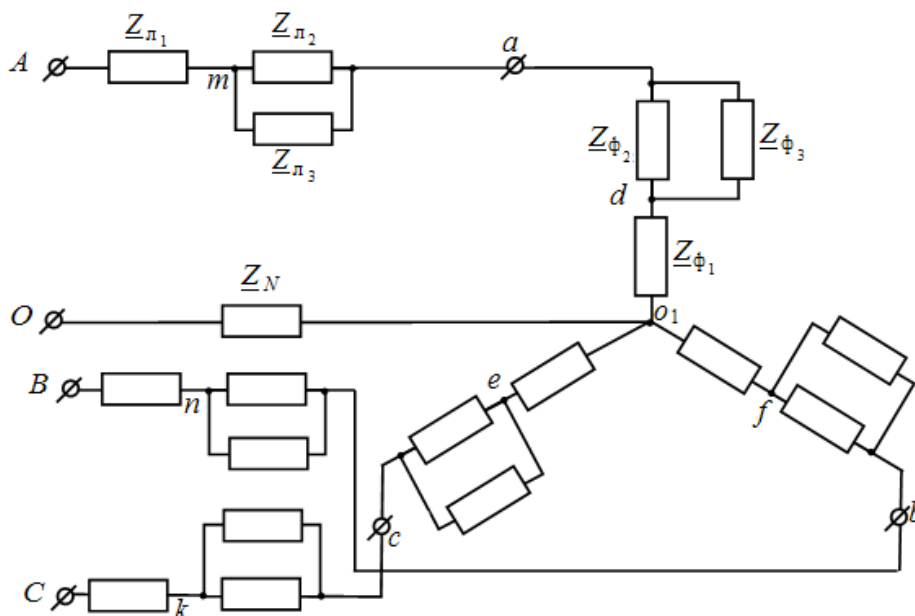


Рис. 1

4. Численные значения комплексных сопротивлений линии (рис. 1) определяются по формуле

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{л_1} &= |B_0| + jB_0 \\ &= |-2| + j(-2) = 2 - 2j \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_{л_2} &= |B_0 - B_1| + j(-B_1 + 5) \\ &= |(-2) - 1| + j(-1 + 5) = 3 + 4j \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_{л_3} &= \frac{1}{|B_0|} + j\frac{1}{B_0} \\ &= \frac{1}{|-2|} + j\cdot\frac{1}{-2} = 0.5 - 0.5j \text{ Ом,}\end{aligned}$$

где B_1 – первая цифра номера варианта (если число однозначное, то B_1 равно номеру варианта).

Тогда комплексное сопротивление каждого провода линии

$$\begin{aligned}\underline{Z}_{np} &= \underline{Z}_{л_1} + \frac{\underline{Z}_{л_2} \cdot \underline{Z}_{л_3}}{\underline{Z}_{л_2} + \underline{Z}_{л_3}} = \\ &= (2 - 2j) + \frac{(3 + 4j) \cdot (0.5 - 0.5j)}{(3 + 4j) + (0.5 - 0.5j)} = 2.5714 - 2.4286j \text{ Ом.}\end{aligned}$$

5. Численные значения комплексных сопротивлений фазы определяются по формуле

$$\underline{Z}_{\phi_1} = \underline{Z}_{л_1} \cdot 10; \quad \underline{Z}_{\phi_2} = \underline{Z}_{л_2} \cdot 10; \quad \underline{Z}_{\phi_3} = \underline{Z}_{л_3} \cdot 10.$$

Тогда комплексные сопротивления фаз симметричной нагрузки

$$\begin{aligned}\underline{Z}_H &= \underline{Z}_{\phi_1} + \frac{\underline{Z}_{\phi_2} \cdot \underline{Z}_{\phi_3}}{\underline{Z}_{\phi_2} + \underline{Z}_{\phi_3}} = \\ &= (20 - 20j) + \frac{(30 + 40j) \cdot (5 - 5j)}{(30 + 40j) + (5 - 5j)} = 25.714 - 24.286j \text{ Ом.}\end{aligned}$$

Расчет симметричного режима

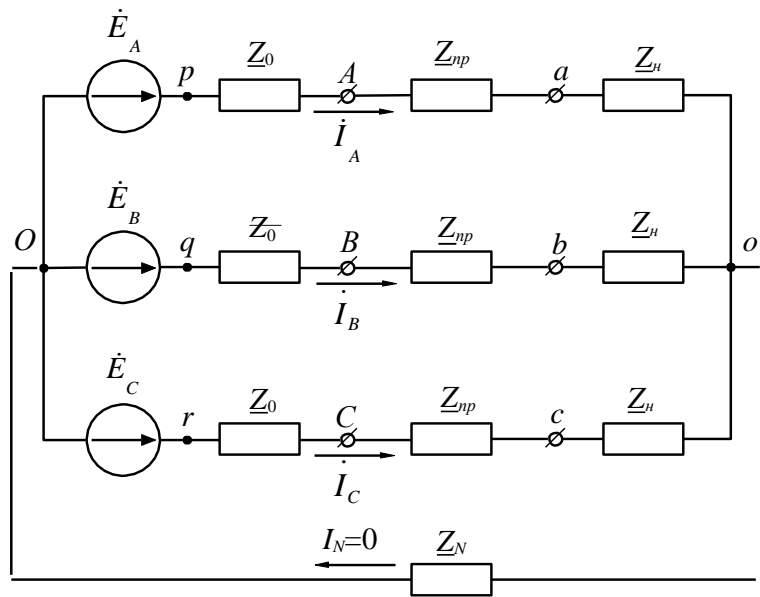


Рис. 2

Дано

К симметричному трехфазному генератору (рис. 2) с фазной ЭДС $E_A = 220$ В и внутренним сопротивлением $Z_0 = 0.4 - 0.2j$ Ом через линию, сопротивление каждого провода которой $Z_{лп} = 2.5714 - 2.4286j$ Ом, подключена симметричная нагрузка $Z_{н} = 25.714 - 24.286j$ Ом, соединенная звездой.

Решение

Запишем фазные ЭДС генератора в комплексном виде

$$\dot{E}_A = E_A = 220 \text{ В};$$

$$\dot{E}_B = E_A \cdot e^{-j120^\circ} = 220 \cdot e^{-j120^\circ} = 220 \cdot \left(-0,5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = -110 - j190.526 \text{ В};$$

$$\dot{E}_C = E_A \cdot e^{j120^\circ} = 220 \cdot e^{j120^\circ} = 220 \cdot \left(-0,5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = -110 + j190.526 \text{ В}.$$

Ввиду полной симметрии системы напряжение между нулевыми точками генератора и нагрузки равно нулю. Каждую фазу можно рассматривать независимо от других фаз и вести расчет по одной фазе, к примеру, фазе А.

Определим ток в фазе A по закону Ома

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_\phi} = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_{np} + \underline{Z}_H} = \\ &= \frac{220}{28.686 - 26.914j} = 5.593 \cdot e^{j 43.175^\circ} = 4.079 + 3.827j \text{ A.} \end{aligned}$$

Токи в фазах B и C соответственно

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_\phi} = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ} = \\ &= 5.593 \cdot e^{j 43.175^\circ} \cdot e^{-j 120^\circ} = 5.593 \cdot e^{-j 76.825^\circ} = 1.275 - 5.446j \text{ A;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_\phi} = \dot{I}_A \cdot e^{j120^\circ} = \\ &= 5.593 \cdot e^{j 43.175^\circ} \cdot e^{j 120^\circ} = 5.593 \cdot e^{j 163.175^\circ} = -5.354 + 1.619j \text{ A.} \end{aligned}$$

Проверка

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= \\ &= (4.079 + 3.827j) + (1.275 - 5.446j) + (-5.354 + 1.619j) = 0. \end{aligned}$$

Фазные напряжения на зажимах генератора

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AO} &= \dot{E}_A - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= 220 - (4.079 + 3.827j) \cdot (0.4 - 0.2j) = 217.6 - 0.72j = 217.60 \cdot e^{-j 0.188^\circ} \text{ В;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{BO} &= \dot{E}_B - \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= (-110 - 190.5j) - (1.275 - 5.446j) \cdot (0.4 - 0.2j) = -109.42 - 188.07j = \\ &= 217.60 \cdot e^{-j 120.19^\circ} \text{ В;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{CO} &= \dot{E}_C - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= (-110 + 190.5j) - (-5.354 + 1.619j) \cdot (0.4 - 0.2j) = -108.18 + 188.78j = \\ &= 217.60 \cdot e^{j 119.81^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

Фазные напряжения на зажимах нагрузки

$$\dot{U}_{ao_1} = \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_H =$$

$$= (4.079 + 3.827j) \cdot (25.714 - 24.286j) = 197.83 - 0.66j = 197.82 \cdot e^{-j 0.19^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{bo_1} = \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_H =$$

$$= (1.275 - 5.446j) \cdot (25.714 - 24.286j) = -99.48 - 171j = 197.82 \cdot e^{-j 120.19^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{co_1} = \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_H =$$

$$= (-5.354 + 1.619j) \cdot (25.714 - 24.286j) = -98.35 + 171.66j = 197.82 \cdot e^{j 119.81^\circ} \text{ В}.$$

Линейные напряжения на выводах генератора и нагрузки

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{BO} =$$

$$= (217.6 - 0.72j) - (-109.42 - 188.07j) = 327.02 + 187.35j = 376.9 \cdot e^{j 29.81^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BO} - \dot{U}_{CO} =$$

$$= (-109.42 - 188.07j) - (-108.18 + 188.78j) = -1.24 - 376.85j = 376.9 \cdot e^{-j 90.19^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CO} - \dot{U}_{AO} =$$

$$= (-108.18 + 188.78j) - (217.6 - 0.72j) = -325.78 + 189.5j = 376.9 \cdot e^{j 149.81^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{ao_1} - \dot{U}_{bo_1} =$$

$$= (197.83 - 0.66j) - (-99.48 - 171j) = 297.31 + 170.34j = 342.6 \cdot e^{j 29.81^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{bo_1} - \dot{U}_{co_1} =$$

$$= (-99.48 - 171j) - (-98.35 + 171.66j) = -1.13 - 342.66j = 342.6 \cdot e^{-j 90.19^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{co_1} - \dot{U}_{ao_1} =$$

$$= (-98.35 + 171.66j) - (197.83 - 0.66j) = -296.18 + 172.32j = 342.6 \cdot e^{j 149.81^\circ} \text{ В}.$$

Активная мощность, вырабатываемая генератором (отдаваемая в сеть)

$$P_{\Gamma} = 3 \cdot \operatorname{Re} \left[\dot{U}_{pO} \cdot I_A^* \right] =$$

$$= 3 \cdot \operatorname{Re} \left(220 \cdot 5.593 \cdot e^{-j 43.175^\circ} \right) = 3 \cdot 897.3 = 2692 \text{ Вт.}$$

Мощность, расходуемая в нагрузке

$$P_H = 3 \cdot I_A^2 \cdot R_H = 3 \cdot 5.593^2 \cdot 25.714 = 2413 \text{ Вт.}$$

Составим баланс активной и реактивной мощностей генератора и нагрузки и проверим его выполнимость.

Комплексная мощность э.д.с. генератора

$$\tilde{S}_{\Gamma} = P_{\Gamma} + jQ_{\Gamma} = 3 \cdot \dot{E}_A \cdot I_A^* =$$

$$= 3 \cdot 220 \cdot (4.079 - 3.827j) = 2692 - 2526j \text{ ВА.}$$

Активная мощность э.д.с. генератора $P_{\Gamma} = 2692$ Вт, реактивная мощность э.д.с. генератора $Q_{\Gamma} = -2526$ вар.

Потребляемая активная мощность складывается из мощностей расхода на внутреннем сопротивлении генератора, сопротивлении линии и нагрузки

$$P = 3 \cdot (P_0 + P_{np} + P_H) = 3 \cdot I_A^2 \cdot (R_0 + R_{np} + R_H) =$$

$$= 3 \cdot 5.593^2 \cdot (0.4 + 2.571 + 25.714) = 2691.9 \text{ Вт,}$$

реактивная мощность в элементах внутреннего сопротивления генератора, линии и приемника

$$Q = 3 \cdot (Q_0 + Q_{np} + Q_H) = 3 \cdot I_A^2 \cdot (X_0 + X_{np} + X_H) =$$

$$= 3 \cdot 5.593^2 \cdot [(-0.2) + (-2.429) + (-24.286)] = -2525.8 \text{ вар.}$$

Допускается расхождение баланса активных мощностей

$$\Delta P = \frac{|P_{\Gamma} - P|}{P_{\Gamma}} \cdot 100\% = \frac{|2692 - 2691.9|}{2692} \cdot 100 = 0.004 \% < 0.5\%$$

и реактивных мощностей

$$\Delta Q = \left| \frac{Q_{\Gamma} - Q}{Q_{\Gamma}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2526 - 2525.8}{2526} \right| \cdot 100 = 0.01 \% < 0.5\%.$$

Поскольку баланс активных и реактивных мощностей выполняется, то расчет произведен верно.

Построение топографической диаграммы.

Рассчитаем потенциалы всех точек схемы (рис. 2), приняв потенциал нейтральной точки генератора O равным нулю

$$\dot{\phi}_O = 0;$$

$$\dot{\phi}_p = \dot{E}_A = 220 \text{ В};$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_A &= \dot{\phi}_p - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= 220 - (4.079 + 3.827j) \cdot (0.4 - 0.2j) = 217.6 - 0.72j \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_a &= \dot{\phi}_A - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_{np} = \\ &= (217.6 - 0.72j) - (4.079 + 3.827j) \cdot (2.571 - 2.429j) = 197.82 - 0.65j \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_{o_1} &= \dot{\phi}_a - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_h = \\ &= (197.82 - 0.65j) - (4.079 + 3.827j) \cdot (25.714 - 24.286j) = 0 \text{ В};\end{aligned}$$

$$\dot{\phi}_q = \dot{E}_B = -110 - 190.526 \text{ В};$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_B &= \dot{\phi}_q - \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= (-110 - 190.526j) - (1.275 - 5.446j) \cdot (0.4 - 0.2j) = -109.42 - 188.09j \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_b &= \dot{\phi}_B - \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_{np} = \\ &= (-109.42 - 188.09j) - (1.275 - 5.446j) \cdot (2.571 - 2.429j) = -99.47 - 170.99j \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_{o_1} &= \dot{\phi}_b - \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_h = \\ &= (-99.47 - 170.99j) - (1.275 - 5.446j) \cdot (25.714 - 24.286j) = 0 \text{ В};\end{aligned}$$

$$\dot{\phi}_r = \dot{E}_C = -110 + 190.526 \text{ В};$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_C &= \dot{\phi}_r - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= (-110 + 190.526j) - (-5.354 + 1.619j) \cdot (0.4 - 0.2j) = -108.18 + 188.81j \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_c &= \dot{\phi}_C - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_{np} = \\ &= (-108.18 + 188.81j) - (-5.354 + 1.619j) \cdot (2.571 - 2.429j) = -98.35 + 171.64j \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{\phi}_{o_1} &= \dot{\phi}_c - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_h = \\ &= (-98.35 + 171.64j) - (-5.354 + 1.619j) \cdot (25.714 - 24.286j) = 0 \text{ В}.\end{aligned}$$

Совмещенная векторная диаграмма токов и потенциальная диаграмма напряжений представлена на рис. 3.

Расчет несимметричного режима

Несимметрия режима возникает вследствие обрыва $\underline{Z}_{\phi 1}$ фазы b (рис. 4).

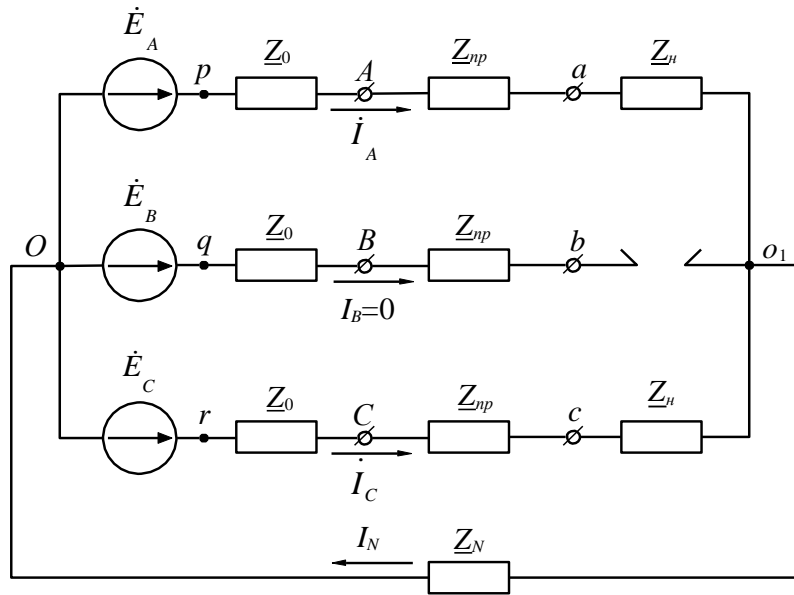


Рис. 4

В этом случае между нулевыми точками генератора и нагрузки возникает напряжение смещения нейтрали

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_a + \dot{E}_B \underline{Y}_b + \dot{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_N}$$

Для определения величины напряжения смещения нейтрали вычислим комплексные проводимости фаз

$$\underline{Y}_a = \underline{Y}_c = \frac{1}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_{np} + \underline{Z}_n} = \frac{1}{28.686 - 26.914j} = 0.01854 + 0.0173947j \text{ См};$$

$$\underline{Y}_b = 0.$$

Напряжение смещения нейтрали

$$\begin{aligned} \dot{U}_N &= \frac{\dot{E}_A \underline{Y}_a + \dot{E}_B \underline{Y}_b + \dot{E}_C \underline{Y}_c}{\underline{Y}_a + \underline{Y}_b + \underline{Y}_c + \underline{Y}_N} = \frac{(\dot{E}_A + \dot{E}_C) \cdot \underline{Y}_a}{2 \cdot \underline{Y}_a + \underline{Y}_N} = \\ &= \frac{[220 + (-110 + 190.526j)] \cdot (0.01854 + 0.0173947j)}{0.03708 - 0.06521j} = -71.506 + 21.112j \text{ В.} \end{aligned}$$

Токи всех фаз

$$\begin{aligned} I_A &= (\dot{E}_A - U_N) \cdot \underline{Y}_a = \\ &= [220 - (-71.506 + 21.112j)] \cdot (0.01854 + 0.0173947j) = 5.772 + 4.679j \text{ А;} \end{aligned}$$

$$I_B = (E_B - U_N) \cdot Y_b = 0;$$

$$I_C = (E_C - U_N) \cdot Y_c =$$

$$= [(-110 + 190.526j) - (-71.506 + 21.112j)] \cdot (0.01854 + 0.0173947j) = -3.661 + 2.471j \text{ A.}$$

Ток в нейтральном проводе

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C =$$

$$= (5.772 + 4.679j) + 0 + (-3.661 + 2.471j) = 2.111 + 7.15j = 7.456 \cdot e^{j 73.55^\circ} \text{ A.}$$

Напряжения на фазах нагрузки

$$\dot{U}_{ao_1} = \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_H =$$

$$= (5.772 + 4.679j) \cdot (25.714 - 24.286j) = 262.06 - 19.86j = 262.8 \cdot e^{-j 4.33^\circ} \text{ B;}$$

$$\dot{U}_{bo_1} = \dot{E}_B - \dot{U}_N =$$

$$= (-110 - 190.526j) - (-71.506 + 21.112j) = -38.49 - 211.64j = 215.1 \cdot e^{-j 100.31^\circ} \text{ B;}$$

$$\dot{U}_{co_1} = \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_H =$$

$$= (-3.661 + 2.471j) \cdot (25.714 - 24.286j) = -34.13 + 152.45j = 156.2 \cdot e^{j 102.61^\circ} \text{ B.}$$

Напряжение на каждой фазе генератора

$$\dot{U}_{AO} = \dot{E}_A - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_0 =$$

$$= 220 - (5.772 + 4.679j) \cdot (0.4 - 0.2j) = 216.76 - 0.72j = 216.8 \cdot e^{-j 0.19^\circ} \text{ B;}$$

$$\dot{U}_{BO} = \dot{E}_B - \dot{I}_B \cdot \underline{Z}_0 =$$

$$= (-110 - 190.53j) - 0 \cdot (0.4 - 0.2j) = -110 - 190.5j = 220 \cdot e^{-j 120^\circ} \text{ B;}$$

$$\dot{U}_{CO} = \dot{E}_C - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_0 =$$

$$= (-110 + 190.53j) - (-3.661 + 2.471j) \cdot (0.4 - 0.2j) = -109 + 188.8j = 218.0 \cdot e^{j 120.01^\circ} \text{ B.}$$

Линейные напряжения на выводах генератора и нагрузки

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{BO} = \\ &= (216.76 - 0.72j) - (-110 - 190.5j) = 326.8 + 189.8j = 377.9 \cdot e^{j 30.15^\circ} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{BC} &= \dot{U}_{BO} - \dot{U}_{CO} = \\ &= (-110 - 190.5j) - (-109 + 188.8j) = -1 - 379.3j = 379.3 \cdot e^{-j 90.15^\circ} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{CA} &= \dot{U}_{CO} - \dot{U}_{AO} = \\ &= (-109 + 188.8j) - (216.76 - 0.72j) = -325.8 + 189.5j = 376.9 \cdot e^{j 149.81^\circ} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{ab} &= \dot{U}_{ao_1} - \dot{U}_{bo_1} = \\ &= (262.06 - 19.86j) - (-38.49 - 211.64j) = 300.6 + 191.8j = 356.5 \cdot e^{j 32.54^\circ} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{bc} &= \dot{U}_{bo_1} - \dot{U}_{co_1} = \\ &= (-38.49 - 211.64j) - (-34.13 + 152.45j) = -4.4 - 364.1j = 364.1 \cdot e^{-j 90.69^\circ} \text{ В};\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{ca} &= \dot{U}_{co_1} - \dot{U}_{ao_1} = \\ &= (-34.13 + 152.45j) - (262.06 - 19.86j) = -296.2 + 172.3j = 342.6 \cdot e^{j 149.81^\circ} \text{ В}.\end{aligned}$$

Активная мощность, вырабатываемая генератором, складывается из активных мощностей каждой фазы генератора

$$P_{\Gamma} = P_A + P_B + P_C.$$

Определим активную мощность каждой фазы генератора

$$\begin{aligned}P_A &= \operatorname{Re} \left[\dot{E}_A \cdot I_A^* \right] = \\ &= \operatorname{Re} [220 \cdot (5.772 - 4.679j)] = \operatorname{Re} (1269.8 - 1029.5j) = 1269.8 \text{ Вт};\end{aligned}$$

$$P_B = \operatorname{Re} \left[\dot{E}_B \cdot I_B^* \right] = 0;$$

$$\begin{aligned}P_C &= \operatorname{Re} \left[\dot{E}_C \cdot I_C^* \right] = \\ &= \operatorname{Re} [(-110 + 190.526j) \cdot (-3.661 - 2.471j)] = \operatorname{Re} (873.5 - 425.6j) = 873.5 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} P_{\Gamma} &= P_A + P_B + P_C = \\ &= 1270 + 0 + 874 = 2144 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Мощность, расходуемая в нагрузке, равна сумме активных мощностей фаз (вследствие обрыва фазы B , активная мощность этой фазы равна нулю)

$$\begin{aligned} P_n &= I_A^2 \cdot R_a + I_B^2 \cdot R_b + I_C^2 \cdot R_c = \\ &= 7.43^2 \cdot 25.714 + 0 + 4.417^2 \cdot 25.714 = 1921 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Составим баланс активной и реактивной мощностей генератора и нагрузки и проверим его выполнимость.

Комплексная мощность генератора

$$\begin{aligned} \tilde{S}_{\Gamma} &= P_{\Gamma} + jQ_{\Gamma} = \dot{E}_A \cdot I_A^* + \dot{E}_B \cdot I_B^* + \dot{E}_C \cdot I_C^* = \\ &= (1269.8 - 1029.5j) + 0 + (873.5 - 425.6j) = 2143.3 - 1455.1j = 2590 \cdot e^{-j 34.17^\circ} \text{ ВА.} \end{aligned}$$

Активная мощность генератора

$$P_{\Gamma} = 2143 \text{ Вт,}$$

реактивная мощность

$$Q_{\Gamma} = -1455 \text{ вар.}$$

Потребляемая активная мощность складывается из мощностей расхода на внутреннем сопротивлении фаз генератора, сопротивлений линии и нагрузки

$$\begin{aligned} P &= P_0 + P_{np} + P_n = \\ &= I_A^2 \cdot (R_0 + R_{np} + R_a) + I_B^2 \cdot (R_0 + R_{np} + R_b) + I_C^2 \cdot (R_0 + R_{np} + R_c) + I_N^2 \cdot R_N = \\ &= 7.43^2 \cdot 28.686 + 0 + 4.417^2 \cdot 28.686 + 7.456^2 \cdot 0 = 2143 \text{ Вт,} \end{aligned}$$

реактивная мощность в элементах внутреннего сопротивления генератора, линии и приемника каждой фазы

$$\begin{aligned} Q &= Q_0 + Q_{np} + Q_n = \\ &= I_A^2 \cdot (X_0 + X_{np} + X_a) + I_B^2 \cdot (X_0 + X_{np} + X_b) + I_C^2 \cdot (X_0 + X_{np} + X_c) + I_N^2 \cdot X_N = \\ &= 7.43^2 \cdot (-26.914) + 0 + 4.417^2 \cdot (-26.914) + 7.456^2 \cdot 10 = -1455 \text{ вар.} \end{aligned}$$

Допускается расхождение баланса активных мощностей

$$\Delta P = \frac{|P_{\Gamma} - P|}{P_{\Gamma}} \cdot 100\% = \frac{|2143.3 - 2143|}{2143.3} \cdot 100 = 0.01 \% < 0.5\%$$

и реактивных мощностей

$$\Delta Q = \left| \frac{Q_r - Q}{Q_r} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{1455.1 - 1455}{1455.1} \right| \cdot 100 = 0.01 \% < 0.5\%.$$

Поскольку баланс активных и реактивных мощностей сходится, то расчет произведен верно.

Построение топографической диаграммы

Рассчитаем потенциалы всех точек схемы (рис. 4), приняв потенциал нейтральной точки генератора O равным нулю

$$\dot{\phi}_O = 0;$$

$$\dot{\phi}_p = \dot{E}_A = 127 \text{ В};$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_A &= \dot{\phi}_p - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= 220 - (5.772 + 4.679j) \cdot (0.4 - 0.2j) = 216.76 - 0.72j \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_a &= \dot{\phi}_A - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_{np} = \\ &= (216.76 - 0.72j) - (5.772 + 4.679j) \cdot (2.571 - 2.429j) = 190.55 + 1.27j \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_{o_1} &= \dot{\phi}_a - \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_n = \\ &= (190.55 + 1.27j) - (5.772 + 4.679j) \cdot (25.714 - 24.286j) = -71.51 + 21.13j \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\dot{\phi}_q = \dot{E}_B = -110 - 190.53 \text{ В};$$

$$\dot{\phi}_b = \dot{\phi}_B = \dot{\phi}_q;$$

$$\dot{\phi}_r = \dot{E}_C = -110 + 190.53 \text{ В};$$

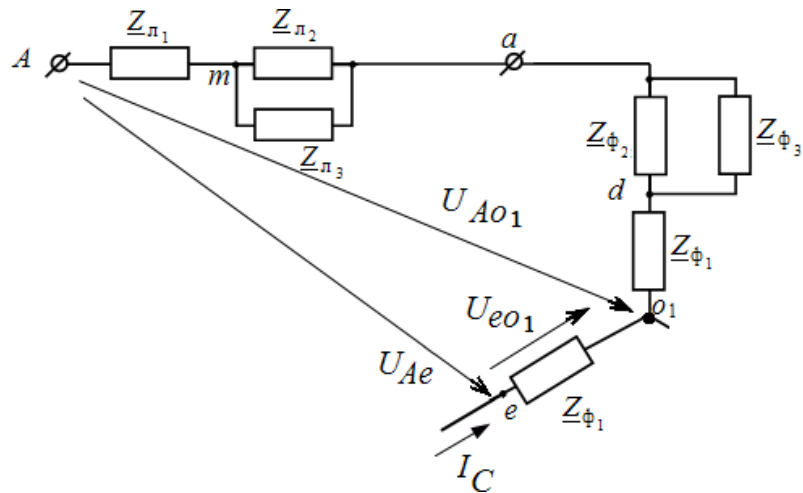
$$\begin{aligned} \dot{\phi}_C &= \dot{\phi}_r - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_0 = \\ &= (-110 + 190.53j) - (-3.661 + 2.471j) \cdot (0.4 - 0.2j) = -109.03 + 188.81j \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_c &= \dot{\phi}_C - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_{np} = \\ &= (-109.03 + 188.81j) - (-3.661 + 2.471j) \cdot (2.571 - 2.429j) = -105.62 + 173.56j \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_{o_1} &= \dot{\phi}_c - \dot{I}_C \cdot \underline{Z}_n = \\ &= (-105.62 + 173.56j) - (-3.661 + 2.471j) \cdot (25.714 - 24.286j) = -71.49 + 21.11j \text{ В}. \end{aligned}$$

Совмещенная векторная диаграмма токов и потенциальная диаграмма напряжений представлена на рис. 5.

Определим напряжение между точками A и e:



$$U_{Ae} = U_{Ao_1} - U_{eo_1} = (\dot{\varphi}_A - \dot{\varphi}_{o_1}) - U_{eo_1} = \dot{\varphi}_A - I_C \cdot Z_{\phi_1} - U_N =$$

$$= (216.8 - 0.7j) - (-3.661 + 2.471j) \cdot (20 - 20j) - (-71.5 + 21.1j) = 312.1 - 144.4j \text{ В} =$$

$$= 344 \cdot e^{j 155.2^\circ} \text{ В},$$

мгновенное значение напряжения

$$u_{Ae}(t) = 344 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + 155.2^\circ), \text{ В.}$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник / Л.А. Бессонов. М.: Гардарики, 2000. 504 с.
2. Зевеке Г.В. Основы теории цепей: учебник / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
3. Касаткин А.С. Электротехника. Кн.1 / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. М.: Энергоатомиздат, 1995. 240 с.
4. Кузнецова Т.А. Основы теории цепей: учебное пособие. Ч. 1 / Т.А. Кузнецова, Е.А. Кулютникова, А.А. Рябуха. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 227 с.