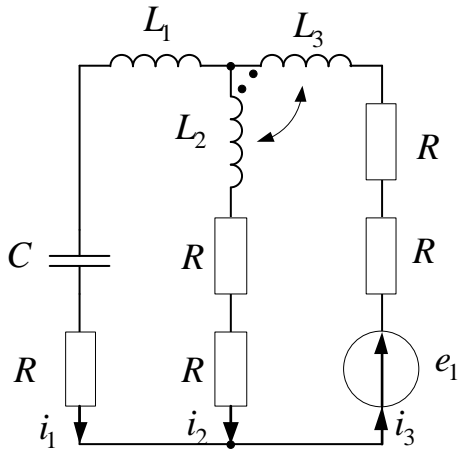


## ЗАДАЧА 1

### ПРИМЕНЕНИЕ СИМВОЛИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ЦЕПИ С ИСТОЧНИКАМИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭДС

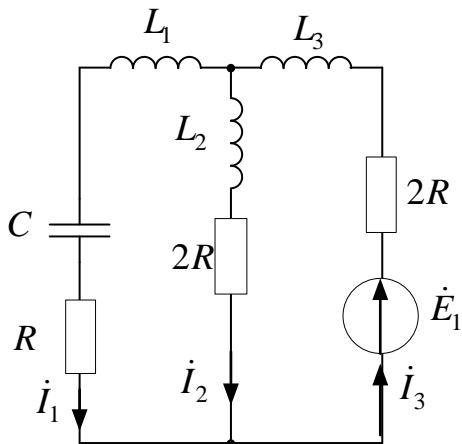


#### Исходные данные:

$L_1 = 95$  мГн,  $L_2 = 55$  мГн,  $L_3 = 60$  мГн,  $K = 0,8$ ,  $e_1 = 100 \sin 314t + 75^\circ$  В,  
 $R = 20$  Ом,  $C = 100$  мкФ.

#### Решение.

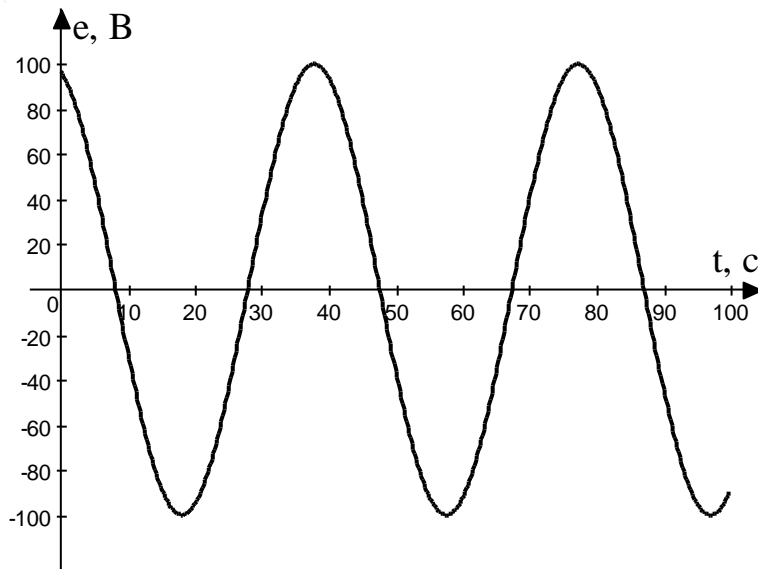
1. Начертим схему без учета индуктивной связи.



2. ЭДС источника

$$e_1 t = 100 \sin 314t + 75^\circ ,$$

график ЭДС



Комплексная амплитуда ЭДС

$$\dot{E}_{m1} = 100e^{j75^\circ} \text{ В.}$$

3. Определение токов ветвей.

Реактивные сопротивления

$$X_{L1} = \omega L_1 = 314 \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 29,8 \text{ Ом,}$$

$$X_{L2} = \omega L_2 = 314 \cdot 55 \cdot 10^{-3} = 17,3 \text{ Ом,}$$

$$X_{L3} = \omega L_3 = 314 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 18,8 \text{ Ом,}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{314 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = 31,8 \text{ Ом.}$$

Комплексное действующее значение ЭДС

$$\dot{E}_1 = \frac{100}{\sqrt{2}} e^{j75^\circ} = 70,7e^{j75^\circ} \text{ В.}$$

Комплексные сопротивления ветвей

$$\underline{Z}_1 = R + jX_{L1} - jX_C = 20 + j29,8 - j31,8 = 20 - j2 = 20,1e^{-j5,7^\circ} \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z}_2 = 2R + jX_{L2} = 2 \cdot 20 + j17,3 = 40 + j17,3 = 43,6e^{j23,4^\circ} \text{ Ом,}$$

$$\underline{Z}_3 = 2R + jX_{L3} = 2 \cdot 20 + j18,8 = 40 + j18,8 = 44,2e^{j25,2^\circ} \text{ Ом.}$$

Ветви с сопротивлениями  $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2$  включены параллельно, их эквивалентное сопротивление

$$\underline{Z}_{12} = \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} = \frac{20,1e^{-j5,7^\circ} \cdot 43,6e^{j23,4^\circ}}{20 - j2 + 40 + j17,3} = 14,15e^{j3,4^\circ} = 14,12 + j0,83 \text{ Ом.}$$

Схема становится одноконтурной с ЭДС  $\dot{E}_1$  и сопротивлением

$$\underline{Z} = \underline{Z}_3 + \underline{Z}_{12} = 40 + j18,8 + 14,12 + j0,83 = 54,12 + j19,63 = 57,57e^{j19,9^\circ} \text{ Ом.}$$

По закону Ома

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{E}_1}{\underline{Z}} = \frac{70,7e^{j75^\circ}}{57,57e^{j19,9^\circ}} = 1,228e^{j55,1^\circ} = 0,703 + j1,007 \text{ А,}$$

далее

$$\dot{U}_{12} = \dot{I}_3 \cdot \underline{Z}_{12} = 1,228e^{j55,1^\circ} \cdot 14,15e^{j3,4^\circ} = 17,37e^{j58,4^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{12}}{\underline{Z}_1} = \frac{17,37e^{j58,4^\circ}}{20,1e^{-j5,7^\circ}} = 0,864e^{j64,1^\circ} = 0,377 + j0,778 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_{12}}{\underline{Z}_2} = \frac{17,37e^{j58,4^\circ}}{43,6e^{j23,4^\circ}} = 0,399e^{j35^\circ} = 0,326 + j0,229 \text{ А.}$$

Таким образом, действующие значения токов в ветвях

$$I_1 = 0,864 \text{ А, } I_2 = 0,399 \text{ А, } I_3 = 1,228 \text{ А.}$$

Составим баланс мощностей.

Комплексная мощность источника

$$\underline{S}_{\text{ист}} = \dot{E}_1 \cdot \dot{I}_3^* = 70,7e^{j75^\circ} \cdot 1,228e^{-j55,1^\circ} = 84,85e^{j19,9^\circ} = 81,64 + j29,61 \text{ ВА,}$$

комплексная мощность приемников

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{пр}} &= \underline{Z}_1 \cdot I_1^2 + \underline{Z}_2 \cdot I_2^2 + \underline{Z}_3 \cdot I_3^2 = 20 - j2 \cdot 0,864^2 + 40 + j17,3 \cdot 0,399^2 + \\ &+ 40 + j18,8 \cdot 1,228^2 = 84,85e^{j19,9^\circ} = 81,62 + j29,61 \text{ ВА,} \end{aligned}$$

$$\underline{S}_{\text{ист}} = \underline{S}_{\text{пр}}; \quad 81,64 + j29,61 \approx 81,62 + j29,61 \text{ .}$$

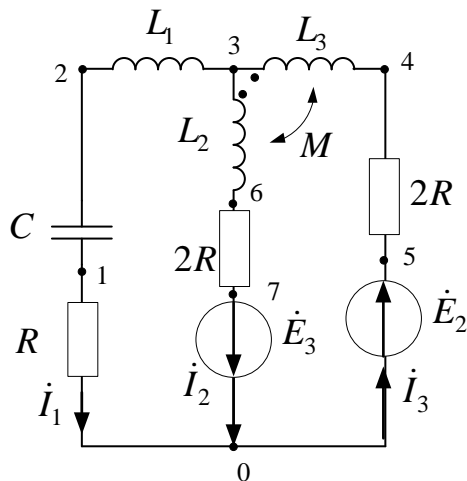
4. Заменяем в схеме  $\dot{E}_1$  на  $\dot{E}_2$ , введем ЭДС  $\dot{E}_3$ , будем учитывать индуктивную связь.

Сопротивление индуктивной связи

$$X_M = K \sqrt{X_{L2} X_{L3}} = 0,8 \cdot \sqrt{17,3 \cdot 18,8} = 14,4 \text{ Ом.}$$

Составим уравнение по 2-ому закону Кирхгофа для определения ЭДС  $e_3$ :

$$\begin{aligned} \dot{E}_3 &= \dot{I}_2 \cdot 2R + jX_{L2} - \dot{I}_3 \cdot jX_M - \dot{I}_1 R + jX_{L1} - jX_C = \\ &= 0,399e^{j35^\circ} \cdot 40 + j17,3 - 1,228e^{j55,1^\circ} \cdot j14,4 - 0,864e^{j64,1^\circ} \cdot 20 + j29,8 - j31,8 = \\ &= 14,5 - j10,13 = 17,69e^{-j34,9^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

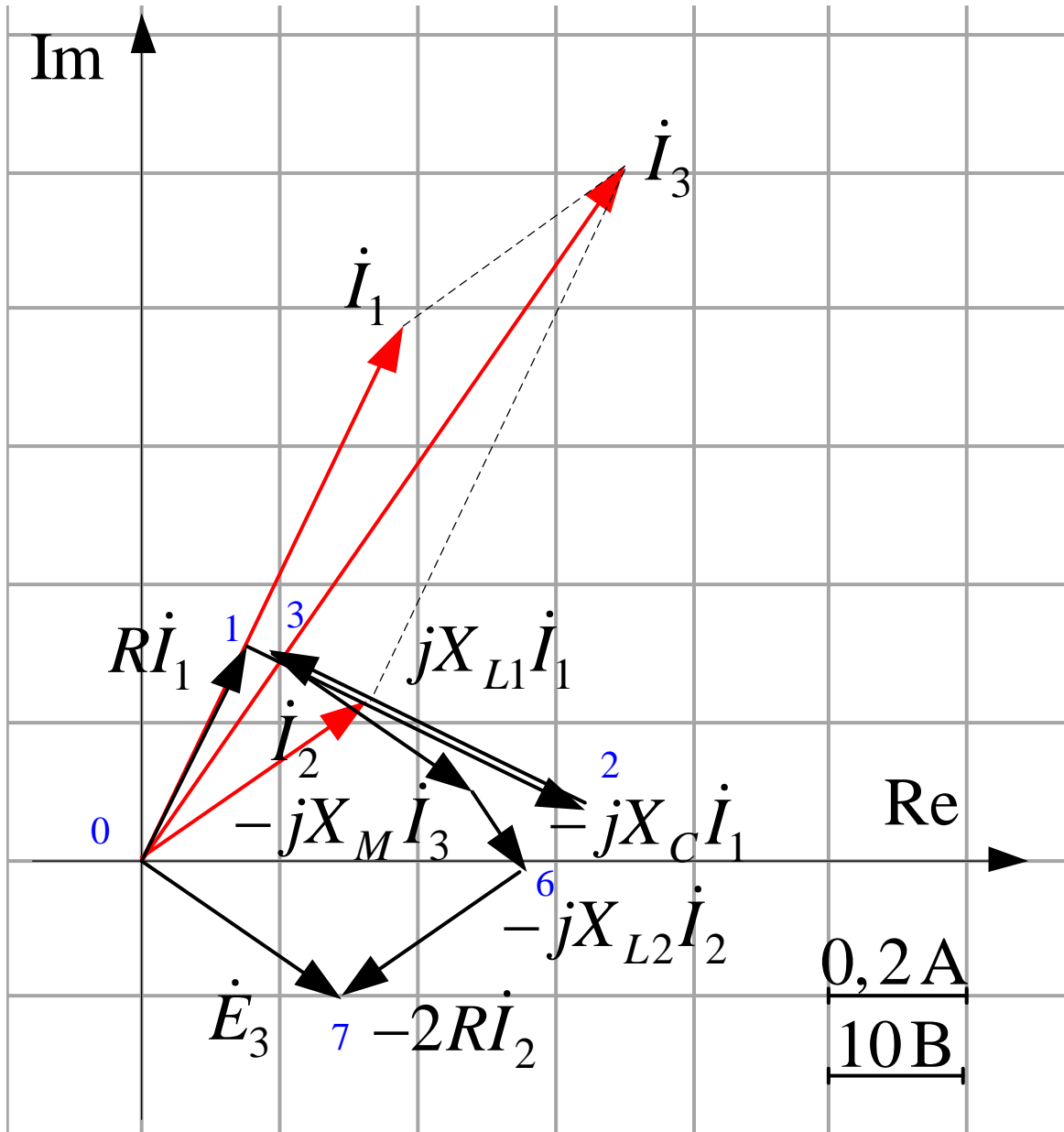


$$e_3 \ t = 17,69\sqrt{2} \sin 314t - 34,9^\circ \text{ , В.}$$

5. Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма для контура, не включающего ЭДС  $e_2$ .

Найдем действующие значения напряжений на элементах контура:

$$\begin{aligned} U_{10} &= RI_1 = 17,28 \text{ В, } U_C = X_C \cdot I_1 = 27,48 \text{ В, } U_{L1} = X_{L1} \cdot I_1 = 25,75 \text{ В,} \\ U_M &= X_M \cdot I_3 = 17,68 \text{ В, } U_{L2} = X_{L2} \cdot I_2 = 6,9 \text{ В, } U_{67} = 2RI_2 = 15,96 \text{ В.} \end{aligned}$$



## ЗАДАЧА 2

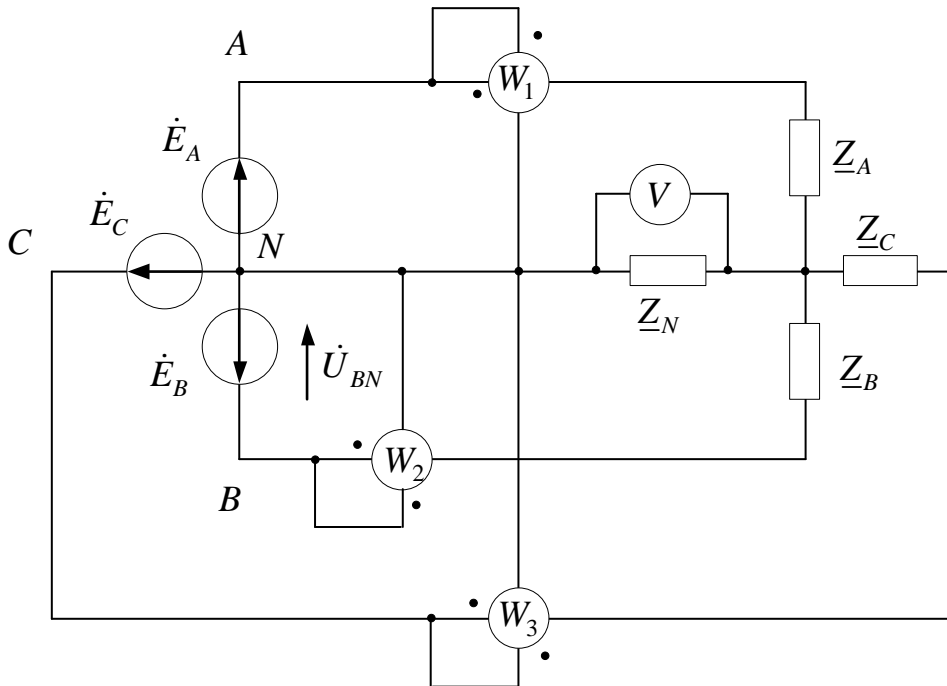
РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ С СИММЕТРИЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ЭДС

**Исходные данные:**

$$\dot{U}_{BN} = 220 \text{ В}, Z_C = 150 - j100 \text{ Ом}, Z_A = 150 \text{ Ом}, Z_B = 150 \text{ Ом}, Z_N = 100 \text{ Ом}.$$

**Решение.**

1. Схема цепи.



2. Определение показаний приборов.

$\dot{U}_{BN} = 220 \text{ В}$ , тогда с учетом прямого чередования фаз

$$\dot{U}_{AN} = 220e^{j120^\circ} \text{ В}, \dot{U}_{CN} = 220e^{-j120^\circ} \text{ В}.$$

Проводимости ветвей

$$\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \frac{1}{150} = 0,00667 \text{ См}, \underline{Y}_C = \frac{1}{150 - j100} = 0,00555e^{j33,7^\circ} \text{ См},$$

$$\underline{Y}_N = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ См}.$$

Напряжение между нейтральными точками  $n$  и  $N$

$$\begin{aligned}\dot{U}_{nN} &= \frac{\dot{U}_{AN}\underline{Y}_A + \dot{U}_{BN}\underline{Y}_B + \dot{U}_{CN}\underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N} = \\ &= \frac{220e^{j120^\circ} \cdot 0,00667 + 220 \cdot 0,00667 + 220e^{-j120^\circ} \cdot 0,00555e^{j33,7^\circ}}{0,00667 + 0,00667 + 0,00555e^{j33,7^\circ} + 0,01} = 28,9e^{-j2,6^\circ} = \\ &= 28,9 - j1,4 \text{ В.}\end{aligned}$$

$$\dot{U}_{An} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{nN} = 220e^{j120^\circ} - 28,9 - j1,4 = 236,8e^{j125,9^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_{Bn} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{nN} = 220 - 28,9 - j1,4 = 191,1e^{j0,4^\circ} \text{ В,}$$

$$\dot{U}_{Cn} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{nN} = 220e^{-j120^\circ} - 28,9 - j1,4 = 234,7e^{-j126,3^\circ} \text{ В.}$$

Определим линейные токи

$$\dot{I}_A = \dot{U}_{An}\underline{Y}_A = 236,8e^{j125,9^\circ} \cdot 0,00667 = 1,579e^{j125,9^\circ} = -0,926 + j1,279 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_B = \dot{U}_{Bn}\underline{Y}_B = 191,1e^{j0,4^\circ} \cdot 0,00667 = 1,274e^{j0,4^\circ} = 1,273 + j0,009 \text{ А,}$$

$$\dot{I}_C = \dot{U}_{Cn}\underline{Y}_C = 234,7e^{-j126,3^\circ} \cdot 0,00555e^{j33,7^\circ} = 1,302e^{-j92,6^\circ} = -0,059 - j1,301 \text{ А,}$$

ток нейтрального провода по 1-ому закону Кирхгофа

$$\begin{aligned}\dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = -0,926 + j1,279 + 1,273 + j0,009 + -0,059 - j1,301 = \\ &= 0,289 - j0,013 = 0,289e^{-j2,6^\circ} \text{ А.}\end{aligned}$$

Показание вольтметра

$$P_V = U_{nN} = 28,9 \text{ В,}$$

показания ваттметров

$$P_{W1} = \text{Re} \left[ \dot{U}_{AN} \cdot \dot{I}_A^* \right] = \text{Re} \left[ 220e^{j120^\circ} \cdot 1,579e^{-j125,9^\circ} \right] = 345,5 \text{ Вт,}$$

$$P_{W2} = \text{Re} \left[ \dot{U}_{BN} \cdot \dot{I}_B^* \right] = \text{Re} \left[ 220 \cdot 1,274e^{-j0,4^\circ} \right] = 280,3 \text{ Вт,}$$

$$P_{W3} = \text{Re} \left[ \dot{U}_{CN} \cdot \dot{I}_C^* \right] = \text{Re} \left[ 220e^{-j120^\circ} \cdot 1,302e^{j92,6^\circ} \right] = 254,3 \text{ Вт.}$$

3. Активная мощность приемника.

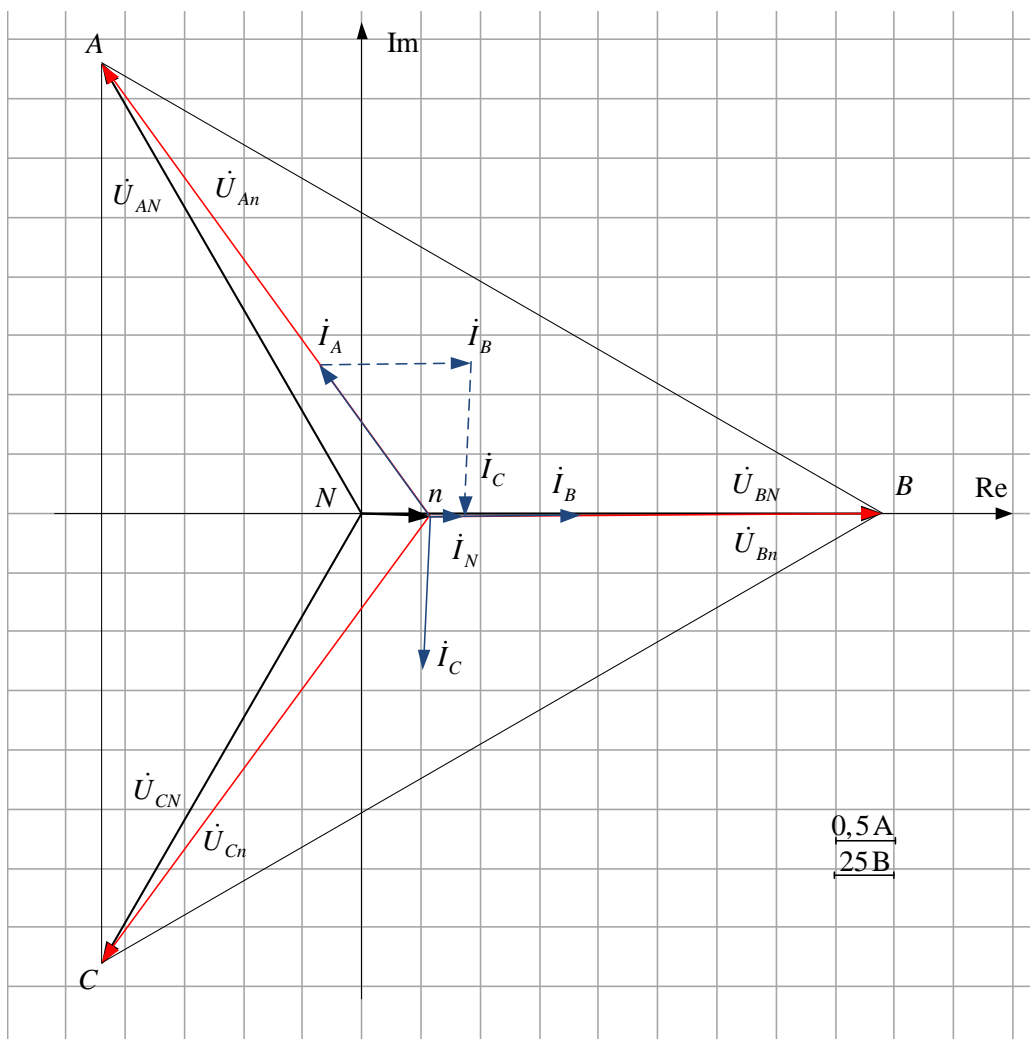
$$\begin{aligned}P &= P_A + P_B + P_C + P_N = I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C + I_N^2 R_N = 1,579^2 \cdot 150 + \\ &+ 1,274^2 \cdot 150 + 1,302^2 \cdot 150 + 0,289^2 \cdot 100 = 880,1 \text{ Вт.}\end{aligned}$$

Сумма показаний ваттметров

$$P_W = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3} = 345,5 + 280,3 + 254,3 = 880,1 \text{ Вт.}$$

Активная мощность приемника равна сумме показаний ваттметров, показывающих активную мощность источника.

4. Векторная диаграмма токов и топографическая диаграмма для всей схемы.



5. Фазные напряжения нулевой последовательности приемника.

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A0} = \dot{U}_{B0} = \dot{U}_{C0} &= \frac{1}{3} \dot{U}_{An} + \dot{U}_{Bn} + \dot{U}_{Cn} = \\ &= \frac{1}{3} \cdot 236,8e^{j125,9^\circ} + 191,1e^{j0,4^\circ} + 234,7e^{-j126,3^\circ} = -28,9 + j1,31 = 28,93e^{j177,4^\circ} \text{ В.} \end{aligned}$$

