

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
НИЖНЕВАРТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Инженерно-технический факультет

Кафедра Электроэнергетики и
электротехники

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Пояснительная записка
к расчетно-графической работе по дисциплине
Теоретические основы электротехники

Вариант XX

Выполнил:
студент группы 9651
Иванов И.И.

Принял:
к.т.н., доцент кафедры ЭиЭ
Орлов А.В.

Содержание

ЗАДАНИЕ 1	3
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА	3
ЗАДАНИЕ 2	13
РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	13
ЗАДАНИЕ 3	19
РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ	19
ЛИТЕРАТУРА	26

Задание 1

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Задание:

Для заданной схемы электрической цепи требуется:

1. Определить токи во всех ветвях электрической цепи методом законов Кирхгофа.
2. Определить токи во всех ветвях электрической цепи методом контурных токов.
3. Определить токи во всех ветвях электрической цепи методом узловых потенциалов.
4. Определить ток в ветви, указанной в задании, воспользовавшись методом эквивалентного генератора.
5. Построить потенциальную диаграмму для контура, указанного в задании.
6. Определить мощность, отдаваемую каждым источником, и мощность, рассеиваемую на каждом участке цепи. Проверить баланс мощностей.

Исходные данные:

$$\begin{aligned} E_1 &= 0 \text{ В}, E_2 = 48 \text{ В}, E_3 = 60 \text{ В}, \\ E_4 &= 12 \text{ В}, E_5 = 0 \text{ В}, E_6 = 0 \text{ В}, \\ R_1 &= 5 \text{ Ом}, R_2 = 4 \text{ Ом}, R_3 = 8 \text{ Ом}, \\ R_4 &= 6 \text{ Ом}, R_5 = 7 \text{ Ом}, R_6 = 8 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Определить ток в ветви с резистором R_4 .

Контур для построения потенциальной диаграммы $adcba$.

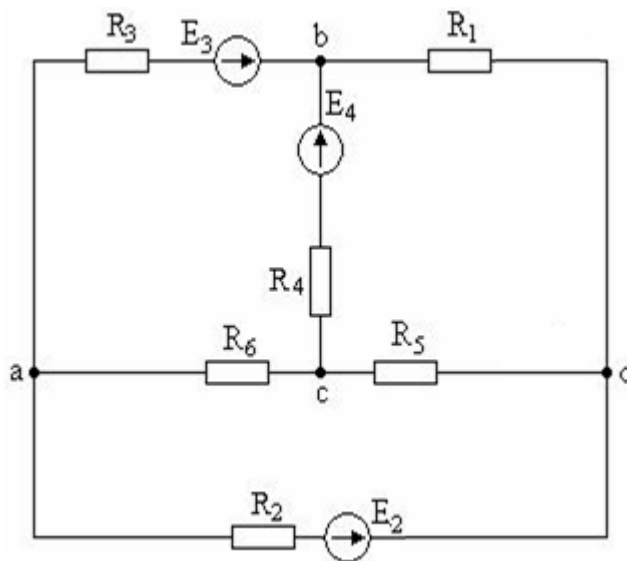


Рисунок 1.1 – Расчетная схема цепи

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ВО ВСЕХ ВЕТВЯХ ПО ЗАКОНАМ КИРХГОФА

1.1. Выберем направления токов в ветвях и направления обхода контуров. Подсчитаем количество уравнений, которые надо записать по 1-ому и 2-ому законам Кирхгофа:

$$n_1 = n_y - 1 = 4 - 1 = 3, \text{ где } n_y - \text{ количество узлов в схеме;}$$

$$n_2 = n_b - n_j - (n_y - 1) = 6 - 0 - 3 = 3, \text{ где } n_b - \text{ количество ветвей в схеме, } n_j - \text{ количество ветвей с источниками тока.}$$

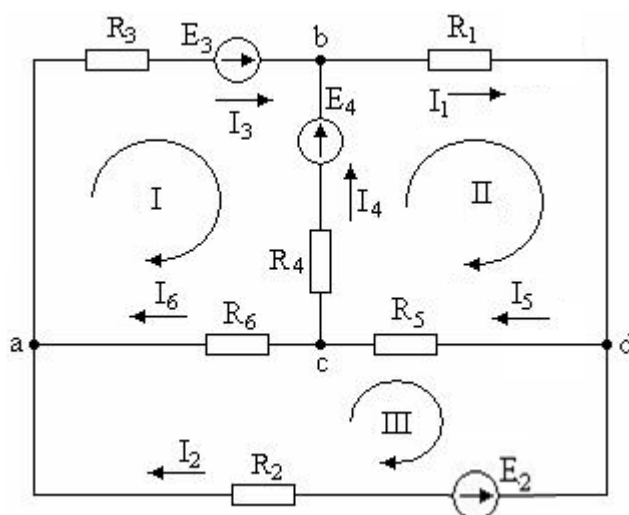


Рисунок 1.2 – Схема цепи для расчета методом уравнений Кирхгофа

1.2. Составим систему уравнений по 1-ому закону Кирхгофа для узлов a , b и c , и по 2-ому закону Кирхгофа для контуров $abca$, $bdcba$ и $acda$:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_2 - I_3 + I_6 = 0; \\ -I_1 + I_3 + I_4 = 0; \\ -I_4 + I_5 - I_6 = 0; \\ I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_6 R_6 = E_3 - E_4; \\ I_1 R_1 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = E_4; \\ I_2 R_2 - I_5 R_5 - I_6 R_6 = -E_2; \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_2 - I_3 + I_6 = 0; \\ -I_1 + I_3 + I_4 = 0; \\ -I_4 + I_5 - I_6 = 0; \\ 8I_3 - 6I_4 + 8I_6 = 48; \\ 5I_1 + 6I_4 + 7I_5 = 12; \\ 4I_2 - 7I_5 - 8I_6 = -48. \end{array} \right.$$

Решая данную систему уравнений с помощью программы Mathcad, найдем неизвестные токи:

$$I_1 = 0,6987 \text{ A}, I_2 = -1,5053 \text{ A}, I_3 = 1,8222 \text{ A}, \\ I_4 = -1,1336 \text{ A}, I_5 = 2,1940 \text{ A}, I_6 = 3,3236 \text{ A}.$$

Полученные отрицательные значения токов означают, что их действительные направления противоположны выбранным.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ВО ВСЕХ ВЕТВЯХ МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ ТОКОВ

2.1. Выбираем направления контурных токов I_{11}, I_{22}, I_{33} в контурах $abca$, $bdc b$ и $acda$ соответственно (рис. 1.3). Составим уравнения по методу контурных токов:

$$\begin{cases} I_{11}R_{11} - I_{22}R_{12} - I_{33}R_{13} = E_{11}; \\ -I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} - I_{33}R_{23} = E_{22}; \\ -I_{11}R_{31} - I_{22}R_{32} + I_{33}R_{33} = E_{33}. \end{cases}$$

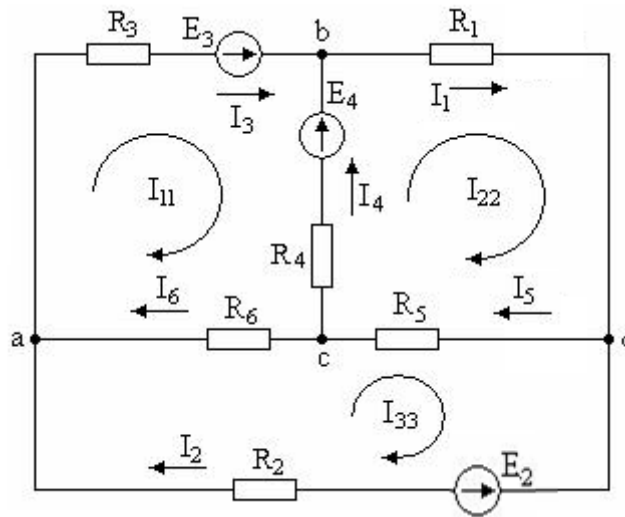


Рисунок 1.3 – Схема цепи для расчета методом контурных токов

2.2. Определим собственные и взаимные сопротивления:

$$R_{11} = R_3 + R_4 + R_6 = 22 \text{ Ом};$$

$$R_{22} = R_1 + R_4 + R_5 = 18 \text{ Ом};$$

$$R_{33} = R_2 + R_5 + R_6 = 19 \text{ Ом};$$

$$R_{12} = R_{21} = R_4 = 6 \text{ Ом};$$

$$R_{31} = R_{13} = R_6 = 8 \text{ Ом};$$

$$R_{32} = R_{23} = R_5 = 7 \text{ Ом}.$$

2.3. Определим контурные ЭДС:

$$E_{11} = E_3 - E_4 = 48 \text{ В};$$

$$E_{22} = E_4 = 12 \text{ В};$$

$$E_{33} = -E_2 = -48 \text{ В}.$$

2.4. Подставим численные значения в систему уравнений:

$$\begin{cases} 22I_{11} - 6I_{22} - 8I_{33} = 48; \\ -6I_{11} + 18I_{22} - 7I_{33} = 12; \\ -8I_{11} - 7I_{22} + 19I_{33} = -48. \end{cases}$$

2.5. Решая данную систему уравнений с помощью программы Mathcad, найдем контурные токи:

$$I_{11} = 1,8222 \text{ A}, I_{22} = 0,6887 \text{ A}, I_{33} = -1,5053 \text{ A}.$$

2.6. Вычислим значения токов в ветвях цепи:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{22} = 0,6887 \text{ A}; \\ I_2 &= I_{33} = -1,5053 \text{ A}; \\ I_3 &= I_{11} = 1,8222 \text{ A}; \\ I_4 &= -I_{11} + I_{22} = -1,1336 \text{ A}; \\ I_5 &= I_{22} - I_{33} = 2,1940 \text{ A}; \\ I_6 &= I_{11} - I_{33} = 3,3276 \text{ A}. \end{aligned}$$

Полученные отрицательные значения токов означают, что их действительные направления противоположны выбранным.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ВО ВСЕХ ВЕТВЯХ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

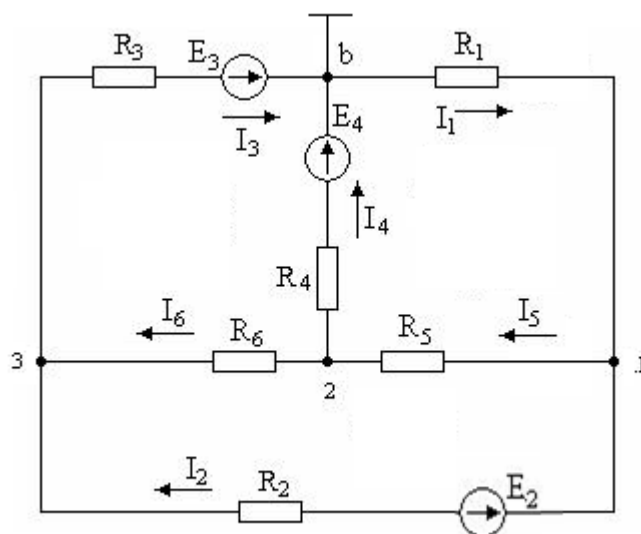


Рисунок 1.4 – Схема цепи для расчета методом узловых потенциалов

3.1. Заземлим точку b . Тогда потенциал точки b равен нулю, то есть $\varphi_b = 0$ В. Составим уравнения по методу узловых потенциалов:

$$\begin{cases} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_5} \right) \varphi_{11} - \frac{1}{R_5} \varphi_{22} - \frac{1}{R_2} \varphi_{33} = -\frac{E_2}{R_2}; \\ -\frac{1}{R_5} \varphi_{11} + \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \right) \varphi_{22} - \frac{1}{R_6} \varphi_{33} = \frac{E_4}{R_4}; \\ -\frac{1}{R_2} \varphi_{11} - \frac{1}{R_6} \varphi_{22} + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) \varphi_{33} = \frac{E_3}{R_3} - \frac{E_4}{R_4}; \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 0,5928\varphi_{11} - 0,1428\varphi_{22} - 0,2500\varphi_{33} = -12; \\ -0,1428\varphi_{11} + 0,4345\varphi_{22} - 0,1250\varphi_{33} = 2; \\ -0,2500\varphi_{11} - 0,1250\varphi_{22} + 0,4917\varphi_{33} = 5,5. \end{cases}$$

3.2. Решая данную систему уравнений с помощью программы Mathcad, найдем узловые потенциалы:

$$\varphi_{11} = -20,8259 \text{ В}; \quad \varphi_{22} = -2,1181 \text{ В}; \quad \varphi_{33} = 0,0371 \text{ В}.$$

3.3. Вычислим значения токов в ветвях цепи:

$$I_1 = \frac{1}{R_1} (\varphi_b - \varphi_{11}) = 0,6887 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{1}{R_2} (\varphi_{33} - \varphi_{11} + E_2) = -1,5053 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{1}{R_3} (\varphi_b - \varphi_{33} + E_3) = 1,8222 \text{ А};$$

$$I_4 = \frac{1}{R_4}(\varphi_b - \varphi_{22} + E_4) = -1,1336 \text{ A};$$

$$I_5 = \frac{1}{R_5}(\varphi_{22} - \varphi_{11}) = 2,1940 \text{ A};$$

$$I_6 = \frac{1}{R_6}(\varphi_{33} - \varphi_{22}) = 3,3276 \text{ A}.$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА I_4 В ВЕТВИ С СОПРОТИВЛЕНИЕМ R_4 МЕТОДОМ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ГЕНЕРАТОРА

При расчете тока I_4 методом эквивалентного генератора ветвь, где протекает искомый ток, разрываем и относительно точек разрыва вычисляем напряжение U_{xx} и сопротивление полученного двухполюсника, в котором все источники тока разомкнуты, а источники ЭДС замкнуты.

4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ ХОЛОСТОГО ХОДА U_{xx}

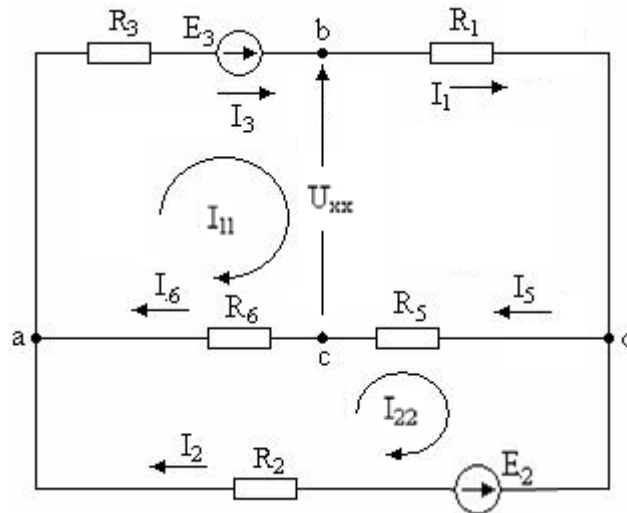


Рисунок 1.5 – Расчётная схема

4.1.1. Применим метод контурных токов. Система уравнений:

$$\begin{cases} R_{11}I_{11} - R_{12}I_{22} = E_{11}; \\ -R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} = E_{22}. \end{cases}$$

4.1.2. Определим собственные и взаимные сопротивления:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_5 + R_6 = 28 \text{ Ом};$$

$$R_{22} = R_2 + R_5 + R_6 = 19 \text{ Ом};$$

$$R_{12} = R_{21} = R_5 + R_6 = 15 \text{ Ом}.$$

4.1.3. Определим контурные ЭДС:

$$E_{11} = E_3 = 60 \text{ В};$$

$$E_{22} = -E_2 = -48 \text{ В}.$$

4.1.4. Подставим значения в систему уравнений:

$$\begin{cases} 28I_{11} - 15I_{22} = 60; \\ -15I_{11} + 19I_{22} = -48. \end{cases}$$

4.1.5. Решая данную систему уравнений с помощью программы Mathcad, найдем контурные токи:

$$I_{11} = 1,3523 \text{ А}, I_{22} = -1,4587 \text{ А}.$$

4.1.6. Вычислим значения токов в ветвях цепи:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{11} = 1,3523 \text{ A}; \\ I_2 &= I_{22} = -1,4587 \text{ A}; \\ I_3 &= I_{11} = 1,3523 \text{ A}; \\ I_5 &= I_{11} - I_{22} = 2,8110 \text{ A}; \\ I_6 &= I_{11} - I_{22} = 2,8110 \text{ A}. \end{aligned}$$

4.1.7. Определим напряжение холостого хода U_{xx} :

$$U_{xx} = E_3 - I_3 R_3 - I_6 R_6 = 26,6341 \text{ В}.$$

4.2. РАСЧЁТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

4.2.1. Для определения входного сопротивления пассивного двухполюсника $R_{\text{ЭКВ}}$ преобразуем треугольник сопротивлений в эквивалентную звезду сопротивлений

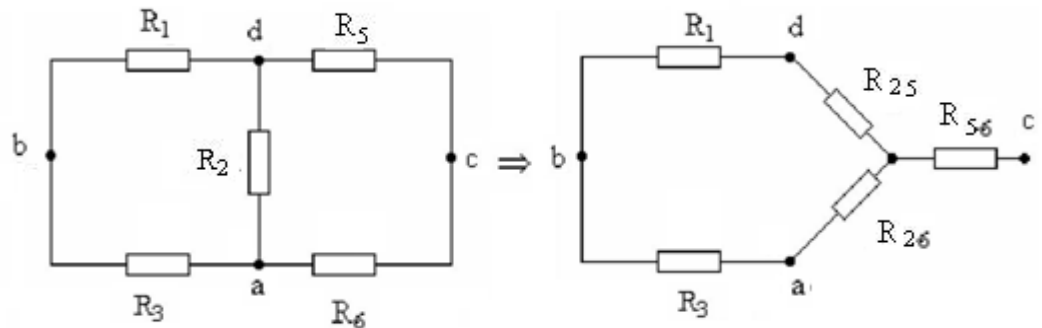


Рисунок 1.6 – Преобразование треугольника в звезду

4.2.2. Определим сопротивления эквивалентной звезды:

$$\begin{aligned} R_{25} &= \frac{R_2 R_5}{R_2 + R_5 + R_6} = \frac{4 \cdot 7}{4 + 7 + 8} = 1,4737 \text{ Ом}; \\ R_{26} &= \frac{R_2 R_6}{R_2 + R_5 + R_6} = \frac{4 \cdot 8}{4 + 7 + 8} = 1,6842 \text{ Ом}; \\ R_{56} &= \frac{R_5 R_6}{R_2 + R_5 + R_6} = \frac{7 \cdot 8}{4 + 7 + 8} = 2,9474 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

4.2.3. Определим эквивалентное сопротивление цепи относительно точек b и c :

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_1 + R_{25})(R_3 + R_{26})}{R_1 + R_3 + R_{25} + R_{26}} + R_{56} = 6,7918 \text{ Ом}.$$

Найдем значение тока I_4 :

$$I_4 = \frac{U_{xx}}{R_{\text{ЭКВ}} + R_4} = 1,1336 \text{ А}.$$

5. ПОСТРОЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ

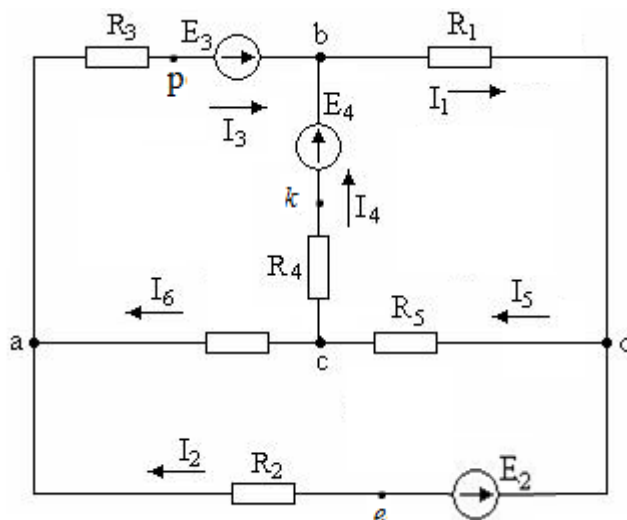


Рисунок 1.7 – Расчетная схема для построения потенциальной диаграммы

Построим потенциальную диаграмму для контура $dbacd$. Потенциал узла d примем равным нулю. Определим потенциалы остальных точек контура:

$$\begin{aligned}
 \varphi_a &= 0; \\
 \varphi_e &= \varphi_a + I_2 R_2 = -6,0212 \text{ В}; \\
 \varphi_d &= \varphi_e + E_2 = 41,9788 \text{ В}; \\
 \varphi_c &= \varphi_d - I_5 R_5 = 26,6208 \text{ В}; \\
 \varphi_k &= \varphi_c - I_4 R_4 = 33,4224 \text{ В}; \\
 \varphi_b &= \varphi_k + E_4 = 45,4224 \text{ В}; \\
 \varphi_p &= \varphi_b - E_3 = -14,5776 \text{ В}; \\
 \varphi_a &= \varphi_p + I_3 R_3 \approx 0 - \text{верно}.
 \end{aligned}$$

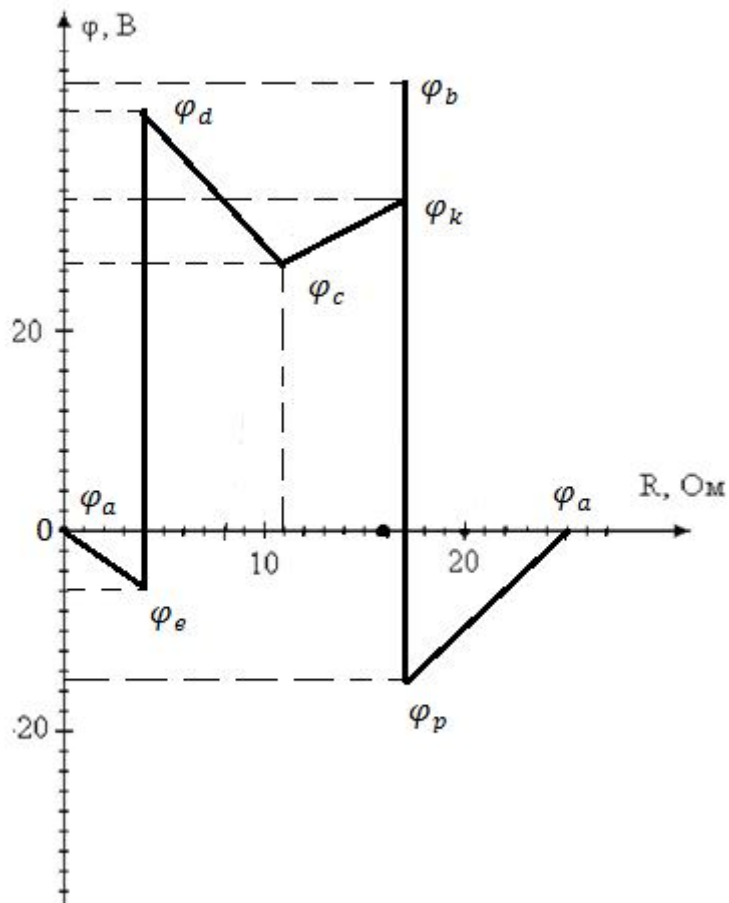


Рисунок 1.8 – Потенциальная диаграмма

6. БАЛАНС МОЩНОСТЕЙ

Суммарная мощность потребителей:

$$P_{\text{потр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 = 142,5218 \text{ Вт.}$$

Суммарная мощность источников:

$$P_{\text{ист}} = E_1 I_1 + E_3 I_3 + E_4 I_4 = 142,5624 \text{ Вт;}$$

$$P_{\text{потр}} \approx P_{\text{ист.}}$$

Баланс мощностей сходится.

Задание 2

РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Задание:

Для заданной схемы электрической цепи требуется:

1. Определить показания приборов.
2. Определить полную, активную и реактивную мощности цепи.
3. Определить тип и номинал реактивного элемента $X_{\text{доп}}$, при включении которого в цепи будет наблюдаться резонанс ($\cos\varphi = 1$).
4. Построить векторные диаграммы токов и напряжений.

Исходные данные:

$$U = 127 \text{ В}, f = 50 \text{ Гц}, \underline{U} = Ue^{j0^\circ} = 127 \text{ В}.$$

$R_1 = 29 \text{ Ом}$	$R_2 = 34 \text{ Ом}$
$L_1 = 110 \text{ мГн}$	$L_2 = 0 \text{ мГн}$
$C_1 = 31 \text{ мкФ}$	$C_2 = 68 \text{ мкФ}$

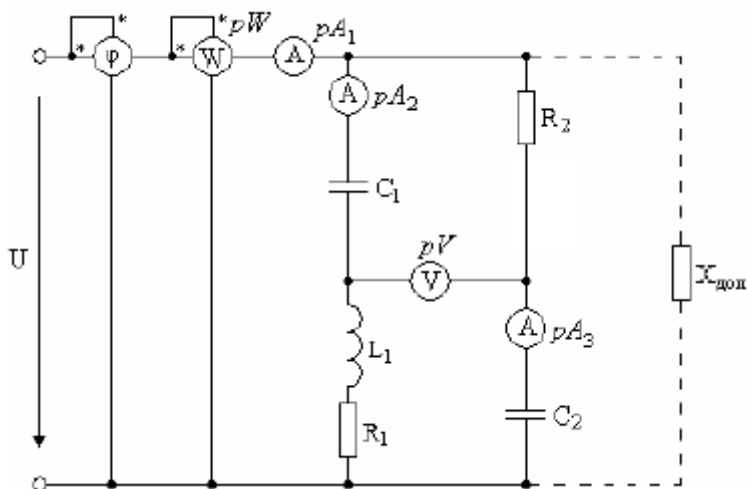


Рисунок 2.1 – Расчетная схема цепи

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАНИЙ ПРИБОРОВ

1.1. Запишем действующее значение напряжения питающей сети:

$$\underline{U} = 127e^{j0^\circ} = 127 \text{ В.}$$

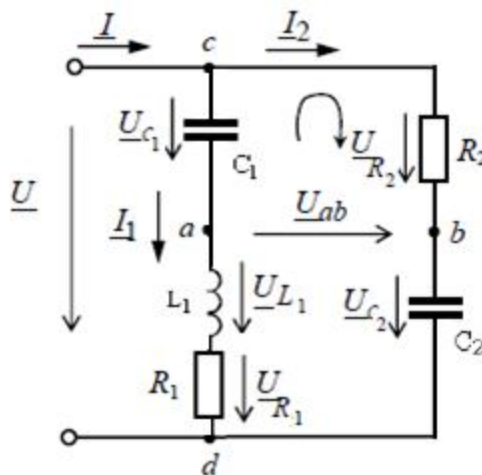


Рисунок 2.2 – Комплексная схема замещения цепи

1.2. Определим полные сопротивления участков цепи:

$$X_{L1} = 2\pi f L_1 = 34,5575 \text{ Ом;}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_1} = 102,7321 \text{ Ом;}$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2} = 46,8345 \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j(X_{L1} - X_{C1}) = 29 - j68,1746 = 74,1004e^{-j67^\circ}, \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_2 = R_2 - jX_{C2} = 34 - j46,8345 = 57,8709e^{-j54^\circ}, \text{ Ом.}$$

1.3. Определим токи в ветвях по закону Ома:

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_1} = \frac{127}{74,1004e^{-j67^\circ}} = 1,7139e^{j67^\circ} = \\ &= 1,7139 \cdot (\cos 67^\circ + j \cdot \sin 67^\circ) = 0,6697 + j1,5776, \text{ А;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I}_2 &= \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{127}{57,8709e^{-j54^\circ}} = 2,1945e^{j54^\circ} = \\ &= 2,1945 \cdot (\cos 54^\circ + j \cdot \sin 54^\circ) = 1,2899 + j1,7754, \text{ А;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \underline{I} &= \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 0,6697 + j1,5776 + 1,2899 + j1,7754 = \\ &= 1,9596 + j3,3530 = 3,8836e^{j60^\circ}, \text{ А.} \end{aligned}$$

1.4. Определим показания вольтметра с помощью второго уравнения Кирхгофа для контура *acba*:

$$\begin{aligned} -\underline{U}_{C1} + \underline{U}_{R2} - \underline{U}_{ab} &= 0; \\ -X_{C1}\underline{I}_1 + R_2\underline{I}_2 - \underline{U}_{ab} &= 0; \\ \underline{U}_{ab} &= R_2\underline{I}_2 - X_{C1}\underline{I}_1 = \\ &= 34 \cdot (1,2899 + j1,7754) - 102,73 \cdot (0,6697 + j1,5776) = \end{aligned}$$

$$= -24,9417 - j101,7032 = 101,8258e^{j166^{\circ}}, \text{ В.}$$

Таким образом, получили:

$$pA_1 = |\underline{I}| = 3,8836 \text{ А}, pA_2 = |\underline{I}_1| = 1,7139 \text{ А},$$

$$pA_3 = |\underline{I}_2| = 2,1945 \text{ А}, pV = |\underline{U}_{ab}| = 101,8258 \text{ В.}$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ, РЕАКТИВНОЙ И ПОЛНОЙ МОЩНОСТИ

2.1. Определим полную мощность источника энергии:

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^* = 127 \cdot 3,8836e^{j60^0} = 493,2172e^{j60^0} = \\ = 493,2172 \cdot (\cos 60^0 + j \cdot \sin 60^0) = 246,6086 + j427,1261, \text{ ВА.}$$

2.2. Определим падение напряжения на каждом участке (элементе) цепи:

$$\underline{U}_{C1} = -jX_{C1}\underline{I}_1 = 102,73e^{-j90^0} \cdot 1,7139e^{j67^0} = 176,0689e^{-j23^0}, \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{R1} = R_1\underline{I}_1 = 29 \cdot 1,7139e^{j67^0} = 49,7031e^{j67^0}, \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{L1} = jX_{L1}\underline{I}_1 = 34,52e^{j90^0} \cdot 1,7139e^{j67^0} = 59,1638e^{j157^0}, \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2\underline{I}_2 = 34 \cdot 2,1945e^{j54^0} = 74,6130e^{j54^0}, \text{ В;}$$

$$\underline{U}_{C2} = -jX_{C2}\underline{I}_2 = 46,83e^{-j90^0} \cdot 2,1945e^{j54^0} = 102,7684e^{-j36^0}, \text{ В.}$$

2.3. Определим активную мощность потребителей:

$$P_{C1} = \text{Re}(\underline{S}_{C1}) = \text{Re}(\underline{U}_{C1} \underline{I}_1^*) = 0;$$

$$P_{R1} = \text{Re}(\underline{S}_{R1}) = \text{Re}(\underline{U}_{R1} \underline{I}_1^*) = \text{Re}(49,7031e^{j67^0} \cdot 1,7139e^{j67^0}) = \\ = \text{Re}(85,1861e^{j134^0}) = 85,1861 \text{ ВА;}$$

$$P_{L1} = \text{Re}(\underline{S}_{L1}) = \text{Re}(\underline{U}_{L1} \underline{I}_1^*) = 0;$$

$$P_{R2} = \text{Re}(\underline{S}_{R2}) = \text{Re}(\underline{U}_{R2} \underline{I}_2^*) = \text{Re}(74,6130e^{j54^0} \cdot 2,1945e^{j54^0}) = \\ = \text{Re}(161,4225e^{j108^0}) = 161,4225 \text{ ВА;}$$

$$P_{C2} = \text{Re}(\underline{S}_{C2}) = \text{Re}(\underline{U}_{C2} \underline{I}_2^*) = 0;$$

$$P_{\text{потр}} = P_{R1} + P_{R2} = 246,6086 \text{ ВА.}$$

2.4. Определим реактивную мощность потребителей:

$$Q_{C1} = \text{Im}(\underline{S}_{C1}) = \text{Im}(\underline{U}_{C1} \underline{I}_1^*) = \text{Im}(176,0689e^{-j23^0} \cdot 1,7139e^{j67^0}) = \\ = \text{Im}(301,7645e^{j44^0}) = -301,7645 \text{ ВАр;}$$

$$Q_{R1} = \text{Im}(\underline{S}_{R1}) = \text{Im}(\underline{U}_{R1} \underline{I}_1^*) = 0;$$

$$Q_{L1} = \text{Im}(\underline{S}_{L1}) = \text{Im}(\underline{U}_{L1} \underline{I}_1^*) = \text{Im}(59,1638e^{j157^0} \cdot 1,7139e^{j67^0}) = \\ = \text{Im}(101,4008e^{j224^0}) = 101,4008 \text{ ВАр;}$$

$$Q_{R2} = \text{Im}(\underline{S}_{R2}) = \text{Im}(\underline{U}_{R2} \underline{I}_2^*) = 0;$$

$$Q_{C2} = \text{Im}(\underline{S}_{C2}) = \text{Im}(\underline{U}_{C2} \underline{I}_2^*) = \text{Im}(102,7684e^{-j36^0} \cdot 2,1945e^{j54^0}) = \\ = \text{Im}(225,5225e^{j18^0}) = -225,5225 \text{ ВАр;}$$

$$Q_{\text{потр}} = Q_{C1} + Q_{L1} + Q_{C2} = 427,1261 \text{ ВАр.}$$

Баланс мощностей сходится.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ, ПРИ КОТОРЫХ НА ЗАДАННОМ УЧАСТКЕ НАСТУПИТ РЕЗОНАНС ТОКОВ

Резонанс напряжений на участке цепи возникнет при добавлении в этот участок дополнительного реактивного элемента и выполнении условия:

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}_1} + \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{74,1004e^{-j67^\circ}} + \frac{1}{57,8709e^{-j54^\circ}} =$$
$$= 0,0135e^{j67^\circ} + 0,0173e^{j54^\circ} = 0,0154 + j0,0264;$$

$$B_L = \frac{1}{j\omega L} = j0,0264, \text{ См};$$

$$L = \frac{1}{j\omega B_L} = \frac{1}{j \cdot 2\pi f \cdot j0,0264} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,0264} = 120,6331 \text{ мГн.}$$

Таким образом, для достижения резонанса необходимо подключить в данную схему катушку с индуктивностью 121,6331 мГн.

4. ПОСТРОЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ И ВЕКТОРНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

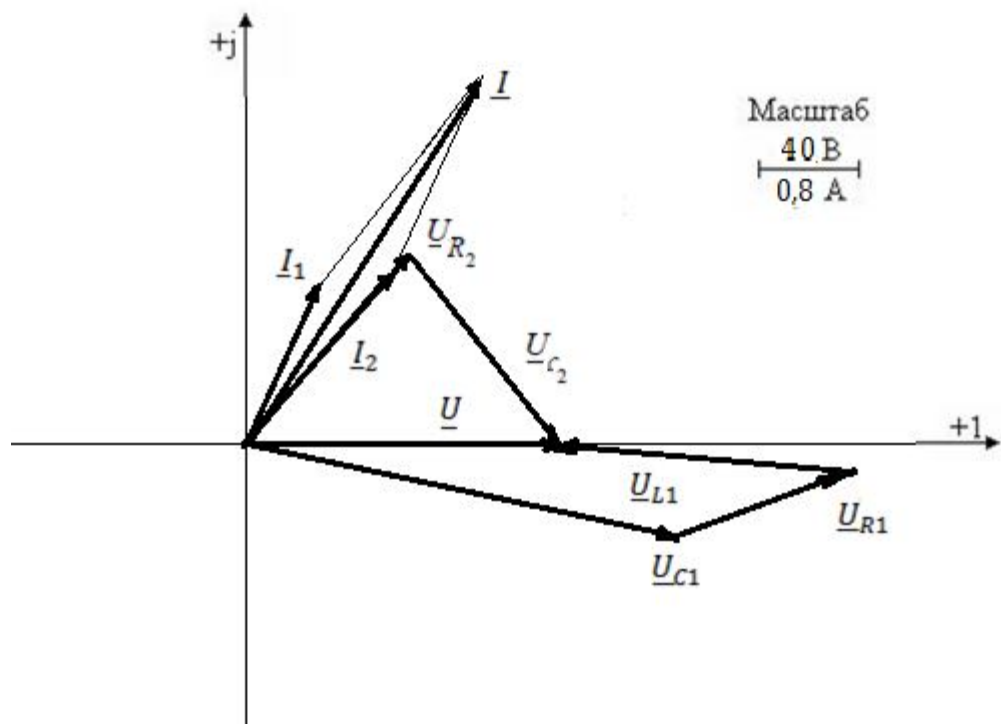


Рисунок 2.3 – Топографическая и векторная диаграмма напряжений и токов

Задание 3

РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

Задание:

Для заданной схемы электрической цепи требуется:

1. Составить схему включения ваттметров для измерения активной мощности каждого трехфазного приемника.
2. Для каждой схемы приемников определить фазные и линейные токи, а также токи в проводах сети.
3. Определить мощность, потребляемую каждым из приемников, и полную мощность, потребляемую из сети.
4. Построить векторные диаграммы напряжений и токов.

Исходные данные:

$$R_a=7 \text{ Ом}, \quad R_b=7 \text{ Ом}, \quad R_c=7 \text{ Ом};$$
$$R_{ab}=12 \text{ Ом}, \quad R_{bc}=12 \text{ Ом}, \quad R_{ca}=12 \text{ Ом};$$
$$R=6 \text{ Ом};$$

$$X_a=5 \text{ Ом}, \quad X_b=5 \text{ Ом};$$
$$X_{ab}=14 \text{ Ом}, \quad X_{ca}=11 \text{ Ом};$$
$$X=6 \text{ Ом};$$

$$U_A=77 \text{ В}.$$

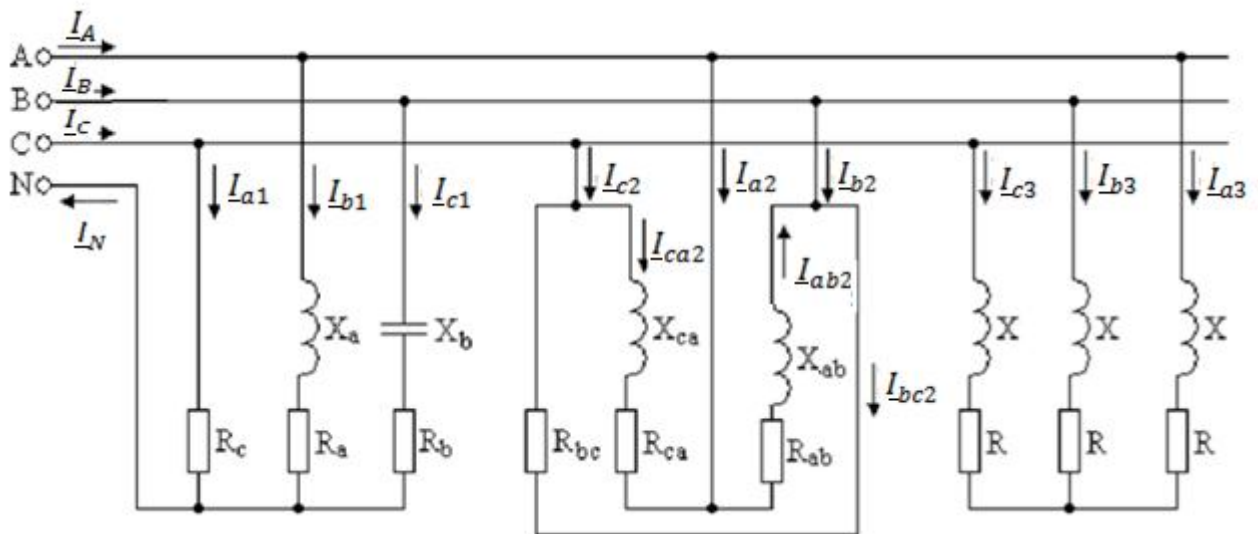


Рисунок 3.1 – Расчетная схема цепи

1. СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ВАТТМЕТРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КАЖДОГО ТРЕХФАЗНОГО ПРИЕМНИКА

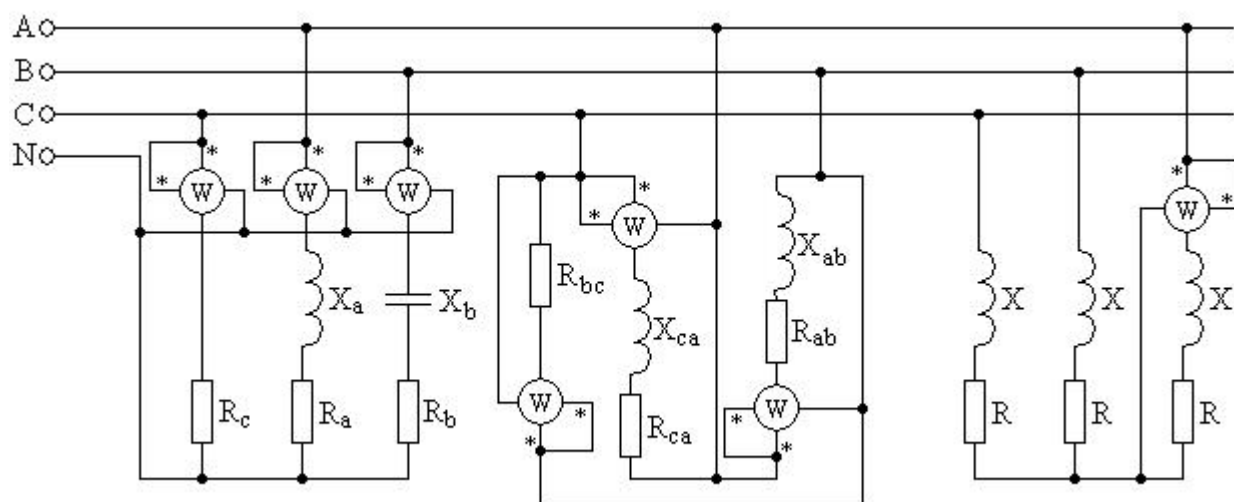


Рисунок 3.2 – Схема включения ваттметров

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКСОВ ДЕЙСТВУЮЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ В ФАЗАХ ПРИЕМНИКОВ И ТОКОВ В ЛИНЕЙНЫХ ПРОВОДАХ СЕТИ

2.1. Запишем комплексы фазных напряжений трехфазной системы:

$$\begin{aligned}\underline{U}_A &= 77e^{j0^\circ}, \text{ В;} \\ \underline{U}_B &= 77e^{-j120^\circ}, \text{ В;} \\ \underline{U}_C &= 77e^{j120^\circ}, \text{ В.}\end{aligned}$$

2.2. Запишем комплексы линейных напряжений трехфазной системы:

$$\begin{aligned}\underline{U}_{AB} &= \sqrt{3} \cdot 77e^{j30^\circ} = 133,3679e^{j30^\circ}, \text{ В;} \\ \underline{U}_{BC} &= \sqrt{3} \cdot 77e^{-j90^\circ} = 133,3679e^{-j90^\circ}, \text{ В;} \\ \underline{U}_{CA} &= \sqrt{3} \cdot 77e^{j150^\circ} = 133,3679e^{j150^\circ}, \text{ В.}\end{aligned}$$

2.3. Найдем комплексные значения полных сопротивлений фаз приемников:

$$\begin{aligned}\underline{Z}_a &= R_a + jX_a = 7 + j5 = 8,6023e^{j36^\circ}, \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_b &= R_b - jX_b = 7 - j5 = 8,6023e^{-j36^\circ}, \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_c &= R_c = 7 \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_{ab} &= R_{ab} + jX_{ab} = 12 + j14 = 18,4391e^{j49^\circ}, \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_{bc} &= R_{bc} = 12 \text{ Ом;} \\ \underline{Z}_{ca} &= R_{ca} + jX_{ca} = 12 + j11 = 16,2788e^{j43^\circ}, \text{ Ом;} \\ \underline{Z} &= R + jX = 6 + j6 = 8,4853e^{j45^\circ}, \text{ Ом.}\end{aligned}$$

2.4. Определим фазные, они же линейные, токи 1-го приёмника, потребители которого соединены несимметричной звездой:

$$\begin{aligned}\underline{I}_{a1} &= \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}_a} = \frac{77e^{j0^\circ}}{8,6023e^{j36^\circ}} = 8,9511e^{-j36^\circ}, \text{ А;} \\ \underline{I}_{b1} &= \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}_b} = \frac{77e^{-j120^\circ}}{8,6023e^{-j36^\circ}} = 8,9511e^{-j84^\circ}, \text{ А;} \\ \underline{I}_{c1} &= \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}_c} = \frac{77e^{j120^\circ}}{7} = 11e^{j120^\circ}, \text{ А.}\end{aligned}$$

Определим ток в нулевом проводе:

$$\begin{aligned}\underline{I}_N &= \underline{I}_{a1} + \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{c1} = 8,9511e^{-j36^\circ} + 8,9511e^{-j84^\circ} + 11e^{j120^\circ} = \\ &= 2,6772 - j4,6374 = 4,9173e^{-j60^\circ}, \text{ А.}\end{aligned}$$

2.5. Определим фазные токи 2-го приёмника, потребители которого соединены несимметричным треугольником:

$$\begin{aligned}\underline{I}_{ab2} &= \frac{\underline{U}_{AB}}{\underline{Z}_{ab}} = \frac{133,3679e^{j30^\circ}}{18,4391e^{j49^\circ}} = 7,2329e^{-j19^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_{bc2} &= \frac{\underline{U}_{BC}}{\underline{Z}_{bc}} = \frac{133,3679e^{-j90^\circ}}{12} = 11,1140e^{-j90^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_{ca2} &= \frac{\underline{U}_{CA}}{\underline{Z}_{ca}} = \frac{133,3679e^{j150^\circ}}{16,2788e^{j43^\circ}} = 8,1927e^{j107^\circ}, \text{A}.\end{aligned}$$

Определим линейные токи 2-го приемника:

$$\begin{aligned}\underline{I}_{a2} &= \underline{I}_{ab2} - \underline{I}_{ca2} = 7,2329e^{-j19^\circ} - 8,1927e^{j107^\circ} = \\ &= 9,2342 - j10,1895 = 13,7512e^{-j48^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_{b2} &= \underline{I}_{bc2} - \underline{I}_{ab2} = 11,1140e^{-j90^\circ} - 7,2329e^{-j19^\circ} = \\ &= -6,8388 - j8,7592 = 11,1127e^{j232^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_{c2} &= \underline{I}_{ca2} - \underline{I}_{bc2} = 8,1927e^{j107^\circ} - 11,1140e^{-j90^\circ} = \\ &= -2,3953 + j18,9487 = 19,0995e^{j97^\circ}, \text{A}.\end{aligned}$$

2.6. Определим фазные, они же линейные, токи 3-го приёмника, потребители которого соединены симметричной звездой:

$$\begin{aligned}\underline{I}_{a3} &= \frac{\underline{U}_A}{\underline{Z}} = \frac{77e^{j0^\circ}}{8,4853e^{j45^\circ}} = 9,0745e^{-j45^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_{b3} &= \frac{\underline{U}_B}{\underline{Z}} = \frac{77e^{-j120^\circ}}{8,4853e^{j45^\circ}} = 9,0745e^{-j165^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_{c3} &= \frac{\underline{U}_C}{\underline{Z}} = \frac{77e^{j120^\circ}}{8,4853e^{j45^\circ}} = 9,0745e^{j75^\circ}, \text{A}.\end{aligned}$$

2.7. Определим линейные токи в линейных проводах сети:

$$\begin{aligned}\underline{I}_A &= \underline{I}_{a1} + \underline{I}_{a2} + \underline{I}_{a3} = 8,9511e^{-j36^\circ} + 13,7512e^{-j48^\circ} + 9,0745e^{-j45^\circ} = \\ &= 22,8596 - j21,8971 = 31,6551e^{-j44^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_B &= \underline{I}_{b1} + \underline{I}_{b2} + \underline{I}_{b3} = 8,9511e^{-j84^\circ} + 11,1127e^{j232^\circ} + 9,0745e^{-j165^\circ} = \\ &= -14,6713 - j20,0076 = 24,8103e^{j234^\circ}, \text{A}; \\ \underline{I}_C &= \underline{I}_{c1} + \underline{I}_{c2} + \underline{I}_{c3} = 11e^{j120^\circ} + 19,0995e^{j97^\circ} + 9,0745e^{j75^\circ} = \\ &= -5,4790 + j37,2487 = 37,6495e^{j98^\circ}, \text{A}.\end{aligned}$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБЛЯЕМЫХ МОЩНОСТЕЙ

3.1. Найдем полную мощность, потребляемую каждым приёмником и всей цепью:

$$\begin{aligned}\underline{S}_1 &= \underline{U}_A \underline{I}_{a1}^* + \underline{U}_B \underline{I}_{b1}^* + \underline{U}_C \underline{I}_{c1}^* = \\&= 77e^{j0^\circ} \cdot 8,9511e^{-j36^\circ} + 77e^{-j120^\circ} \cdot 8,9511e^{-j84^\circ} + 77e^{j120^\circ} \cdot 11e^{j120^\circ} = \\&= 689,2347e^{-j36^\circ} + 689,2347e^{-j204^\circ} + 847e^{j240^\circ} = \\&= 495,5446 - j858,3085 = 991,0893e^{-j60^\circ}, \text{ ВА}; \\ \underline{S}_2 &= \underline{U}_{AB} \underline{I}_{ab2}^* + \underline{U}_{BC} \underline{I}_{bc2}^* + \underline{U}_{CA} \underline{I}_{ca2}^* = \\&= 133,3679e^{j30^\circ} \cdot 7,2329e^{-j19^\circ} + 133,3679e^{-j9^\circ} \cdot 11,1140e^{-j90^\circ} + \\&\quad + 133,3679e^{j150^\circ} \cdot 8,1927e^{j107^\circ} = \\&= 964,6367e^{11^\circ} + 1482,2508e^{-j99^\circ} + 1092,6432e^{257^\circ} = \\&= 469,2480 - j2344,5793 = 2391,0763e^{-j79^\circ}, \text{ ВА}; \\ \underline{S}_3 &= 3\underline{U}_A \underline{I}_{a3}^* = 3 \cdot 77e^{j0^\circ} \cdot 9,0745e^{-j45^\circ} = 2096,2095e^{-j45^\circ} = \\&= 1482,2439 - j1482,2439, \text{ ВА}; \\ \underline{S} &= \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 = \\&= 991,0893e^{-j60^\circ} + 2391,0763e^{-j79^\circ} + 2096,2095e^{-j45^\circ} = \\&= 2447,0365 - j4685,1317 = 5285,6832e^{-j62^\circ}, \text{ ВА}.\end{aligned}$$

3.2. Активная мощность, потребляемая каждым приёмником и всей цепью:

$$\begin{aligned}P_1 &= \operatorname{Re}(\underline{S}_1) = 495,5446 \text{ Вт}; \\ P_2 &= \operatorname{Re}(\underline{S}_2) = 469,2480 \text{ Вт}; \\ P_3 &= \operatorname{Re}(\underline{S}_3) = 1482,2439 \text{ Вт}; \\ P &= P_1 + P_2 + P_3 = 2447,0365 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

3.3. Реактивная мощность, потребляемая каждым приёмником и всей цепью:

$$\begin{aligned}Q_1 &= \operatorname{Im}(\underline{S}_1) = -858,3085 \text{ ВАр}; \\ Q_2 &= \operatorname{Im}(\underline{S}_2) = -2344,5793 \text{ ВАр}; \\ Q_3 &= \operatorname{Im}(\underline{S}_3) = -1482,2439 \text{ ВАр}; \\ Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 = -4685,1317 \text{ ВАр}.\end{aligned}$$

Баланс мощностей сходится.

4. ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ

4.1. Построим векторную диаграмму 1-го приёмника, потребителя которого соединены несимметричной звездой.

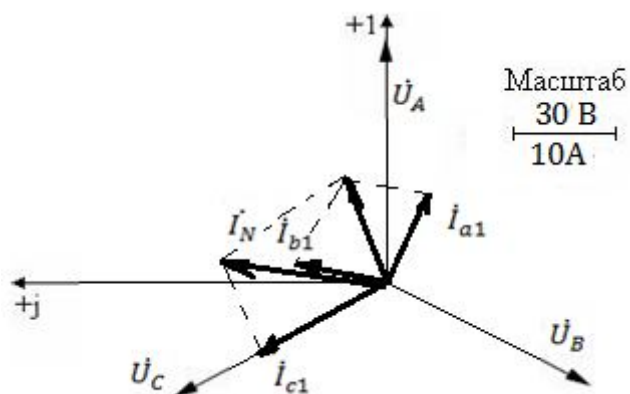


Рисунок 3.3 – Векторная диаграмма токов и напряжений 1-го приёмника

4.2. Построим векторную диаграмму 2-го приёмника потребителя которого соединены несимметричным треугольником.

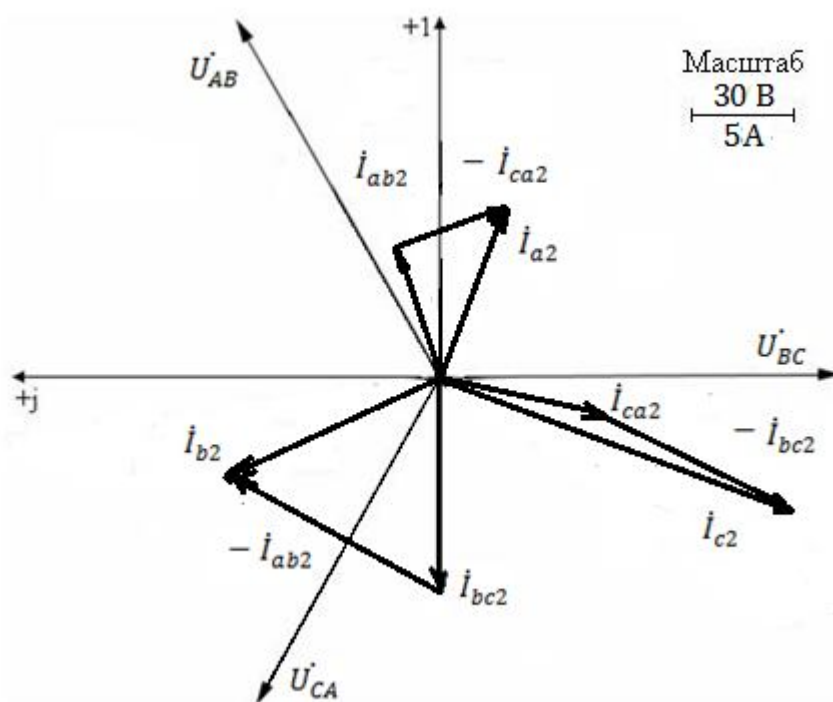


Рисунок 3.4 – Векторная диаграмма токов и напряжений 2-го приёмника

4.3. Построим векторную диаграмму 3-го приёмника, потребители которого соединены симметричной звездой.

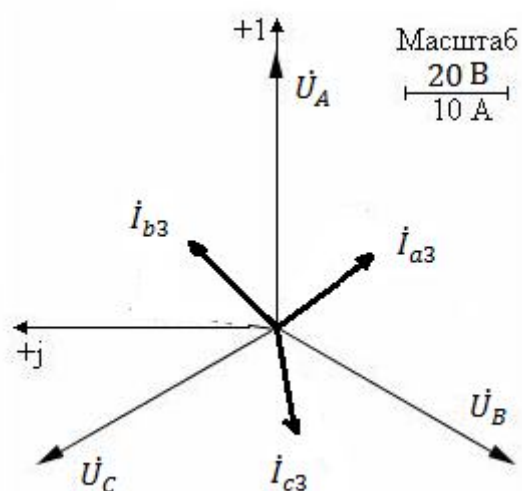


Рисунок 3.5 – Векторная диаграмма токов и напряжений 3-го приёмника

4.4. Построим общую векторную диаграмму.

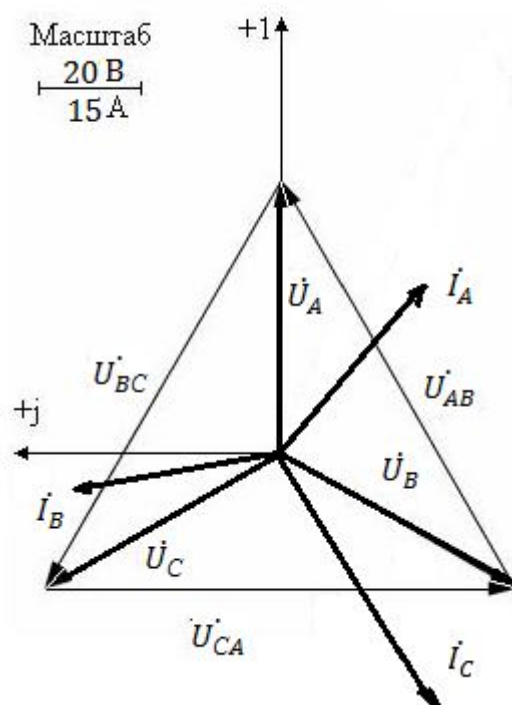


Рисунок 3.6 – Общая векторная диаграмма токов и напряжений

Литература

1. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. бакалавров и магистров «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» и «Электроэнергетика»: в 2-х т. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2009. – (Учебник для вузов) Т. 1. – 512 с.
2. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям подгот. бакалавров и магистров «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» и «Электроэнергетика»: в 2-х т. / К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – 5-е изд. – СПб.: Питер, 2009. – (Учебник для вузов). – (Учебник для вузов) Т. 2. – 431 с
3. Теоретические основы электротехники: Сборник задач с решениями / Сост.: А.В. Бубнов, В.А. Костюк, А.И. Любимова, А.П. Попов, В.К. Федоров, В.Л. Федоров. – Нижневартонск: Изд-во НГГУ, 2012. – 252 с.
4. Расчет переходных процессов: метод. указания [для студентов направления 140200.62 «Электроэнергетика»] / сост.: А.В. Бубнов, В.Л. Федоров. – Нижневартонск: Изд-во НГГУ, 2012. – 21 с.
5. Буртаев Ю.В., Овсянников П.Н. Теоретические основы электротехники: Учебник / Под ред. М.Ю. Зайчика. Изд. 2-е, испр. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 552 с.