

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет
путей сообщения»

Кафедра «Телекоммуникации»

А.В.Стафеев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к расчетно-графической работе

Хабаровск
Издательство ДВГУПС
2007

Рецензент:
кандидат технических наук, профессор,
кафедры «Автоматика и телемеханика»
Г.П.Малай

Стафеев А.В.

Электротехника и электроника: методические указания к расчетно-графической работе./ А.В.Стафеев – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 29 с.: ил.

Методические указания соответствуют государственному образовательному стандарту дисциплины «Электротехника и электроника» направления 230200 «Информационные системы», специальности 23020165 «Информационные системы и технологии».

Методические указания содержат варианты заданий и примеры расчетов электрических цепей постоянного и переменного тока.

Предназначены для студентов второго курса института «Управления автоматизации и телекоммуникации» изучающих дисциплину «Электротехника и электроника».

© ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения МПС России» (ДВГУПС), 2007

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к расчетно-графической работе (РГР) являются практическим руководством по расчету электрических цепей постоянного и переменного тока. Основной целью РГР является приобретение студентами знаний основных свойств линейных электрических цепей как постоянного, так и однофазного синусоидального тока. РГР включает в себя расчетную часть, а также экспериментальную проверку полученных результатов путем моделирования рассчитываемых схем на компьютере с помощью программы Electronics Workbench (EWB). Данная программа моделирования знакомит студента с элементами проектирования электронных схем, с разнообразной и обширной элементной базой. При расчете систем линейных уравнений в матричной форме рекомендуется использовать систему научно-технических вычислений MathCAD.

Методические указания содержат варианты заданий и примеры выполнения расчетов. Выполнение РГР предполагает самостоятельное изучение студентами основных положений теории электрических цепей по списку рекомендуемой литературы.

При оформлении РГР студент должен придерживаться условных обозначений и размеров элементов, отвечающих требованиям ЕСКД некоторые из которых приведены в прил. 3.

1. СОСТАВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы в приведенной последовательности:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- задание по расчету электрической цепи постоянного тока;
- расчетная схема в соответствии с вариантом;
- расчетная часть;
- схема моделирования на компьютере с помощью программы EWB;
- задание по расчету электрической цепи переменного тока;
- расчетная схема в соответствии с вариантом;
- расчетная часть;
- схема моделирования на компьютере с помощью программы EWB;
- заключение;
- список используемой литературы.

Общий объем пояснительной записки должен составлять 10-15 листов формата А4.

Введение должно содержать краткую характеристику рассчитываемых схем, сравнение и обоснование методов расчетов.

В заключение пояснительной записки приводится оценка полученных результатов, а также сравнение теоретических и экспериментальных данных.

2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

2.1 Схема электрической цепи

Для схемы, представленной на рис 2.1 определить токи в каждой ветви, составить баланс мощностей, построить потенциальную диаграмму для контура, содержащего не менее двух ЭДС. Задачу решить любыми двумя методами.

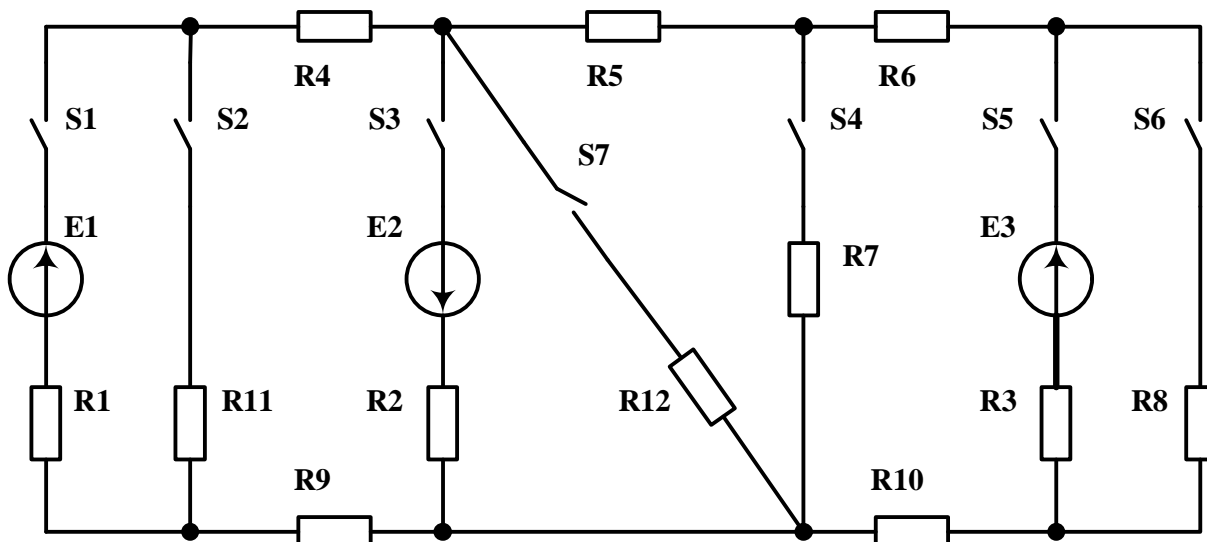


Рис. 2.1.

2.2 Варианты заданий

Варианты заданий представлены в приложении 1.

Примечание: прочерк соответствует отсутствию (короткому замыканию) элемента схемы, 1 – выключатель замкнут, 0 – разомкнут.

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3.1 Схема электрической цепи

Для схемы электрической цепи, приведенной на рис. 3.1 выполнить следующее:

1. Рассчитать комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись методом узловых потенциалов;
2. Построить топографическую диаграмму комплексных потенциалов точек схемы, совмещенную с векторной диаграммой токов;
3. Составить баланс активных и реактивных мощностей.

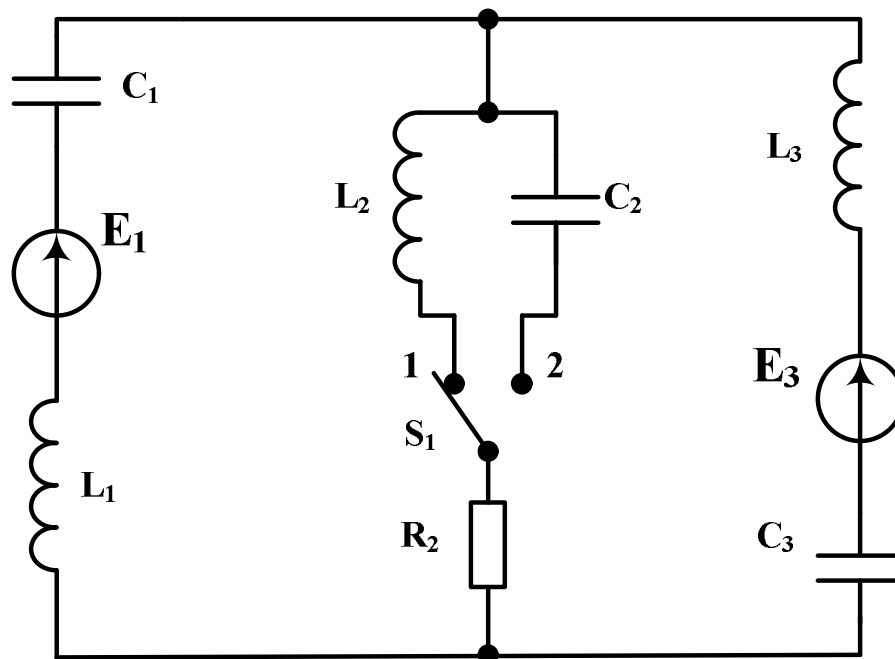


Рис. 3.1.

3.2 Варианты заданий

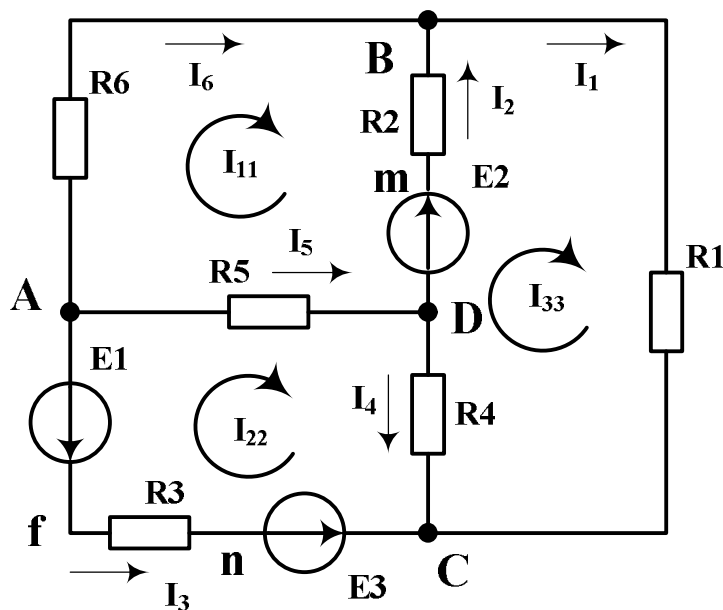
Варианты заданий представлены в приложении 2.

4. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ

4.1 Линейная электрическая цепь постоянного тока

Для схемы электрической цепи приведенной на рис. 4.1 выполнить следующее:

1. Составить на основании законов Кирхгофа систему уравнений для расчета токов во всех ветвях схемы и решить ее, используя программу MathCAD;
2. Рассчитать токи во всех ветвях схемы методом контурных токов (МКТ);
3. Рассчитать токи во всех ветвях схемы методом узловых потенциалов;
4. Составить баланс мощностей, вычислив суммарную мощность источников и суммарную мощность приемников;
5. Рассчитать ток I_1 , используя теорему об активном двухполюснике и эквивалентном генераторе;
6. Начертить потенциальную диаграмму для любого замкнутого контура, включающего оба источника ЭДС.



Исходные данные:
 $R_1 = 9 \text{ Ом};$
 $R_2 = 20 \text{ Ом};$
 $R_3 = 16 \text{ Ом};$
 $R_4 = 40 \text{ Ом};$
 $R_5 = 30 \text{ Ом};$
 $R_6 = 22 \text{ Ом};$
 $E_1 = 8 \text{ В};$
 $E_2 = 30 \text{ В};$
 $E_3 = 10 \text{ В}.$

Рис. 4.1

В этой схеме количество узлов: $n=4$; ветвей: $m=6$; контуров: $k=3$.

4.1.1 Система уравнений на основании законов Кирхгофа

Выбираем направления токов в ветвях произвольно. Количество уравнений необходимых по законам Кирхгофа:

- по первому закону: $n-1=4-1=3$;
- по второму закону: $k=3$;
- общее количество уравнений: 6.

По первому закону Кирхгофа:

- для узла «А»: $-I_3 - I_5 - I_6 = 0$;
- для узла «В»: $-I_1 + I_2 + I_6 = 0$;
- для узла «С»: $I_1 + I_3 + I_4 = 0$.

По второму закону Кирхгофа:

- для контура 1: $-I_2 R_2 - I_5 R_5 + I_6 R_6 = -E_2$;
- для контура 2: $-I_3 R_3 + I_4 R_4 + I_5 R_5 = -E_3 - E_1$;
- для контура 3: $I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_4 R_4 = E_2$.

Запишем систему уравнений, подставив числовые значения:

- $-I_3 - I_5 - I_6 = 0$;
- $-I_1 + I_2 + I_6 = 0$;
- $I_1 + I_3 + I_4 = 0$;
- $-20I_2 - 30I_5 + 22I_6 = -30$;

$$-16I_3 + 40I_4 + 30I_5 = -10 - 8 = -18;$$

$$9I_1 + 20I_2 - 40I_4 = 30.$$

Поскольку решение системы уравнений с шестью неизвестными является достаточно трудоемкой задачей, воспользуемся математической программой MathCAD. Снимок с экрана компьютера приведен на рис 4.2.

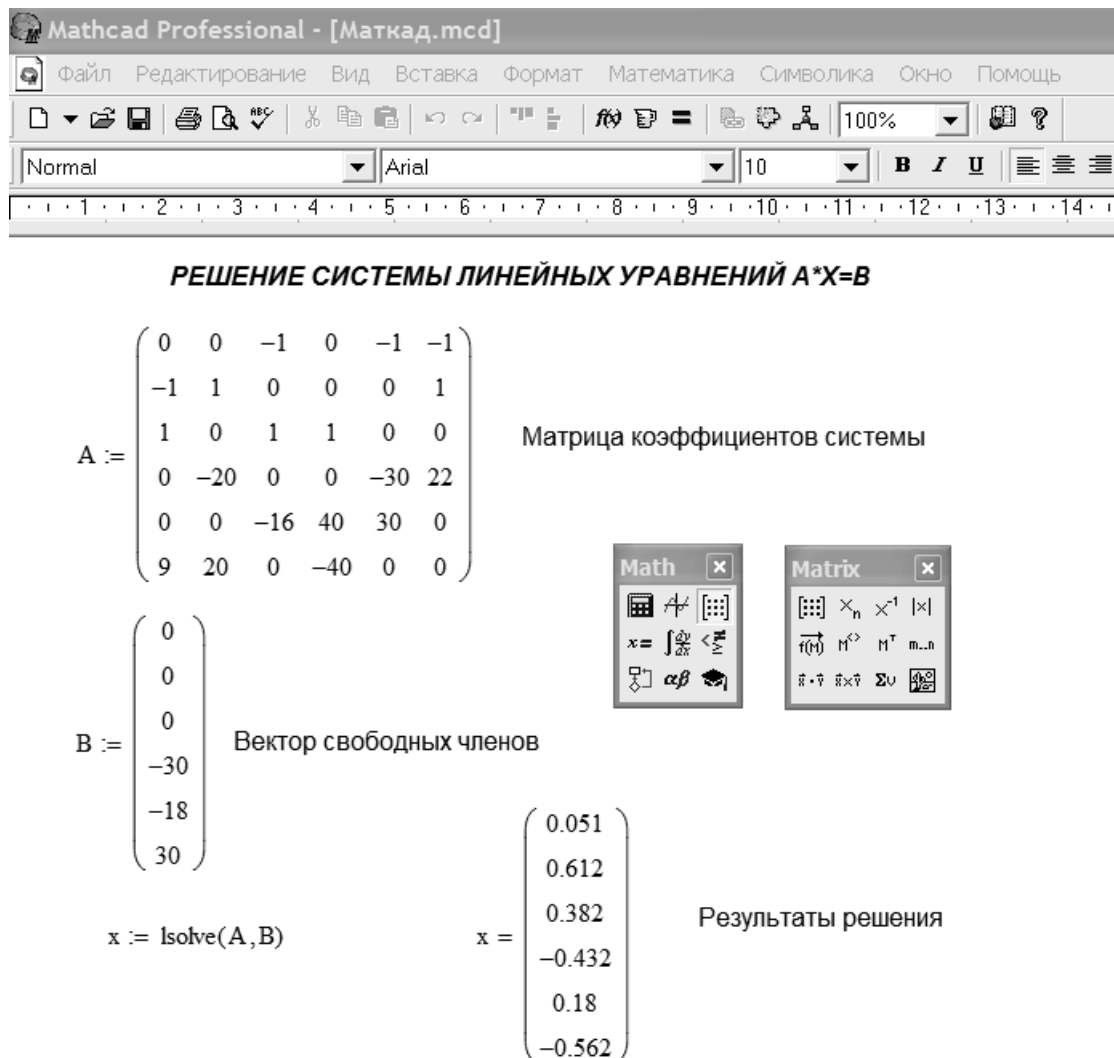


Рис 4.2

Окончательно получаем: $I_1=0,051$ А, $I_2=0,612$ А, $I_3=0,382$ А, $I_4=-0,432$ А, $I_5=0,8$ А, $I_6=-0,562$ А.

4.1.2 Расчет методом контурных токов

Выберем направления контурных токов произвольно. Число уравнений, которые необходимо составить для расчета токов в ветвях схемы, всегда равно числу независимых контуров. В данной схеме три независи-

мых контура, поэтому имеем следующую систему:

$$I_{11}R_{11}+I_{22}R_{12}+I_{33}R_{13}=E_{11}$$

$$I_{11}R_{21}+I_{22}R_{22}+I_{33}R_{23}=E_{22}$$

$$I_{11}R_{31}+I_{22}R_{32}+I_{33}R_{33}=E_{33},$$

где: I_{11} , I_{22} , I_{33} – контурные токи, которые необходимо определить;

R_{11} , R_{22} , R_{33} – суммарные сопротивления первого, второго и третьего контуров соответственно;

E_{11} , E_{22} , E_{33} – алгебраическая сумма ЭДС соответственно первого, второго и третьего контуров, причем если направление ЭДС совпадает с направлением контурного тока, то ЭДС берется со знаком плюс, а если не совпадает, то со знаком минус.

Сопротивления с разными индексами = это взаимные сопротивления, входящие одновременно в состав двух контуров, причем знак взаимного сопротивления берется положительным, если направления контурных токов в нем совпадают, и отрицательным, если нет.

Тогда:

$$R_{11}=R_2+R_5+R_6=20+30+22=72 \text{ Ом};$$

$$R_{22}=R_3+R_4+R_5+R_6=16+40+30=86 \text{ Ом};$$

$$R_{33}=R_1+R_2+R_4=9+20+40=69 \text{ Ом};$$

$$R_{12}=R_{21}=-R_5=-30 \text{ Ом};$$

$$R_{13}=R_{31}=-R_2=-20 \text{ Ом};$$

$$R_{23}=R_{32}=-R_4=-40 \text{ Ом};$$

$$E_{11}=-E_2=-30 \text{ В};$$

$$E_{22}=-E_3-E_1=-10-8=-18 \text{ В};$$

$$E_{33}=E_2=30 \text{ В}.$$

Подставим найденные значения в систему уравнений:

$$72I_{11}-30I_{22}-20I_{33}=-30;$$

$$-30I_{11}+86I_{22}-40I_{33}=-18;$$

$$-20I_{11}-40I_{22}+69I_{33}=30.$$

Решая эту систему, находим контурные токи. Воспользуемся правилом Крамера. В общем виде Контурные токи определяются: $I_{11}=\Delta_{11}/\Delta$, $I_{22}=\Delta_{22}/\Delta$, $I_{33}=\Delta_{33}/\Delta$, где Δ - определитель (детерминант) системы; Δ_{11} , Δ_{22} , Δ_{33} – частные определители, которые получаются в результате замены

соответствующего столбца на значения ЭДС.

$$\Delta = \begin{vmatrix} 72 & -30 & -20 \\ -30 & 86 & -40 \\ -20 & -40 & 69 \end{vmatrix} = 72 \cdot 86 \cdot 69 - 72 \cdot 40 \cdot 40 - 30 \cdot 40 \cdot 20 - 30 \cdot 30 \cdot 69 - 20 \cdot 30 \cdot 40 -$$

$$20 \cdot 86 \cdot 20 = 167548.$$

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} -30 & -30 & -20 \\ -18 & 86 & -40 \\ 30 & -40 & 69 \end{vmatrix} = -94080, \quad \Delta_{22} = \begin{vmatrix} 72 & -30 & -20 \\ -30 & -18 & -40 \\ -20 & 30 & 69 \end{vmatrix} = -63924,$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} 72 & -30 & -30 \\ -30 & 86 & -18 \\ -20 & -40 & 30 \end{vmatrix} = 8520. \text{ Для контурных токов получаем значения:}$$

$$I_{11} = \Delta_{11} / \Delta = -94080 / 167548 = -0,5615 \text{ А}, \quad I_{22} = \Delta_{22} / \Delta = -63924 / 167548 = -0,3815 \text{ А}, \\ I_{33} = \Delta_{33} / \Delta = 8520 / 167548 = 0,0508 \text{ А}.$$

Далее выразим истинные токи через контурные. Ток в ветви, принадлежащей двум или нескольким контурам, равен алгебраической сумме соответствующих контурных токов. Со знаком плюс берутся контурные токи, совпадающие с током этой ветви, со знаком минус – не совпадающие с ним.

$$I_1 = I_{33} = 0,0508 \text{ А};$$

$$I_2 = I_{33} - I_{11} = 0,0508 + 0,5615 = 0,6123 \text{ А};$$

$$I_3 = -I_{22} = 0,3815 \text{ А};$$

$$I_4 = I_{22} - I_{33} = -0,3815 - 0,0508 = -0,4324 \text{ А};$$

$$I_5 = I_{22} - I_{11} = -0,3815 + 0,5615 = 0,18 \text{ А};$$

$$I_6 = I_{11} = -0,5615 \text{ А}.$$

4.1.3 Расчет методом узловых потенциалов (МУП)

Выберем в качестве базисного узел «D» и его потенциал приравняем к нулю $\varphi_D = 0$. Необходимо найти потенциалы узлов «A», «B» и «C». Схема с заземленным узлом «D» показана на рис. 4.3.

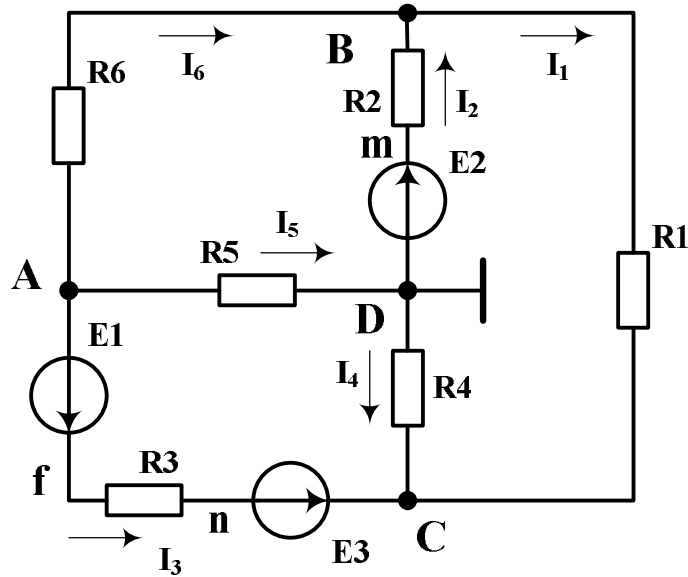


Рис. 4.3

Вычислим собственные проводимости узлов «А», «В» и «С». Расчеты необходимо производить с возможно большей точностью.

$$G_{aa} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{16} + \frac{1}{30} + \frac{1}{22} \approx 0,141288 \text{ СМ}$$

$$G_{bb} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_6} = \frac{1}{9} + \frac{1}{20} + \frac{1}{22} \approx 0,206566 \text{ СМ}$$

$$G_{cc} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{9} + \frac{1}{16} + \frac{1}{40} \approx 0,198611 \text{ СМ}$$

Общая проводимость этих узлов:

$$G_{ab} = G_{ba} = \frac{1}{R_6} = \frac{1}{22} \approx 0,045455 \text{ СМ}$$

$$G_{ac} = G_{ca} = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{16} \approx 0,0625 \text{ СМ}$$

$$G_{bc} = G_{cb} = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{9} \approx 0,111111 \text{ СМ}$$

Находим узловые токи:

$$\text{в узле «А»: } I_{aa} = -\frac{E_3 + E_1}{R_3} = -\frac{10+8}{16} \approx -1,125 \text{ А}$$

$$\text{в узле «В»: } I_{bb} = \frac{E_2}{R_2} = \frac{30}{20} \approx 1,5 \text{ А}$$

$$\text{в узле «С»}: I_{cc} = \frac{E_3 + E_1}{R_3} = \frac{10 + 8}{16} \approx 1,125 \text{ A}$$

Составим систему уравнений для нахождения потенциалов узлов по методу узловых напряжений:

$$G_{aa}j_a - G_{ab}j_b - G_{ac}j_c = I_{aa}$$

$$-G_{ba}j_a + G_{bb}j_b - G_{bc}j_c = I_{bb}$$

$$-G_{ca}j_a - G_{cb}j_b + G_{cc}j_c = I_{cc}$$

Подставим числовые значения:

$$0,141288j_a - 0,045455j_b - 0,0625j_c = -1,125$$

$$-0,045455j_a + 0,206566j_b - 0,111111j_c = 1,5$$

$$-0,0625j_a - 0,111111j_b + 0,198611j_c = 1,121$$

Решая эту систему с помощью правила Крамера (п. 4.1.2), находим потенциалы узлов: $\varphi_a \approx 5,388 \text{ В}$, $\varphi_b \approx 17,736 \text{ В}$, $\varphi_c \approx 17,282 \text{ В}$.

Рассчитаем токи в ветвях, выбирая предварительно их условные положительные направления, как в схеме при расчете методом контурных токов.

$$I_1 = \frac{j_b - j_c}{R_1} = \frac{17,736 - 17,282}{9} \approx 0,0504 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{j_d - j_b + E_2}{R_2} = \frac{0 - 17,736 + 30}{20} \approx 0,6132 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{j_a - j_c + E_3 + E_1}{R_3} = \frac{5,388 - 17,282 + 10 + 8}{16} \approx 0,3816 \text{ A}$$

$$I_4 = \frac{j_d - j_c}{R_4} = \frac{0 - 17,282}{40} \approx -0,4321 \text{ A}$$

$$I_5 = \frac{j_a - j_d}{R_5} = \frac{5,388 - 0}{30} \approx 0,1796 \text{ A}$$

$$I_6 = \frac{j_a - j_b}{R_6} = \frac{5,388 - 17,736}{22} \approx -0,5613 \text{ A}$$

4.1.4 Расчет баланса мощностей

Суммарная мощность источников:

$$\sum P_{\text{ист}} = E_2 I_2 + (E_3 + E_1) I_3 = 30 \cdot 0,6123 + (10 + 8) \cdot 0,3815 = 25,236 \text{ Вт} .$$

Суммарная мощность приемников:

$$\sum P_{\text{пр}} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 \approx 25,234 \text{ Вт}$$

Допускается расхождение баланса активных мощностей 0,5%:

$$\Delta P = \frac{\sum P_{\text{ист}} - \sum P_{\text{пр}}}{\sum P_{\text{ист}}} \cdot 100\% = \frac{25,236 - 25,243}{25,236} \cdot 100\% \approx 0,008\% < 0,5\%$$

4.1.5 Потенциальная диаграмма контура «CDmBAfn»

Под потенциальной диаграммой понимают распределения потенциала вдоль какого-либо участка цепи или замкнутого контура. По оси абсцисс на нем откладывают сопротивления вдоль контура, начиная с какой-либо произвольной точки, по оси ординат – потенциалы. Каждой точке участка цепи или замкнутого контура соответствует своя точка на потенциальной диаграмме.

За нулевой потенциал примем потенциал узла «С». $\varphi_c = 0$. Рассчитаем потенциалы других точек схемы:

$$j_d = j_c + I_4 R_4 = 0 + (-0,4324) \cdot 40 = -17,296 \text{ В};$$

$$j_m = j_d + E_2 = -17,296 + 30 = 12,704 \text{ В};$$

$$j_b = j_m - I_2 R_2 = 12,704 - 0,6123 \cdot 20 = 0,458 \text{ В};$$

$$j_a = j_b + I_6 R_6 = 0,458 + (-0,5614) \cdot 22 = -11,8928 \text{ В};$$

$$j_f = j_a + E_1 = -11,8928 + 8 = -3,8928 \text{ В};$$

$$j_n = j_f - I_3 R_3 = -3,8928 - 0,3815 \cdot 16 = -9,9968 \text{ В};$$

$$j_c = j_n + E_3 = -9,9968 + 10 = 0,0032 \approx 0 \text{ В}.$$

График потенциальной диаграммы показан на рис. 4.4.

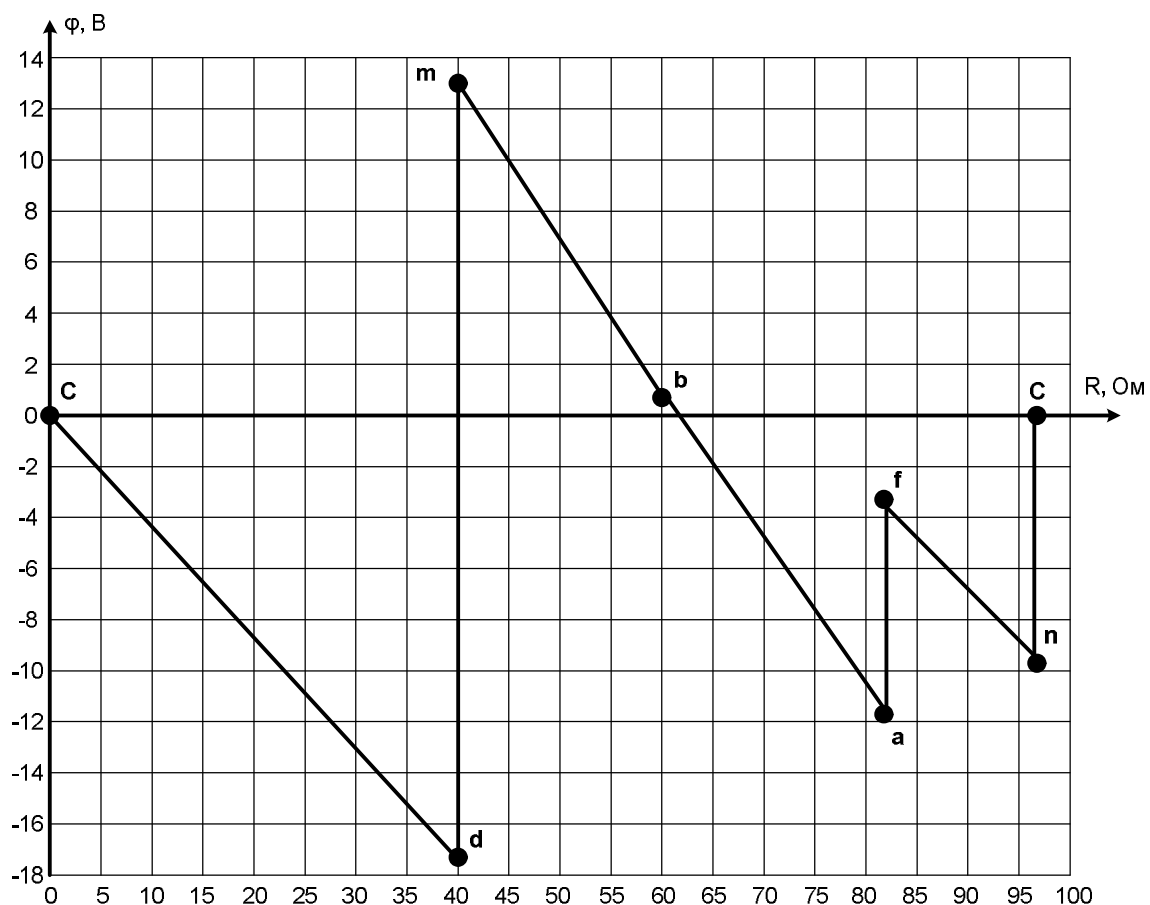


Рис. 4.4

4.1.6 Моделирование схемы с помощью программы Electronics Workbench (EWB)

Для проверки результатов теоретических расчетов произведем моделирование исследуемой схемы методом физического моделирования. Соберем схему 4.1 в среде Electronics WorkBench.

Снимок с экрана компьютера с показаниями амперметров представлен на рис. 4.5.

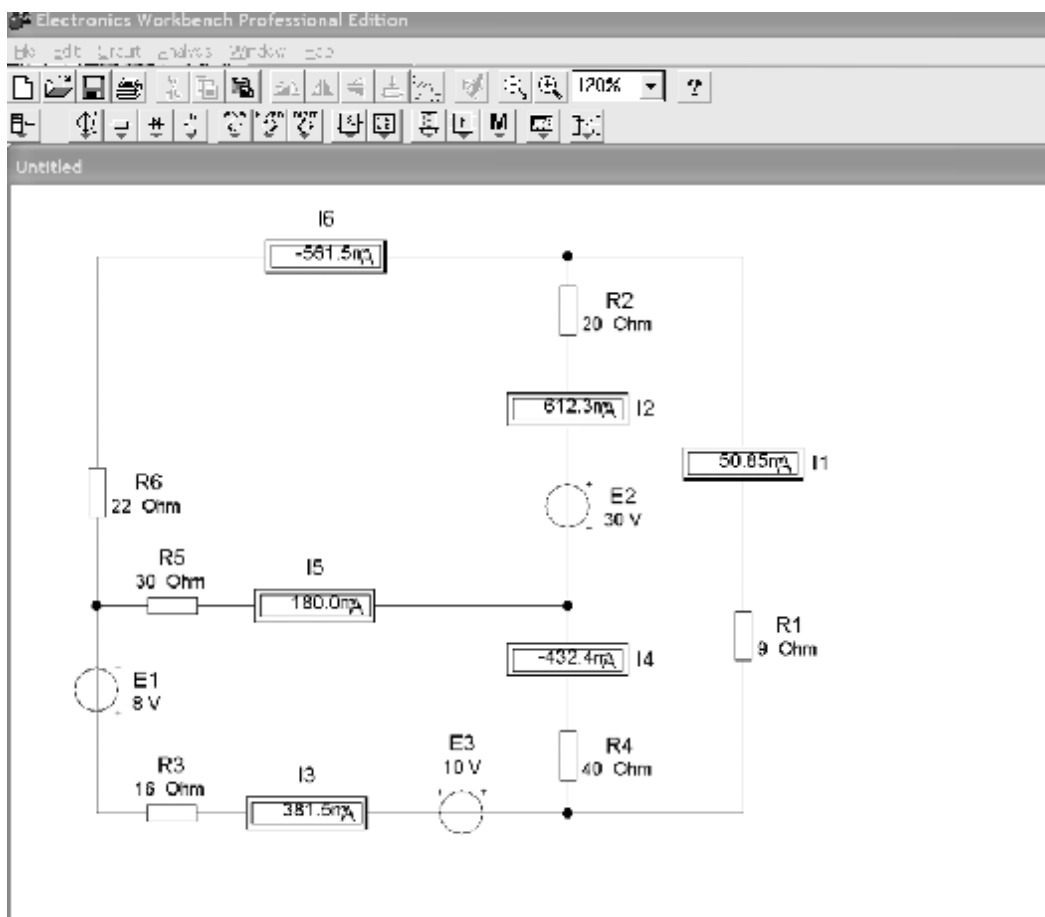


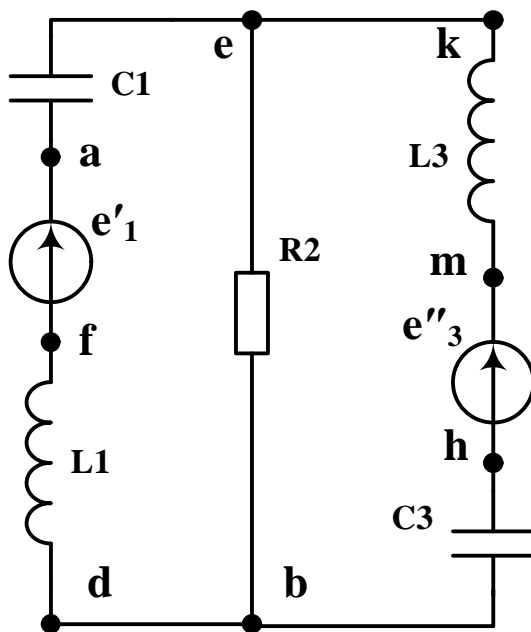
Рис. 4.5

Как видно из рис. 4.5 показания приборов совпадают со значениями, полученными в предыдущих пунктах. Таким образом, токи рассчитаны правильно.

4.2 Линейная электрическая цепь переменного тока

Для схемы электрической цепи, приведенной на рис. 4.6 выполнить следующее:

4. Рассчитать комплексы действующих значений токов во всех ветвях, воспользовавшись методом узловых потенциалов;
5. Построить топографическую диаграмму комплексных потенциалов точек схемы, совмещенную с векторной диаграммой токов. При этом потенциал точки "а" указанной на схеме принять равным нулю;
6. Составить баланс активных и реактивных мощностей.



Исходные данные:
 $L1=4$ мГн;
 $L3=109$ мГн;
 $C1=33$ мкФ;
 $C3=95$ мкФ;
 $R2=65$ Ом;
 $f=70$ Гц;
 $e'_1=141\sin(\omega t-90^\circ)$ В;
 $e''_3=282\sin(\omega t-50^\circ)$ В.

Рис. 4.6

4.2.1 Расчет методом узловых потенциалов

В первую очередь, необходимо от мгновенных значений ЭДС перейти к комплексам действующих значений ЭДС.

$$e'_1 = 141\sin(\omega t - 90^\circ) \Rightarrow \dot{E}'_1 = \frac{141}{\sqrt{2}} e^{-j90^\circ} \approx 99,7 e^{-j90^\circ} = j99,7B$$

$$e''_3 = 282\sin(\omega t - 50^\circ) \Rightarrow \dot{E}''_3 = \frac{282}{\sqrt{2}} e^{-j50^\circ} \approx 199,4 e^{-j50^\circ} = 128,17 - j152,75B$$

Любой узел схемы можно заземлить. Токораспределение при этом не изменится. Схема с комплексными ЭДС и заземленным узлом b показана на рис. 4.7.

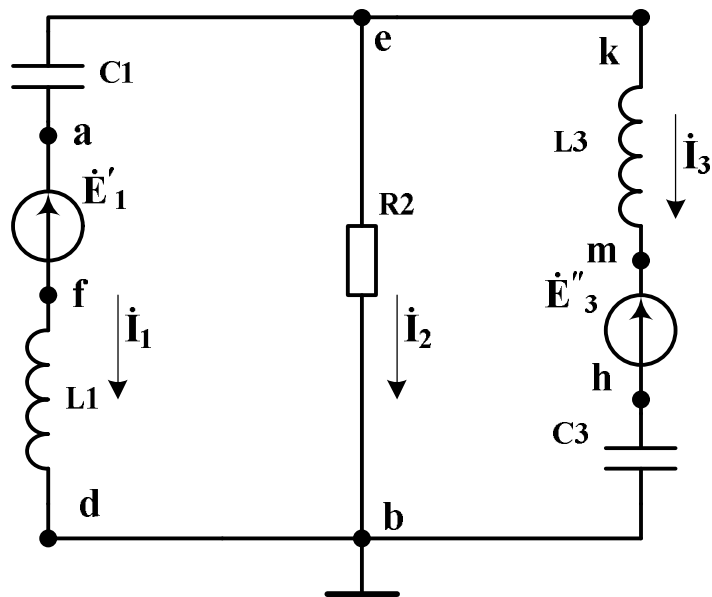


Рис. 4.7

Круговая частота: $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 70 = 439,82$ рад/с. Сопротивления реактивных элементов цепи:

$$X_{L1} = \omega L_1 = 439,82 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \approx 6,16 \text{ Ом}$$

$$X_{L3} = \omega L_3 = 439,82 \cdot 109 \cdot 10^{-3} \approx 47,94 \text{ Ом}$$

$$X_{C1} = \frac{1}{\omega C_1} = \frac{1}{439,82 \cdot 33 \cdot 10^{-6}} \approx 68,9 \text{ Ом}$$

$$X_{C3} = \frac{1}{\omega C_3} = \frac{1}{439,82 \cdot 95 \cdot 10^{-6}} \approx 23,93 \text{ Ом}.$$

Комплексные сопротивления ветвей:

$$\bar{Z}_1 = j(X_{L1} - X_{C1}) = j(6,16 - 68,9) = -j62,74 = 62,74e^{-j90^\circ} \text{ Ом}$$

$$\bar{Z}_2 = R_2 = 65 \text{ Ом}$$

$$\bar{Z}_3 = j(X_{L3} - X_{C3}) = j(47,94 - 23,93) = j24,01 = 24,01e^{j90^\circ} \text{ Ом}.$$

Соответственно комплексные проводимости ветвей:

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{\bar{Z}_1} = \frac{1}{62,74e^{-j90^\circ}} \approx 0,015939e^{j90^\circ} = j0,015939 \text{ См}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{\bar{Z}_2} = \frac{1}{65} \approx 0,015385 \text{ См}$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{1}{\bar{Z}_3} = \frac{1}{24,01e^{j90^\circ}} \approx 0,041649e^{-j90^\circ} = -j0,041649 \text{ См}$$

При использовании комплексных величин электрические схемы переменного тока можно рассчитывать любыми методами, которые используются при расчете схем на постоянном токе.

Пусть $\dot{j}_b = 0$, тогда по методу двух узлов (частный случай метода узловых потенциалов) имеем:

$$\begin{aligned} \dot{j}_e &= \frac{\bar{E}'_1 \bar{Y}_1 + \bar{E}''_3 \bar{Y}_3}{\bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_3} = \frac{-j99,7 \cdot j0,015939 + (128,17 - j152,75) \cdot (-j0,041649)}{j0,015939 + 0,015385 - j0,041649} = \\ &= \frac{-4,772767 - j5,338152}{0,015385 - j0,02571} \approx \frac{7,16067e^{-j131,8^\circ}}{0,029962e^{-j59,104^\circ}} \approx 238,992e^{-j72,696^\circ} \approx \\ &\approx (71,086 - j228,175) \text{ В.} \end{aligned}$$

Токи в ветвях находятся по обобщенному закону Ома:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= \frac{\dot{j}_e - \bar{E}'_1}{\bar{Z}_1} = \frac{71,086 - j228,175 - (-j99,7)}{62,74e^{-j90^\circ}} = \frac{146,83e^{-j61,044^\circ}}{62,74e^{-j90^\circ}} \approx \\ &\approx 2,34e^{j28,956^\circ} \approx (2,047 + j1,133) \text{ А} \end{aligned}$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{j}_e}{\bar{Z}_2} = \frac{71,086 - j228,175}{65} \approx (1,094 - j3,51) \approx 3,677e^{-j72,689^\circ} \text{ А}$$

$$\dot{I}_3 = \frac{j_e - \bar{E}''_3}{\bar{Z}_3} = \frac{71,086 - j228,175 - (128,17 - j152,75)}{24,01e^{j90^\circ}} = \frac{-57,084 - j75,425}{24,01e^{j90^\circ}} \approx$$

$$\approx 3,939e^{-j217,12^\circ} \approx (-3,142 + j2,378), A$$

Правильность расчета можно проверить, если найденные значения токов подставить в уравнения, составленные по первому и второму законам Кирхгофа. Уравнения, составленные по законам Кирхгофа для данной схемы, имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0 \\ \dot{I}_1 \bar{Z}_1 - \dot{I}_2 \bar{Z}_2 = -\dot{E}'_1 \\ \dot{I}_2 \bar{Z}_2 - \dot{I}_3 \bar{Z}_3 = \dot{E}''_3 \end{cases}$$

Проверим первое уравнение системы:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

$$(2,047 + j1,133) + (1,094 - j3,51) + (-3,142 + j2,378) \approx 0$$

$$(-0,001 + j0,001) \approx 0$$

Проверим второе уравнение системы:

$$\dot{I}_1 \bar{Z}_1 - \dot{I}_2 \bar{Z}_2 = -\dot{E}'_1$$

$$(2,047 + j1,133) \cdot (-j62,74) - (1,094 - j3,51) \cdot 65 \approx -(-j99,7)$$

$$-j128,429 + 71,084 - 71,11 + j228,15 \approx j99,7$$

$$-0,026 + j99,721 \approx j99,7$$

Проверим третье уравнение системы:

$$\dot{I}_2 \bar{Z}_2 - \dot{I}_3 \bar{Z}_3 = \dot{E}''_3$$

$$(1,094 - j3,51) \cdot 65 - (-3,142 + j2,378) \cdot j24,01 \approx (128,17 - j152,75)$$

$$71,11 - j228,15 + j75,44 + 51,1 \approx (128,17 - j152,75)$$

$$(128,21 - j152,71) \approx (128,17 - j152,75)$$

Как видно, все уравнения дают тождества, а небольшие неточности обусловлены округлением величин при вычислениях.

4.2.2 Построение топографической диаграммы

Примем потенциал точки а равным нулю ($\varphi_a=0$). Найдем потенциалы других точек схемы:

$$\dot{j}_a = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{j}_k = \dot{j}_e = \dot{j}_a + (-jX_{C1}) \dot{I}_1 &= 0 + (-j68,9) \cdot (2,047 + j1,133) \approx \\ &\approx (78,064 - j141,038), B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{j}_m = \dot{j}_k - jX_{L3} \dot{I}_3 &= (78,064 - j141,038) - j47,94 \cdot (-3,142 + j2,378) \approx \\ &\approx (192,065 + j9,589), B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{j}_h = \dot{j}_m - \dot{E}_3'' &= (192,065 + j9,589) - (128,17 - j152,75) = \\ &= (63,895 + j162,339), B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{j}_d = \dot{j}_b = \dot{j}_e - R_2 \dot{I}_2 &= (78,064 - j141,038) - 65 \cdot (1,094 - j3,51) = \\ &= (6,954 + j87,112), B \end{aligned}$$

$$\dot{j}_f = \dot{j}_a - \dot{E}_1'' = 0 - (-j99,7) = j99,7, B$$

Теперь построим топографическую диаграмму комплексных потенциалов точек схемы, совмещенную с векторной диаграммой токов (рис. 4.8).

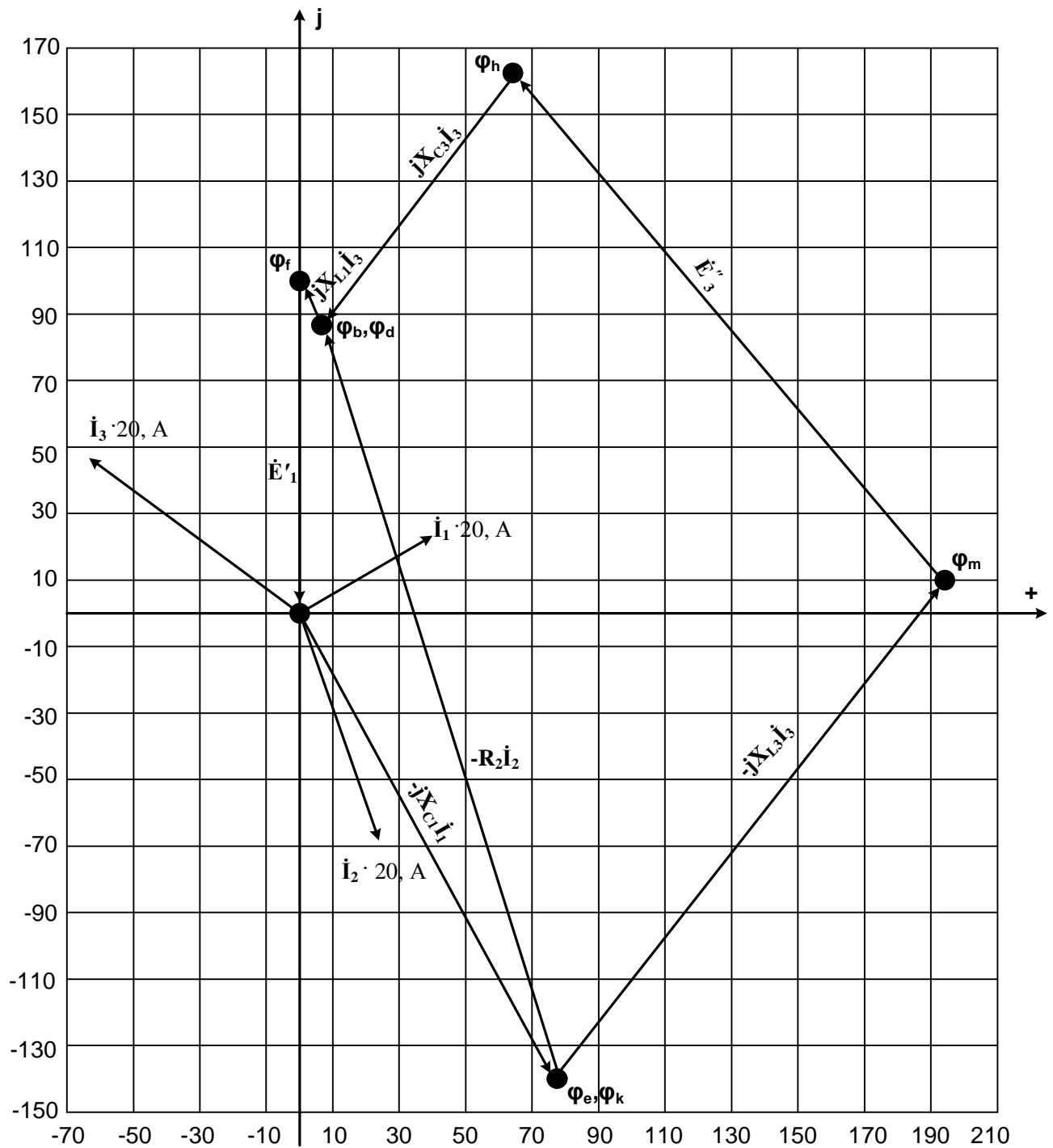


Рис. 4.8

4.2.3 Расчет баланса активных и реактивных мощностей

Найдем сопряженные комплексы токов:

$$I_1^* = (2,047 - j1,133) = 2,34e^{-j28,956^\circ}, A$$

$$I_2^* = (1,094 + j3,51) = 3,677e^{j72,689^\circ}, A$$

$$I_3^* = (-3,142 - j2,378) = 3,939e^{j217,12^\circ}, A$$

Найдем полную суммарную мощность источников:

$$\begin{aligned} \tilde{S} &= -\dot{E}_1' I_1^* - \dot{E}_3'' I_3^* = -99,7e^{-j90^\circ} \cdot 2,34e^{28,956^\circ} - 199,4e^{-j50^\circ} \cdot 3,939e^{j217,12^\circ} \approx \\ &\approx 233,298e^{j61,044^\circ} - 785,437e^{j167,12^\circ} \approx 112,95 + j204,134 + 765,67 - j175,082 = \\ &= (878,62 + j29,052), BA \end{aligned}$$

Суммарная активная мощность источников:

$$\sum P_{уст} = \operatorname{Re}[\tilde{S}] = \operatorname{Re}[878,62 + j29,052] = 878,62, Bm$$

Суммарная активная мощность приемников:

$$\sum P_{np} = I_2^2 R_2 = 3,677^2 \cdot 65 \approx 878,821, Bm$$

Допускается расхождение баланса активных мощностей:

$$\Delta P = \frac{\sum P_{np} - \sum P_{уст}}{\sum P_{np}} \cdot 100\% = \frac{878,821 - 878,62}{878,821} \cdot 100\% \approx 0,023\% < 0,5\%$$

Суммарная реактивная мощность источников:

$$\sum Q_{уст} = \operatorname{Im}[\tilde{S}] = \operatorname{Im}[878,62 + j29,052] = 29,052, BAP$$

Суммарная реактивная мощность приемников:

$$\begin{aligned} \sum Q_{np} &= I_1^2 (X_{L1} - X_{C1}) + I_3^2 (X_{L3} - X_{C3}) = 2,34^2 \cdot (6,16 - 68,9) + \\ &+ 3,939^2 \cdot (47,94 - 23,93) \approx 28,993, BAP \end{aligned}$$

Допускается расхождение баланса реактивных мощностей:

$$\Delta Q = \frac{\sum Q_{uct} - \sum Q_{np}}{\sum Q_{uct}} \cdot 100\% = \frac{29,052 - 28,993}{29,052} \cdot 100\% \approx 0,2\% < 0,5\%$$

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

4.2.4 Моделирование схемы с помощью программы Electronics Workbench (EWB)

Для проверки результатов теоретических расчетов произведем моделирование исследуемой схемы методом физического моделирования. Соберем схему 4.7 в среде Electronics WorkBench.

Снимок с экрана компьютера с показаниями амперметров представлен на рис. 4.9.

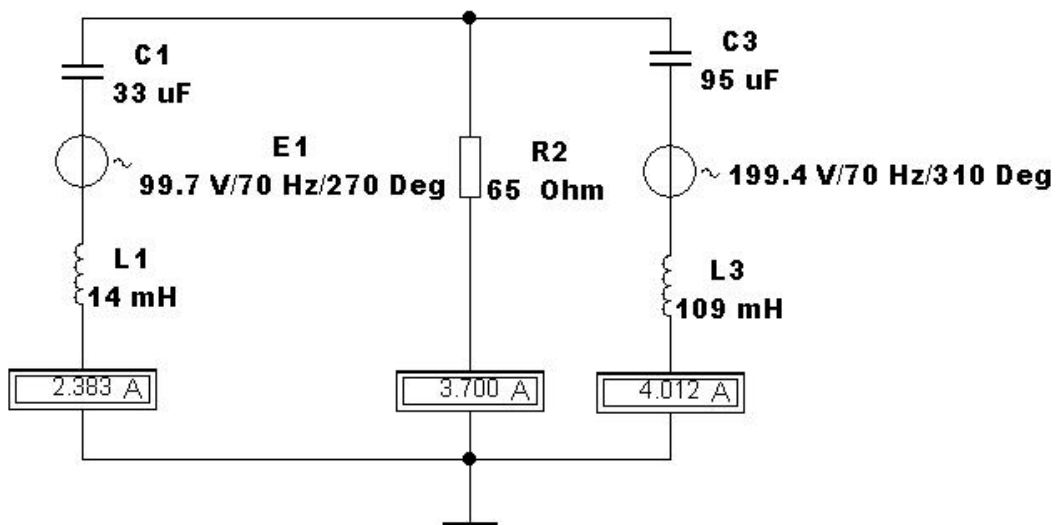


Рис. 4.9

Как видно из рис. 4.9 показания приборов с небольшой погрешностью совпадают с расчетными значениями.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

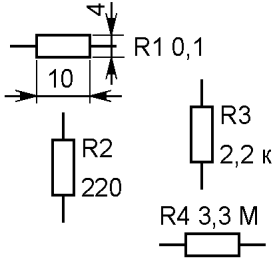
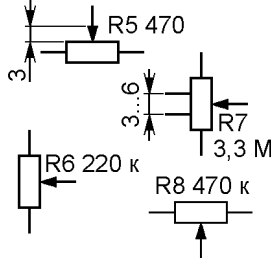
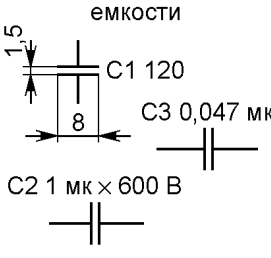
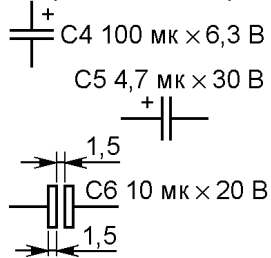
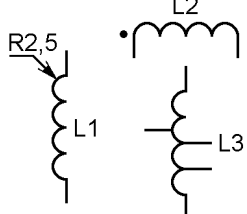
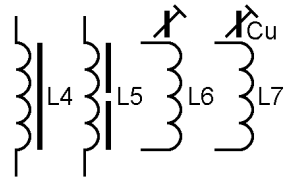
№, Вap.	E ₁ , В	E ₂ , В	E ₃ , В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом	R ₆ , Ом	R ₇ , Ом	R ₈ , Ом	R ₉ , Ом	R ₁₀ , Ом	R ₁₁ , Ом	R ₁₂ , Ом	Положение выключателей						
																S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
1	120	-	180	0,1	-	0,3	-	2	2,5	3	-	3	-	2	-	1	1	0	1	1	0	0
2	120	-	110	0,1	-	0,1	-	-	-	2	-	1	-	1,5	-	1	1	0	1	1	0	0
3	220	-	210	0,1	-	0,2	-	1	-	2,5	-	1,5	-	2	-	1	1	0	1	1	0	0
4	120	-	115	0,1	-	0,15	-	0,5	-	2	-	1	-	2	-	1	1	0	1	1	0	0
5	110	90	115	0,1	0,2	0,3	1,5	2	2,5	-	-	3	3	-	-	1	0	1	0	1	0	0
6	240	210	230	0,2	0,1	0,3	3	-	1,5	-	-	1	2	-	-	1	0	1	0	1	0	0
7	120	200	100	0,2	0,2	0,4	-	-	-	5	-	-	-	-	-	1	0	1	1	1	0	0
8	230	-	220	0,3	-	0,2	2	3	1,5	4	-	3	2	-	-	1	0	0	1	1	0	0
9	-	190	210	-	0,2	0,3	-	3,5	4	-	4	-	2,5	-	-	0	0	1	0	1	1	0
10	240	210	230	0,2	0,3	0,4	-	2,5	-	-	-	-	1	-	-	1	0	1	0	1	0	0
11	220	150	120	0,5	0,4	0,2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	0	1	1	1	0	0
12	100	-	120	0,2	-	0,3	4,5	-	-	3	-	2	-	3	-	1	1	0	1	1	0	0
13	230	-	220	0,1	-	0,3	3	2	4	6,5	-	2	3	-	-	1	0	0	1	1	0	0
14	150	-	100	0,2	-	0,3	2	5	2,5	3	-	2	1	5	-	1	1	0	1	1	0	0
15	-	190	210	-	0,4	0,2	-	7	3,5	-	1,5	-	3	-	-	0	0	1	0	1	1	0
16	400	200	150	0,4	0,2	0,1	-	-	-	5	-	-	-	-	3	1	0	1	1	1	0	1
17	230	-	215	0,1	-	0,1	3	3	3	-	-	0,5	3	4	-	1	1	0	0	1	0	0
18	220	150	120	0,2	0,4	0,2	-	-	-	-	3	-	-	-	-	1	0	1	0	1	1	0
19	230	-	210	0,1	-	0,1	1,5	2	2,5	-	-	3	3	3	-	1	1	0	0	1	0	0
20	80	60	100	0,5	0,3	0,3	8	6	-	-	-	-	-	-	8	1	0	1	0	1	0	1
21	150	230	130	0,2	0,2	0,4	-	2	-	3	-	-	-	-	-	1	0	1	1	1	0	0
22	220	190	210	0,2	0,3	0,4	8	2	2,5	3	-	6	4	-	-	1	0	1	1	1	0	0
23	80	120	100	0,3	0,4	0,5	5	3,5	-	-	-	-	-	-	5	1	0	1	0	1	0	1
24	200	400	120	0,2	0,4	0,3	-	-	-	1	-	3	-	-	-	1	0	1	1	1	0	0
25	120	110	80	0,4	0,2	0,2	6	3	-	4	-	-	-	-	2	1	0	1	0	1	0	1

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

№, Вар.	E ₁			E ₂			L ₁ , мГн	C ₁ , мкФ	L ₂ , мГн	C ₂ , мкФ	L ₃ , мГн	C ₃ , мкФ	R ₂ , Ом	Положение S ₁
	Амплитуда, В	f, Гц	φ, град.	Амплитуда, В	f, Гц	φ, град.								
1	141	50	0	120	50	0	12	88	47	-	68	25	25	1
2	141	50	30	282	60	30	25	32	82	-	12	8	25	1
3	141	60	60	141	50	30	32	10	35	-	32	90	10	1
4	282	60	90	282	75	0	45	36	12	-	19	82	20	1
5	141	60	120	141	60	60	18	72	52	-	42	12	30	1
6	282	50	240	230	50	45	24	12	38	-	34	56	5	1
7	282	50	0	282	75	0	15	18	56	-	74	24	35	1
8	282	50	60	141	75	60	75	38	75	-	36	81	15	1
9	141	75	30	230	60	45	100	54	43	-	22	98	17	1
10	141	75	60	282	50	0	83	28	12	-	35	78	40	1
11	141	50	240	282	75	30	56	75	62	-	27	8	45	1
12	141	80	0	230	60	60	48	64	22	-	18	2	22	1
13	141	60	0	141	75	0	26	36	-	35	72	43	50	2
14	282	75	0	180	50	45	74	28	-	15	42	68	42	2
15	211	50	30	282	60	30	92	24	-	10	51	85	12	2
16	211	60	45	180	75	60	38	64	-	40	16	34	26	2
17	141	90	65	150	80	0	43	68	-	38	38	10	32	2
18	220	75	120	150	60	45	64	19	-	42	44	73	8	2
19	230	45	10	282	80	30	73	34	-	14	38	68	54	2
20	211	60	100	141	50	0	81	65	-	26	52	36	75	2
21	150	75	130	230	75	60	34	29	-	32	38	60	18	2
22	220	90	210	150	60	30	52	44	-	48	19	46	38	2
23	180	60	100	141	50	0	22	72	-	7	39	14	70	2
24	200	40	120	230	75	60	36	38	-	28	62	15	64	2
25	120	60	80	180	80	45	72	66	-	44	12	63	26	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

<p style="text-align: center;">Резистор постоянный</p> 	<p style="text-align: center;">Резистор переменный</p> 	<p style="text-align: center;">Конденсатор постоянной емкости</p> 
<p style="text-align: center;">Конденсаторы оксидные полярный и неполярный</p> 	<p style="text-align: center;">Катушка индуктивности, дроссель (L3 – с отводами)</p> 	<p style="text-align: center;">Катушка, дроссель с магнитопроводом (L7 – с медным)</p> 

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стафеев А.В. Электротехника: учебное пособие. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. - с.:ил.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи. Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1978. – 528 с., ил.
3. Бессонов Л.А. сборник задач по теоретическим основам электротехники. - М.: Высшая школа, 2000. – 528 с., ил.
4. Прянишников В.А. Электротехника и ТОЭ в примерах и задачах. - М.: Высшая школа, 2003. – 336 с., ил.
5. Панфилов Д.И., Чепурин И.Н. и др. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench: В 2-х т./Под общей ред. Д.И.Панфилова. – М.: ДОДЭКА, 2000. – 288 с.
6. Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и её применение. – М.: Солон-Р, 2000. – 506 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СОСТАВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	4
2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА	4
2.1 Схема электрической цепи	4
2.2 Варианты заданий	5
3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	5
3.2 Варианты заданий	6
4. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТОВ	6
4.1 Линейная электрическая цепь постоянного тока.....	6
4.1.1 Система уравнений на основании законов Кирхгофа.....	7
4.1.2 Расчет методом контурных токов.....	8
4.1.3 Расчет методом узловых потенциалов (МУП)	10
4.1.4 Расчет баланса мощностей.....	12
4.1.5 Потенциальная диаграмма контура «CDmBAfn»	13
4.1.6 Моделирование схемы с помощью программы Electronics Workbench (EWB)	14
4.2 Линейная электрическая цепь переменного тока	15
4.2.1 Расчет методом узловых потенциалов	16
4.2.2 Построение топографической диаграммы.....	20
4.2.3 Расчет баланса активных и реактивных мощностей.....	21
4.2.4 Моделирование схемы с помощью программы Electronics Workbench (EWB)	23
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	26
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	27

Учебное издание

Стафеев Алексей Валерьевич

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания
к расчетно-графической работе

Издательство ДВГУПС
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47