

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Электротехника»

В. Г. ЧЕРНОМАШЕНЦЕВ, В. А. ПАЦКЕВИЧ, А. В. ВОРОНИН

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Учебно-методическое пособие
по выполнению расчетно-графических работ № 1, 2

Часть I

Под общей редакцией В. Г. Черномашенцева

Одобрено методической комиссией механического факультета

Гомель 2011

УДК 621.3(075.5)
ББК 31.2
Ч-49

Рецензент – зав. кафедрой
«Электрический подвижной состав»
канд. техн. наук, доцент *В. С. Могила* (УО «БелГУТ»)

Черномашенцев, В. Г.

Ч-49 Теоретические основы электротехники : учеб.-метод. пособие по выполнению расчетно-графических работ № 1, 2. В 2 ч. Ч. 1 / В. Г. Черномашенцев, В. А. Пацкевич, А. В. Воронин ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 28 с.
ISBN 978-985-468-902-9 (ч. I)

Даны задания с методическими указаниями для самостоятельной работы студентов при выполнении расчетно-графических работ по расчету электрических цепей постоянного и синусоидального тока по курсу «Теоретические основы электротехники».

Предназначено для студентов специальности «Тяговый состав железнодорожного транспорта (тепловозы)».

УДК 621.3(075.5)
ББК 31.2

ISBN 978-985-468-902-9 (ч. I)
ISBN 978-985-468-901-2

© Черномашенцев В. Г., Пацкевич В. А.,
Воронин А. В., 2011
© Оформление. УО «БелГУТ», 2011

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Расчетно-графические работы (РГР) являются составной и наиболее важной частью обязательных работ, выполняемых студентами при изучении курса «Теоретические основы электротехники». В соответствии с действующими учебными планами студенты дневной формы обучения специальности «Тяговый состав железнодорожного транспорта (тепловозы)» изучают две части курса ТОЭ и должны выполнить четыре расчетно-графические работы (по две в семестре). Целью выполнения указанных работ является закрепление студентами теоретических знаний, полученных при изучении курса ТОЭ, освоение методов анализа электрических цепей.

Данное учебно-методическое пособие включает в себя задания и методики выполнения расчетно-графических работ № 1 и 2. Тематика РГР № 1 – расчет линейной электрической цепи постоянного тока, а РГР № 2 – расчет однофазной цепи синусоидального тока. Задание на выполнение РГР выдается преподавателем. Номер варианта каждой работы состоит из трех цифр, первая из которых указывает номер расчетной схемы, вторая – номер строки с числовыми данными по таблице 1, третья – то же, но по таблице 2.

При оформлении расчетно-графических работ надо соблюдать следующие требования:

- пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (210 × 297 мм);

- условные обозначения элементов электрических схем необходимо изображать в соответствии с ГОСТ 2.721-68, ГОСТ 2.723-68, ГОСТ 2.730-73 и ГОСТ 2.728-74, используя чертежные инструменты;

- буквенные обозначения в тексте и схемах должны соответствовать ГОСТ 1.494-77;

- расчет производится в абсолютных единицах СИ;

- векторные диаграммы различных величин выполняются на миллиметровке;

- на первом листе расчетно-пояснительной записки в заданной последовательности приводятся: наименование расчетно-графической работы, вариант задания, схема электрической цепи, таблица численных значений параметров схемы, программа расчета.

Рисунки, графики, векторные диаграммы должны располагаться по тексту после соответствующих ссылок.

Для всех используемых в расчетах величин указывается их размерность.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР № 1 «РАСЧЕТ ЛИНЕЙНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА»

1.1 Метод расчета цепей по законам Кирхгофа

Существуют различные методы расчета линейных электрических цепей. В данном пособии рассматриваются кратко те из них, которые по заданию необходимо использовать в расчетно-графической работе. При этом применение указанных методов осуществляется на примере расчета электрической цепи, аналогичной задаваемым по РГР № 1.

Анализ любой сложной электрической цепи можно провести путем непосредственного применения первого и второго законов Кирхгофа. Рассмотрим применение законов Кирхгофа для определения токов ветвей схемы рисунка 1.1, считая, что параметры пассивных элементов и ЭДС источников известны.

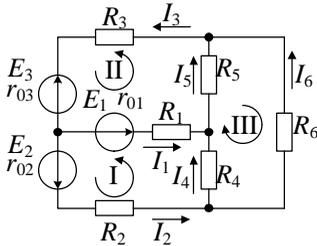


Рисунок 1.1

Прежде чем составлять уравнения по законам Кирхгофа, необходимо: а) произвольно выбрать положительные направления токов в ветвях и обозначить их на схеме; б) произвольно выбрать направления обхода контуров.

После этого составляем систему уравнений, в которой число уравнений должно быть равно числу неизвестных токов. При этом по первому закону Кирхгофа составляется $(n-1)$, а по второму $b-(n-1)$ уравнений, где n – число узлов, b – число ветвей схемы. Количество уравнений по второму закону Кирхгофа всегда должно быть равно количеству независимых контуров. Для рассматриваемой схемы $b = 6$, $n = 4$, система уравнений имеет вид:

где n – число узлов, b – число ветвей схемы. Количество уравнений по второму закону Кирхгофа всегда должно быть равно количеству независимых контуров. Для рассматриваемой схемы $b = 6$, $n = 4$, система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_5 + I_6 - I_3 = 0 \\ I_1 + I_4 - I_5 = 0 \\ I_1(r_{01} + R_1) + I_3(r_{03} + R_3) + I_5R_5 = E_1 - E_3 \\ -I_1(r_{01} + R_1) + I_2(r_{02} + R_2) + I_4R_4 = E_2 - E_1 \\ I_4R_4 + I_5R_5 - I_6R_6 = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

Решая полученную систему, можно найти шесть неизвестных токов. Если в результате решения получатся отрицательные значения токов, то это означает, что истинные направления их в ветвях противоположны предварительно заданным. Данный метод расчета линейных электрических цепей имеет недостаток – сложность расчета при значительном числе неизвестных токов.

1.2 Метод контурных токов

При расчете электрических цепей методом контурных токов полагают, что в каждом независимом контуре заданной цепи протекает свой собственный контурный ток, направление которого выбирается произвольно. В отличие от токов ветвей контурные токи имеют индексы, обозначенные двумя одинаковыми цифрами. Для указанных контурных токов составляется система уравнений по второму закону Кирхгофа. В данных уравнениях ЭДС входят со знаком плюс, если их направления и направление тока контура совпадают. Решение системы определяет все контурные токи, а по ним вычисляются значения действительных токов ветвей.

Рассмотрим использование метода контурных токов для расчета электрической цепи (рисунок 1.2).

Пусть в данной цепи имеем:

$$E_1 = 10 \text{ В}; E_2 = 18 \text{ В}; E_3 = 8 \text{ В}; r_{01} = 0,1 \text{ Ом};$$

$$r_{02} = 0,4 \text{ Ом}; r_{03} = 0,5 \text{ Ом}; R_1 = 0,9 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_3 = R_4 = 2 \text{ Ом}; R_5 = 5 \text{ Ом}; R_6 = 3 \text{ Ом}.$$

Для схемы рисунка 1.2 составляем систему уравнений:

$$\begin{cases} I_{11}(r_{01} + R_1 + R_3 + r_{03} + R_5) + I_{22}(r_{01} + R_1) - I_{33}R_5 = E_3 - E_1 \\ I_{11}(r_{01} + R_1) + I_{22}(r_{02} + R_2 + R_4 + r_{01} + R_1) + I_{33}R_4 = E_2 - E_1 \\ -I_{11}R_5 + I_{22}R_4 + I_{33}(R_4 + R_5 + R_6) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 8,5I_{11} + I_{22} - 5I_{33} = -2 \\ I_{11} + 5,4I_{22} + 2I_{33} = 8 \\ -5I_{11}r_5 + 2I_{22} + 10I_{33} = 0 \end{cases}$$

Полученную систему решаем, используя определители:

$$I_{11} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta}; \quad I_{22} = \frac{\Delta_{22}}{\Delta}; \quad I_{33} = \frac{\Delta_{33}}{\Delta},$$

где Δ – определитель матрицы сопротивлений,

$$\Delta = \begin{vmatrix} 8,5 & 1 & -5 \\ 1 & 5,4 & 2 \\ -5 & 2 & 10 \end{vmatrix} = 260.$$

Рассчитываем определители Δ_{11} , Δ_{22} и Δ_{33} :

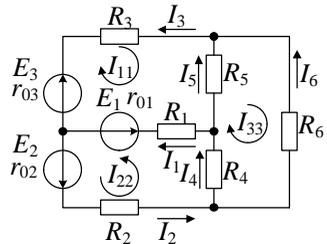


Рисунок 1.2

$$\Delta_{11} = \begin{vmatrix} -2 & 1 & -5 \\ 8 & 5,4 & 2 \\ 0 & 2 & 10 \end{vmatrix} = -260,$$

$$\Delta_{22} = \begin{vmatrix} 8,5 & -2 & -5 \\ 1 & 8 & 2 \\ -5 & 0 & 10 \end{vmatrix} = 520,$$

$$\Delta_{33} = \begin{vmatrix} 8,5 & 1 & -2 \\ 1 & 5,4 & 8 \\ -5 & 2 & 0 \end{vmatrix} = 234.$$

Контурные токи $I_{11} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} = \frac{-260}{260} = -1$ А, $I_{22} = \frac{\Delta_{22}}{\Delta} = \frac{520}{260} = 2$ А,

$$I_{33} = \frac{\Delta_{33}}{\Delta} = \frac{-234}{260} = -0,9$$
 А.

Определяем действительные токи внешних ветвей:

$$I_3 = -I_{11} = 1$$
 А; $I_2 = I_{22} = 2$ А; $I_6 = -I_{33} = 0,9$ А.

Токи смежных ветвей определяются путем алгебраического суммирования контурных токов:

$$I_1 = I_{22} + I_{11} = 2 + (-1) = 1$$
 А;

$$I_5 = I_{11} - I_{33} = -1 - (-0,9) = -0,1$$
 А;

$$I_4 = I_{22} + I_{33} = 2 + (-0,9) = 1,1$$
 А.

1.3 Метод двух узлов

Рассматриваемый метод расчета целесообразно применять к схеме, имеющей несколько параллельных ветвей, сходящихся в двух узловых точках, а также к электрическим цепям, которые в результате несложных преобразований могут быть приведены к схеме с двумя узлами. Для использования указанного метода при расчете электрической цепи (рисунок 1.3) необходимо заменить треугольник сопротивлений R_4 , R_5 и R_6 эквивалентной звездой R_a , R_e и R_f .

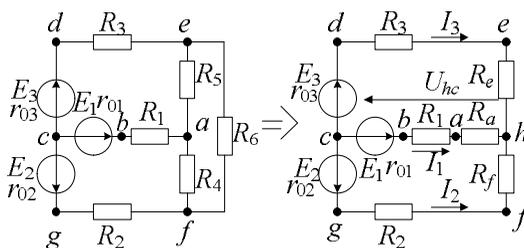


Рисунок 1.3

При этом

$$R_a = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_e = \frac{R_5 R_6}{R_4 + R_5 + R_6}; \quad R_f = \frac{R_4 R_6}{R_4 + R_5 + R_6}.$$

Если требуется осуществить обратный переход от трехлучевой звезды к эквивалентному треугольнику, то сопротивления выражаются так:

$$R_4 = R_f + R_a + \frac{R_f R_a}{R_e}; \quad R_5 = R_e + R_a + \frac{R_e R_a}{R_f}; \quad R_6 = R_e + R_f + \frac{R_e R_f}{R_a}.$$

Отметим, что указанные преобразования могут быть применены только в тех случаях, когда в замкнутом треугольнике сопротивлений или в трехлучевой звезде отсутствуют источники энергии (ЭДС).

Для расчета электрической цепи методом узлового напряжения примем направления токов во всех ветвях одинаковыми – от узла c к узлу h . Тогда узловое напряжение U_{hc} между точками h и c

$$U_{hc} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k G_k}{\sum_{k=1}^n G_k} = \frac{\frac{E_3}{r_{03} + R_3 + R_e} + \frac{E_1}{r_{01} + R_1 + R_a} + \frac{E_2}{r_{02} + R_2 + R_f}}{\frac{1}{r_{03} + R_3 + R_e} + \frac{1}{r_{01} + R_1 + R_a} + \frac{1}{r_{02} + R_2 + R_f}},$$

где E_k и G_k – соответственно ЭДС и проводимость k -й ветви.

Произведение $E_k G_k$ следует брать со знаком минус, если направление ЭДС E_k противоположно принятому направлению тока.

Определив узловое напряжение U_{hc} , нетрудно найти значения токов в отдельных ветвях схемы:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{hc}}{r_{01} + R_1 + R_a}; \quad I_2 = \frac{E_2 - U_{hc}}{r_{02} + R_2 + R_f}; \quad I_3 = \frac{E_3 - U_{hc}}{r_{03} + R_3 + R_e}.$$

Проверка правильности расчета: $\sum I = 0$.

В рассматриваемой электрической цепи:

$E_1 = 10$ В; $E_2 = 18$ В; $E_3 = 8$ В; $r_{01} = 0,1$ Ом; $r_{02} = 0,4$ Ом; $r_{03} = 0,5$ Ом;
 $R_1 = 0,9$ Ом; $R_2 = R_3 = R_4 = 2$ Ом; $R_5 = 5$ Ом; $R_6 = 3$ Ом.

$$R_a = \frac{R_4 R_5}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{5 \cdot 2}{5 + 2 + 3} = 1 \text{ Ом};$$

$$R_e = \frac{R_5 R_6}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{5 \cdot 3}{5 + 2 + 3} = 1,5 \text{ Ом};$$

$$R_f = \frac{R_4 R_6}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{2 \cdot 3}{5 + 2 + 3} = 0,6 \text{ Ом}.$$

$$\begin{aligned}
 U_{hc} &= \frac{\frac{E_3}{r_{03} + R_3 + R_e} + \frac{E_1}{r_{01} + R_1 + R_a} + \frac{E_2}{r_{02} + R_2 + R_f}}{\frac{1}{r_{03} + R_3 + R_e} + \frac{1}{r_{01} + R_1 + R_a} + \frac{1}{r_{02} + R_2 + R_f}} = \\
 &= \frac{\frac{10}{0,1 + 0,9 + 0,1} + \frac{18}{0,4 + 2 + 0,6} + \frac{8}{0,5 + 2 + 1,5}}{\frac{1}{0,1 + 0,9 + 0,1} + \frac{1}{0,4 + 2 + 0,6} + \frac{1}{0,5 + 2 + 1,5}} = 12 \text{ В.} \\
 I_1 &= \frac{E_1 - U_{hc}}{r_{01} + R_1 + R_a} = \frac{10 - 12}{0,1 + 0,9 + 1} = -1 \text{ А;} \\
 I_2 &= \frac{E_2 - U_{hc}}{r_{02} + R_2 + R_f} = \frac{18 - 12}{0,4 + 2 + 0,6} = 2 \text{ А;} \\
 I_3 &= \frac{E_3 - U_{hc}}{r_{03} + R_3 + R_e} = \frac{8 - 12}{0,5 + 2 + 1,5} = -1 \text{ А;} \\
 \sum I &= (-1) + 2 + (-1) = 0.
 \end{aligned}$$

1.4 Метод наложения

Рассматриваемый метод расчета основан на принципе независимости действия электродвижущих сил. Согласно этому принципу токи, протекающие в цепи при наличии нескольких ЭДС, можно представить как алгебраическую сумму токов, вызываемых каждой из ЭДС в отдельности.

Расчет сложной цепи этим методом производят, полагая все ЭДС, кроме одной, равными нулю. При этом сохраняют неизменными все сопротивления цепи (включая сопротивление источника питания, ЭДС которого приравнена нулю) и определяют токи во всех ветвях.

Подобный расчет, производят столько раз, сколько ЭДС имеется в исследуемой цепи.

Для рассматриваемой электрической цепи (рисунок 1.4):

$$\begin{aligned}
 I_3' &= \frac{E_3}{r_{03} + R_3 + R_e + \frac{(r_{01} + R_1 + R_a)(r_{02} + R_2 + R_f)}{r_{01} + R_1 + R_a + r_{02} + R_2 + R_f}} = \\
 &= \frac{8}{0,5 + 2 + 1,5 + \frac{(0,1 + 0,9 + 1)(0,4 + 2 + 0,6)}{0,1 + 0,9 + 1 + 0,4 + 2 + 0,6}} = 1 \frac{7}{13} \text{ А;}
 \end{aligned}$$

$$I_1' = I_3' \frac{r_{02} + R_2 + R_f}{r_{01} + R_1 + R_a + r_{02} + R_2 + R_f} = 1 \frac{7}{13} \cdot \frac{0,4 + 2 + 0,6}{0,1 + 0,9 + 1 + 0,4 + 2 + 0,6} = \frac{24}{26} \text{ A};$$

$$I_2' = I_3' \frac{r_{01} + R_1 + R_a}{r_{01} + R_1 + R_a + r_{02} + R_2 + R_f} = 1 \frac{7}{13} \cdot \frac{0,1 + 0,9 + 1}{0,1 + 0,9 + 1 + 0,4 + 2 + 0,6} = \frac{16}{26} \text{ A};$$

$$I_2'' = \frac{E_2}{r_{02} + R_2 + R_f + \frac{(r_{01} + R_1 + R_a)(r_{03} + R_3 + R_e)}{r_{01} + R_1 + R_a + r_{03} + R_3 + R_e}} =$$

$$= \frac{18}{0,4 + 2 + 0,6 + \frac{(0,1 + 0,9 + 1)(0,5 + 2 + 1,5)}{0,1 + 0,9 + 1 + 0,5 + 2 + 1,5}} = 4 \frac{2}{13} \text{ A};$$

$$I_1'' = I_2'' \frac{r_{03} + R_3 + R_e}{r_{01} + R_1 + R_a + r_{03} + R_3 + R_e} = 4 \frac{2}{13} \cdot \frac{0,5 + 2 + 1,5}{0,1 + 0,9 + 1 + 0,5 + 2 + 1,5} = 2 \frac{10}{13} \text{ A};$$

$$I_3'' = I_2'' - I_1'' = 4 \frac{2}{13} - 2 \frac{10}{13} = 1 \frac{5}{13} \text{ A};$$

$$I_1''' = \frac{E_1}{r_{01} + R_1 + R_a + \frac{(r_{03} + R_3 + R_e)(r_{02} + R_2 + R_f)}{r_{03} + R_3 + R_e + r_{02} + R_2 + R_f}} =$$

$$= \frac{10}{0,1 + 0,9 + 1,0 + \frac{(0,5 + 2 + 1,5)(0,4 + 2 + 0,6)}{0,5 + 2 + 1,5 + 0,4 + 2 + 0,6}} = 2 \frac{18}{26} \text{ A};$$

$$I_3''' = I_1''' \frac{r_{02} + R_2 + R_f}{r_{02} + R_2 + R_f + r_{03} + R_3 + R_e} = 2 \frac{18}{26} \cdot \frac{0,4 + 2 + 0,6}{0,4 + 2 + 0,6 + 0,5 + 2 + 1,5} = 1 \frac{4}{26} \text{ A};$$

$$I_2''' = I_1''' - I_3''' = 2 \frac{18}{26} - 1 \frac{4}{26} = 1 \frac{14}{26} \text{ A}.$$

Действительные токи в ветвях исходной схемы определяются как сумма найденных частичных токов. При суммировании следует учитывать направления последних:

$$I_1 = I_1' + I_1'' - I_1''' = \frac{24}{26} + 2 \frac{10}{13} - 2 \frac{18}{26} = 1 \text{ A};$$

$$I_2 = I_2'' - I_2' - I_2''' = 4 \frac{2}{13} - \frac{16}{26} - 1 \frac{14}{26} = 2 \text{ A};$$

$$I_3 = I_3'' + I_3''' - I_3' = 1 \frac{10}{26} + 1 \frac{4}{26} - 1 \frac{14}{26} = 1 \text{ A}.$$

Следует указать, что метод наложения применим только к электрическим цепям, где сопротивления не зависят от протекающих по ним токов (такие сопротивления называются линейными).

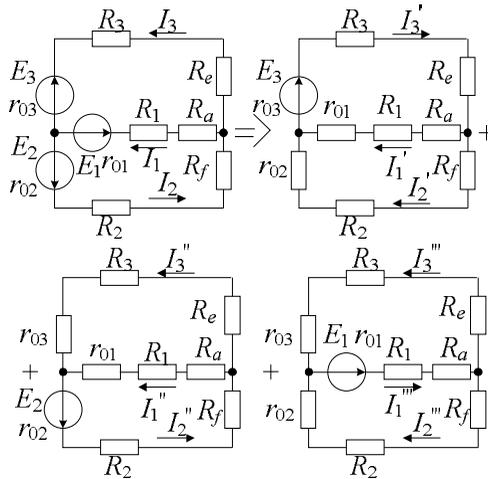


Рисунок 1.4

1.5 Энергетический баланс в электрической цепи. Показания приборов

Если направление тока I , протекающего через источник ЭДС E , совпадает с направлением ЭДС, то этот источник поставляет (генерирует) в цепь мощность и произведение EI в уравнение энергетического баланса входит с положительным знаком. В случае, когда направление тока I встречно направлению ЭДС E , то источник ЭДС потребляет мощность (например, заряжается аккумулятор) и произведение EI в указанном уравнении пишется с отрицательным знаком.

Уравнение энергетического баланса при питании только от источников ЭДС имеет вид:

$$\sum EI = \sum I^2 R,$$

где $\sum EI$ – мощность активных элементов цепи; $\sum I^2 R$ – мощность пассивных приемников электрической энергии.

Правильность расчета токов в ветвях электрической схемы может быть проверена с помощью уравнения баланса мощностей источников и приемников электрической энергии. Для рассматриваемой схемы (рисунок 1.5):

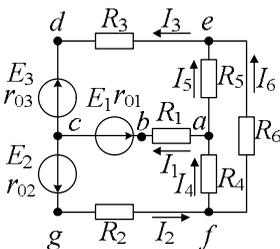


Рисунок 1.5

$$E_1 = 10 \text{ В}; E_2 = 18 \text{ В}; E_3 = 8 \text{ В}; r_{01} = 0,1 \text{ Ом};$$

$$r_{02} = 0,4 \text{ Ом}; r_{03} = 0,5 \text{ Ом}; R_1 = 0,9 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_3 = R_4 = 2 \text{ Ом}; R_5 = 5 \text{ Ом}; R_6 = 3 \text{ Ом};$$

$$I_1 = 1 \text{ А}; I_2 = 2 \text{ А}; I_3 = 1 \text{ А}; I_4 = 1,1 \text{ А};$$

$$I_5 = 0,9 \text{ А}; I_6 = 0,1 \text{ А}.$$

$$\sum EI = \sum I^2 R.$$

$$\begin{aligned} E_2 I_2 - E_1 I_1 - E_3 I_3 &= I_1^2 (r_{01} + R_1) + I_2^2 (r_{02} + R_2) + I_3^2 (r_{03} + R_3) + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 + I_6^2 R_6 = \\ &= 18 \cdot 2 - 10 \cdot 1 - 8 \cdot 1 = 1^2 (0,1 + 0,9) + 2^2 (0,4 + 2) + 1^2 (0,5 + 2) + 1,1^2 \cdot 2 + 0,1^2 \cdot 5 + 0,9^2 \cdot 3. \\ 18 &= 18. \end{aligned}$$

1.6 Потенциальная диаграмма

График распределения потенциала вдоль какого-либо замкнутого контура или участка электрической цепи в функции сопротивления называют потенциальной диаграммой. По оси абсцисс на ней в определенном масштабе откладывают значения сопротивлений в той последовательности, в какой они следуют при обходе рассматриваемого контура, а по оси ординат – потенциалы. Каждой точке участка цепи или замкнутого контура соответствует своя точка на потенциальной диаграмме.

В расчетно-графической работе № 1 диаграмма строится для внешнего контура, при этом по условию задания $\varphi_a = 0$ (точка a заземлена). Следовательно, необходимо выразить потенциал любой ближней точки (e или f) через потенциал точки a , а затем последовательно определить потенциалы других точек.

Для схемы на рисунке 1.6 $\varphi_f > \varphi_a$ на $I_4 R_4$, поэтому $\varphi_f = \varphi_a + I_4 R_4 = 0 + 1,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ В}$.

Потенциалы остальных точек:

$$\varphi_e = \varphi_f - I_6 R_6 = 2,2 - 0,9 \cdot 3 = -0,5 \text{ В};$$

$$\varphi_d = \varphi_e - I_3 R_3 = -0,5 - 1 \cdot 2 = -2,5 \text{ В};$$

$$\varphi_c = \varphi_d - E_3 - I_3 r_{03} = -2,5 - 8 - 1 \cdot 0,5 = -11 \text{ В};$$

$$\varphi_g = \varphi_c + E_2 - I_2 r_{02} = -11 + 18 - 2 \cdot 0,4 = 6,2 \text{ В};$$

$$\varphi_f = \varphi_g - I_2 R_2 = 6,2 - 2 \cdot 2 = 2,2 \text{ В}.$$

На основе полученных данных строится потенциальная диаграмма (рисунок 1.7).

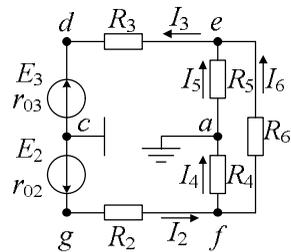


Рисунок 1.6

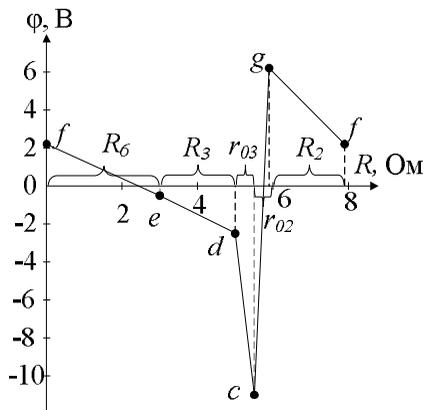


Рисунок 1.7

Результаты расчетов заносят в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты расчета

Методы расчета	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6
	A					
Контурных токов						
Напряжения между двумя узлами				–	–	–
Наложения				–	–	–

1.7 Задание на выполнение РГР № 1

«Расчет линейной электрической цепи постоянного тока»

- 1 Начертить схему заданного варианта (рисунок 1.8).
- 2 Составить систему уравнений, необходимых для определения токов, по первому и второму законам Кирхгофа.
- 3 Определить все токи, пользуясь методом контурных токов.
- 4 Проверить правильность решения, применив метод узлового напряжения и метод наложения.

Предварительно необходимо упростить схему, заменив треугольник сопротивлений R_4, R_5, R_6 эквивалентной звездой. Начертить расчетную схему с эквивалентной звездой и показать на ней токи.

5 По результатам расчетов на схеме пункта 1 пунктиром нанести действительные направления токов и указать, какие активные элементы генерируют электроэнергию, а какие её потребляют.

6 Составить баланс мощностей с учетом режимов работы активных элементов.

7 Построить в масштабе потенциальную диаграмму для внешнего контура, приняв потенциал точки a равным нулю (точка a заземлена).

8 Привести таблицу результатов расчета.

Исходные данные приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

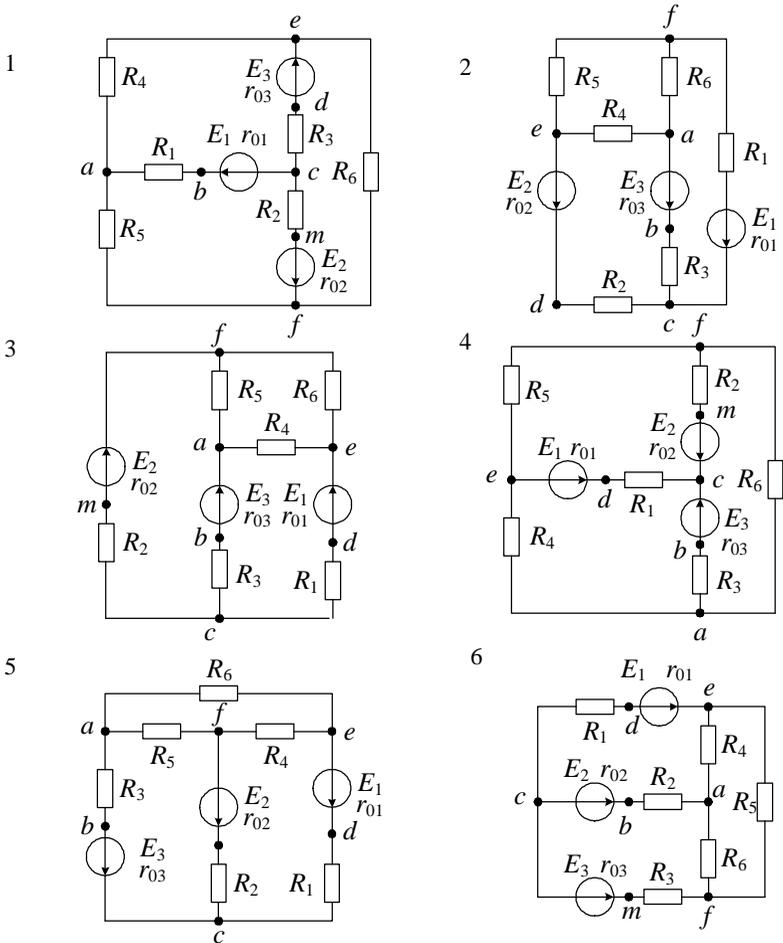


Рисунок 1.8 (начало)

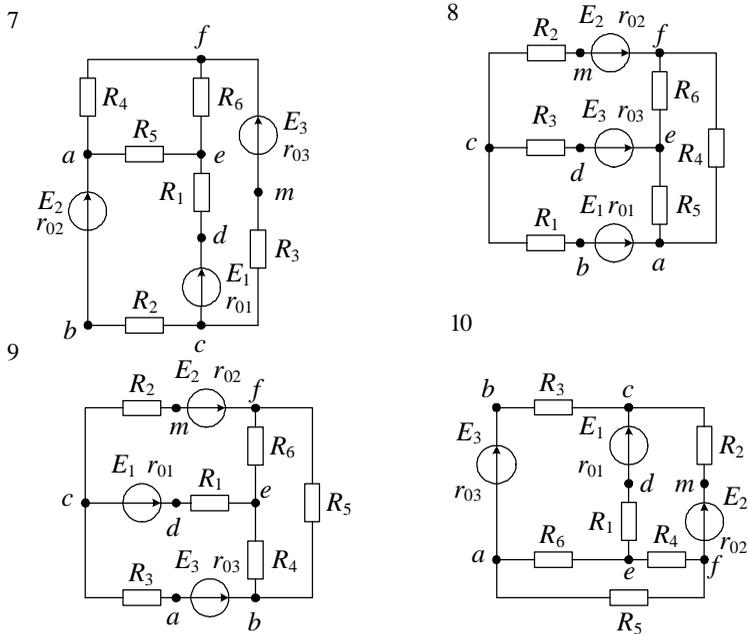


Рисунок 1.8 (окончание)

Таблица 1.2 – Значения ЭДС источников

Номер варианта	E_1	E_2	E_3
		В	
1	30	54	24
2	10	9	20
3	27	30	60
4	4	21	14
5	63	12	42
6	4	18	9
7	12	54	27
8	8	9	24
9	18	28	32
10	30	16	20

Таблица 1.3 – Значения сопротивлений

Номер варианта	r_1	r_{01}	r_2	r_{02}	r_3	r_{03}	r_4	r_5	r_6
	Ом								
1	1	0,2	1	0,3	3	0,4	6	3	1
2	3	0,6	2,4	0,6	1	0,2	4	1	5
3	3	0,2	0,8	0,2	1	0,1	2	2	6
4	1,9	0,1	2,2	0,3	1,3	0,2	4	4	2
5	1,4	0,1	2,8	0,2	6	0,5	4	3	3
6	6,7	0,3	2,1	0,4	3,6	0,4	8	1	1
7	3	0,5	3,2	0,3	2	0,5	8	2	10
8	2	0,4	2,4	0,1	4	0,5	6	2	12
9	1,2	0,3	2,8	0,2	2	0,5	2	10	4
10	4	0,5	2	0,5	2,5	0,5	5	10	12

1.8 Контрольные вопросы к защите РГР № 1

1 Напишите аналитическое выражение первого закона Кирхгофа для цепи постоянного тока и дайте ему пояснения.

2 Напишите аналитическое выражение второго закона Кирхгофа для цепи постоянного тока и дайте ему пояснения.

3 Какое количество уравнений составляют по первому и второму законам Кирхгофа для определения токов в ветвях электрической цепи?

4 Какой недостаток характерен для метода расчета электрических цепей по законам Кирхгофа?

5 Поясните сущность метода контурных токов.

6 Дайте определение независимого контура электрической цепи.

7 В чем преимущество метода контурных токов по сравнению с другими методами расчета электрических цепей?

8 Использование метода наложения для расчета электрических цепей.

9 К расчету каких электрических цепей применим метод наложения?

10 Какое количество частичных схем формируют при расчете электрической цепи методом наложения?

11 Напишите уравнение энергетического баланса электрической цепи и поясните его.

12 Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.

13 Преобразование звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник.

14 Поясните суть метода узлового напряжения.

15 Для расчета каких электрических цепей может быть использован метод узлового напряжения?

16 Потенциальная диаграмма и методика ее построения.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РГР № 2 «РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОЙ ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА»

2.1 Комплексные изображения синусоидальных функций времени

Комплексные изображения позволяют совместить простоту и наглядность векторных диаграмм с возможностью проведения точных аналитических расчетов.

Расчет линейных электрических схем синусоидального тока в установленном режиме аналогичен расчету электрических схем постоянного тока. В обоих случаях составляют систему алгебраических уравнений по методам, основанным на законах Ома и Кирхгофа.

Для схем постоянного тока уравнения составляют по действительным значениям напряжений, токов, сопротивлений и проводимостей. В схемах же гармонического тока для алгебраизации интегро-дифференциальных уравнений применяют комплексные величины: \underline{U} , \underline{E} , \underline{Z} и т. п. При этом все параметры записывают в виде комплексных чисел в одной из форм записи: алгебраической, показательной или тригонометрической. Выбор той или иной формы в каждом конкретном случае диктуется удобством осуществления нужной математической операции с комплексными числами: при суммировании и вычитании удобна алгебраическая форма, а при умножении и делении – показательная.

Напомним некоторые правила действия с комплексными числами, известные из математики и часто используемые при анализе цепей синусоидального тока. При суммировании комплексных чисел отдельно суммируются их действительные и мнимые составляющие.

Если $\underline{A} = a_1 + ja_2$, $\underline{B} = b_1 + jb_2$ и $\underline{C} = \underline{A} + \underline{B}$, то $\underline{C} = c_1 + jc_2$, где $c_1 = a_1 + b_1$ и $c_2 = a_2 + b_2$.

В случае умножения двух комплексных чисел их модули перемножают, а аргументы суммируют, следовательно, умножение удобно проводить в показательной форме записи. Если $\underline{A} = A e^{j\psi_a}$, $\underline{B} = B e^{j\psi_b}$ и $\underline{C} = \underline{A} \cdot \underline{B}$, то $\underline{C} = C e^{j\psi_c}$, где $C = AB$ и $\psi_c = \psi_a + \psi_b$.

При делении комплексных чисел их модули делят, а аргументы вычитают, т.е. если $\underline{C} = \frac{\underline{A}}{\underline{B}}$, то $\underline{C} = C e^{j\psi_c}$, где $C = \frac{A}{B}$ и $\psi_c = \psi_a - \psi_b$.

Комплексные числа \underline{A} и \underline{A}^* называются сопряженными, если их модули равны, а аргументы равны по абсолютной величине и противоположны по знаку: $\underline{A} = A e^{j\psi_a}$, $\underline{A}^* = A e^{-j\psi_a}$ – сопряженное комплексное число.

Итак, любую синусоидальную функцию можно однозначно изобразить вектором на комплексной плоскости, который, в свою очередь, может быть выражен соответствующим ему комплексным числом. Очевидно, это комплексное число является некоторым условным изображением исходной синусоидальной функции времени, поэтому метод расчета с помощью комплексных чисел называют символическим.

Например, пусть $u = 10 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$. Тогда комплексное изображение напряжения в показательной форме $\underline{U}_m = 10 e^{j\frac{\pi}{4}}$. Полученное комплексное число называют комплексной амплитудой, так как его модуль равен амплитуде изображаемой синусоиды.

Помимо комплексных амплитуд \underline{I}_m , \underline{U}_m , \underline{E}_m в расчетах широко используются комплексы действующих значений тока \underline{I} , напряжения \underline{U} и ЭДС \underline{E} , причем $\underline{I} = \frac{\underline{I}_m}{\sqrt{2}}$, $\underline{U} = \frac{\underline{U}_m}{\sqrt{2}}$, $\underline{E} = \frac{\underline{E}_m}{\sqrt{2}}$. Комплексы отмеченных действующих значений принято сокращенно называть «комплексный ток», «комплексное напряжение» и т. д.

При необходимости всегда можно осуществить переход от комплексной величины к ее мгновенному значению.

2.2 Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме для линейных цепей синусоидального тока

Формулы, выражающие законы Ома и Кирхгофа, идентичны для электрических цепей постоянного и переменного тока. Это позволяет использовать для расчета цепей синусоидального тока все методы расчета цепей постоянного тока, которые были рассмотрены в разд. 1.

Порядок расчета цепей остается тем же, что и при расчете цепей постоянного тока, но ЭДС, напряжение, токи и сопротивления следует рассматривать как комплексные величины и производить вычисления комплексным методом.

Математическое выражение закона Ома в общем виде

$$\underline{U}_k = \underline{I}_k \underline{Z}_k,$$

где \underline{U}_k – комплексное напряжение на зажимах k -й ветви;

\underline{I}_k и \underline{Z}_k – комплексные ток и сопротивление той же ветви,

$$\underline{Z}_k = r_k + jx_k = r_k + j\left(\omega L_k - \frac{1}{\omega C_k}\right) = z_k e^{j\varphi_k};$$

$z_k = \sqrt{r_k^2 + x_k^2}$ – модуль комплексного сопротивления или полное сопротивление;

$\varphi_k = \text{arctg} \frac{x_k}{r_k}$ – аргумент комплексного сопротивления k -й ветви или угол, на который ток \underline{I}_k отстает (опережает) от напряжения \underline{U}_k .

Закон Ома может быть записан в форме

$$\underline{I}_k = \underline{U}_k \underline{Y}_k,$$

где \underline{Y}_k – комплексная проводимость ветви k .

Для резистивного элемента $\underline{Z}_k = r_k = \frac{1}{g_k}$, $\underline{Y}_k = g_k = \frac{1}{r_k}$; для индуктивного – $\underline{Z}_k = j\omega L_k = jx_{Lk}$; $\underline{Y}_k = \frac{1}{j\omega L_k} = -jb_{Lk}$, а для емкостного – $\underline{Z}_k = \frac{1}{j\omega C_k} = -jx_{Ck}$; $\underline{Y}_k = j\omega C_k = jb_{Ck}$.

Если ветвь состоит только из одного резистивного элемента сопротивлением r_k , то $\varphi_k = 0$, если же содержит только индуктивный элемент (L_k), то $\varphi_k = \frac{\pi}{2}$, а если же емкостной (C_k), то $\varphi_k = -\frac{\pi}{2}$.

Законы Кирхгофа: первый – $\sum I_k = 0$, второй – $\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n I_k Z_k$.

2.3 Расчет линейной цепи синусоидального тока с одним источником питания

Рассмотрим указанный расчет на примере электрической цепи, аналогичной задаваемым по РГР № 2. Пусть электрическая цепь, схема замещения которой представлена на рисунке 2.1,

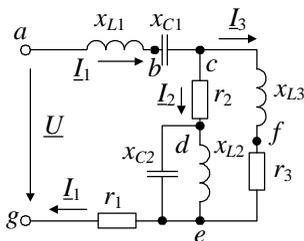


Рисунок 2.1

имеет: $U = 140$ В; $f = 50$ Гц; $r_1 = 4$ Ом; $x_{L1} = 6,0$ Ом; $x_{C1} = 3$ Ом; $r_2 = 4$ Ом; $x_{L2} = 16$ Ом; $x_{C2} = 10$ Ом; $r_3 = 10$ Ом; $x_{L3} = 10$ Ом.

Для расчета произвольно задаемся условно положительными направлениями напряжения и всех токов, после чего определяем комплексные сопротивления отдельных ветвей схемы:

$$\underline{Z}_{ac} = j(x_{L1} - x_{C1}) = j(6 - 3) = j3 = 3e^{j90^\circ} \text{ Ом.}$$

Параллельный участок de эквивалентен емкостному сопротивлению величиной $26,67$ Ом:

$$\underline{Z}_{\text{экв. д.е}} = \frac{j x_{L2} (-j x_{C2})}{j(x_{L2} - x_{C2})} = \frac{j16 \cdot (-j10)}{j(16-10)} = -j26 \frac{2}{3} = 26 \frac{2}{3} e^{-j90^\circ} \text{ Ом.}$$

$$\underline{Z}_2 = r_2 + \underline{Z}_{\text{экв. д.е}} = 4 - j26 \frac{2}{3} = 27 e^{-j81,5^\circ} \text{ Ом.}$$

$$\underline{Z}_3 = r_3 + j x_{L3} = 10 + j10 = 10\sqrt{2} e^{j45^\circ} \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_{\text{с.е}} = \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = \frac{27 e^{-j81,5^\circ} \cdot 10\sqrt{2} e^{j45^\circ}}{(4 - j26,67) + (10 + j10)} = \frac{382 e^{-j36,5^\circ}}{21,8 e^{-j50^\circ}} =$$

$$= 17,5 e^{j13,5^\circ} = 17 + j4,1 \text{ Ом;}$$

$$\underline{Z}_{\text{а.г}} = \underline{Z}_{\text{а.с}} + \underline{Z}_{\text{с.е}} + r_1 = j3 + (17 + j4,1) + 4 = 21 + j7,1 = 22 e^{j18,67^\circ} \text{ Ом.}$$

Определяем комплексный ток в неразветвленной части схемы:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{\text{а.г}}} = \frac{140}{22 e^{j18,67^\circ}} = 6,35 e^{-j18,67^\circ} \text{ А.}$$

Напряжение на параллельном участке:

$$\underline{U}_{\text{с.е}} = \underline{I}_1 \cdot \underline{Z}_{\text{с.е}} = 6,35 e^{-j18,67^\circ} \cdot 17,5 e^{j13,5^\circ} = 111 e^{-j5,17^\circ} \text{ В.}$$

Токи параллельных ветвей:

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 6,35 e^{-j18,67^\circ} \cdot \frac{10\sqrt{2} e^{j45^\circ}}{(4 - j26,67) + (10 + j10)} =$$

$$= \frac{89,5 e^{j26,33^\circ}}{21,8 e^{-j50^\circ}} = 4,1 e^{j76,33^\circ} \text{ А;}$$

$$\underline{I}_3 = \underline{I}_1 \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3} = 6,35 e^{-j18,67^\circ} \cdot \frac{27 e^{-j81,5^\circ}}{21,8 e^{-j50^\circ}} = 7,85 e^{-j50,17^\circ} \text{ А.}$$

2.4 Топографическая диаграмма

Каждая точка электрической схемы, в которой соединяются элементы, имеет свое значение комплексного потенциала.

Совокупность точек комплексной плоскости, изображающих комплексные потенциалы одноименных точек электрической схемы, называют топографической диаграммой. Топографическая диаграмма позволяет графически с помощью простейших геометрических построений определить комплексное напряжение на любом участке цепи. Это напряжение между двумя точками цепи определяется вектором, соединяющим эти точки на топографической диаграмме.

Для построения диаграммы необходимо задаться масштабами напряжения и тока и потенциал одной из точек рассматриваемой схемы (рисунок 2.1)

принять равным нулю (точка g), тогда данная точка расположится в начале координат диаграммы. При нахождении комплексных потенциалов других точек следует осуществить обход контура цепи в направлении, противоположном положительному направлению тока, или, как принято говорить, против тока. При таком обходе контура комплексный потенциал каждой последующей точки будет определяться как сумма комплексного потенциала предыдущей точки и падения напряжения на элементе, включенном между ними. В нашем случае для схемы рисунка 2.1 имеем:

$$\underline{\varphi}_g = 0 ;$$

$$\underline{\varphi}_e = \underline{\varphi}_g + \underline{I}_1 r_1 = 0 + 6,35 e^{-j18,67^\circ} \cdot 4 = 25,4 e^{-j18,67^\circ} = 24 - j8,1 \text{ В};$$

$$\begin{aligned} \underline{\varphi}_d = \underline{\varphi}_e + \underline{I}_2 \underline{Z}_{\text{экв. } de} &= 25,4 e^{-j18,67^\circ} + 4,1 e^{j76,33^\circ} \cdot 26,67 e^{-j90^\circ} = \\ &= 130 - j33,9 = 134 e^{-j14,67^\circ} \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\underline{\varphi}_f = \underline{\varphi}_e + \underline{I}_3 r_3 = 24 - j8,1 + 7,85 e^{-j50,17^\circ} \cdot 10 = 74,2 - j68,3 = 100,5 e^{-j42,67^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{\varphi}_c = \underline{\varphi}_d + \underline{I}_2 r_2 = 130 - j33,9 + 4,1 e^{j76,33^\circ} \cdot 4 = 134 - j18 = 135 e^{-j7,67^\circ} \text{ В};$$

$$\begin{aligned} \underline{\varphi}_b = \underline{\varphi}_c + \underline{I}_1 (-j x_{C1}) &= 134 - j18 + 6,35 e^{-j18,67^\circ} \cdot 3 e^{-j90^\circ} = 128 - j36,1 = \\ &= 134 e^{-j15,67^\circ} \text{ В}; \end{aligned}$$

$$\underline{\varphi}_a = \underline{\varphi}_b + \underline{I}_1 (+j x_{L1}) = 128 - j36,1 + 6,35 e^{-j18,67^\circ} \cdot 6 e^{j90^\circ} = 140 \text{ В}.$$

На основе полученных данных для рассматриваемой цепи построена топографическая диаграмма (рисунок 2.2). На диаграмме $\underline{U}_{r1} = \underline{U}_{eg}$; $\underline{U}_{r3} = \underline{U}_{fg}$; $\underline{U}_{c1} = \underline{U}_{bc}$; $\underline{U}_{L1} = \underline{U}_{ab}$; $\underline{U}_{c2} = \underline{U}_{de}$; $\underline{U}_{r2} = \underline{U}_{cd}$.

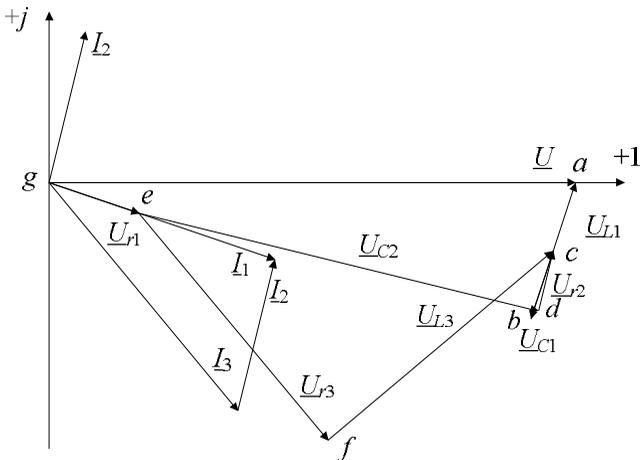


Рисунок 2.2

2.5 Мгновенные значения напряжений и токов отдельных ветвей схемы

Мгновенные значения напряжений и токов отдельных ветвей схемы определяются на основании соответствующих комплексных величин.

Так как при расчете электрической схемы (см. рисунок 2.1) получили:

$$\underline{I}_1 = 6,35 e^{-j18,67^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_2 = 4,1 e^{j76,33^\circ} \text{ A};$$

$$\underline{I}_3 = 7,85 e^{-j50,17^\circ} \text{ A},$$

$$\text{то } i_1 = 6,35 \sqrt{2} \sin(314 t - 18,67^\circ) \text{ A};$$

$$i_2 = 4,1 \sqrt{2} \sin(314 t + 76,33^\circ) \text{ A};$$

$$i_3 = 7,85 \sqrt{2} \sin(314 t - 50,17^\circ) \text{ A}.$$

Определяем комплексные напряжения ветвей рассматриваемой схемы:

$$\underline{U}_{ac} = \underline{\Phi}_a - \underline{\Phi}_c = 140 - (134 - j18) = 6 + j18 = 19 e^{j71,58^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{ce} = \underline{\Phi}_c - \underline{\Phi}_e = 134 - j18 - (24 - j8,1) = 110 - j9,9 = 110 e^{-j5,2^\circ} \text{ В};$$

$$\underline{U}_{eg} = \underline{\Phi}_e - \underline{\Phi}_g = 24 - j8,1 - 0 = 24 - j8,1 = 25,4 e^{-j18,67^\circ} \text{ В}.$$

Мгновенные значения соответствующих напряжений:

$$u_{ac} = 19 \sqrt{2} \sin(314 t + 71,58^\circ) \text{ В};$$

$$u_{ce} = 110 \sqrt{2} \sin(314 t - 5,2^\circ) \text{ В};$$

$$u_{eg} = 25,4 \sqrt{2} \sin(314 t - 18,67^\circ) \text{ В}.$$

2.6 Баланс мощностей

Баланс мощностей записывается в комплексной форме $\underline{S}_n = \sum \underline{S}_n$, где \underline{S}_n – комплексная мощность источника, а $\sum \underline{S}_n$ – сумма комплексных мощностей всех приемников.

Для схемы на рисунке 2.1 $\underline{S}_n = \underline{U} \cdot \underline{I}_1^*$ (\underline{I}_1^* – сопряженный комплексный ток, $\underline{I}_1 = 6 - j2 \text{ A}$; $\underline{I}_1^* = 6 + j2 \text{ A}$);

$$\sum \underline{S}_n = \sum_{k=1}^n [I_k^2 r_k + j I_k^2 (x_{Lk} - x_{Ck})].$$

Подставляя значения токов и сопротивлений, имеем

$$\underline{U} \cdot \underline{I}_1^* = j I_1^2 (x_{L1} - x_{C1}) + I_2^2 r_2 + j I_2^2 x_{\text{экв.де}} + j I_3^2 x_{L3} + I_3^2 r_3 + I_1^2 r_1,$$

$$140 \cdot (6 + j2) = j6,35^2(6 - 3) + 4,1^2 \cdot 4 + 4,1^2(-j26,6) + j7,85^2 \cdot 10 + 7,85^2 \cdot 10 + 6,35^2 \cdot 4; \quad 840 + j280 = 840 + j280.$$

Активная и реактивная мощности источника:

$$P = \operatorname{Re}(\underline{U} \cdot \underline{I}_1^*) = 840 \text{ Вт};$$

$$Q = \operatorname{Im}(\underline{U} \cdot \underline{I}_1^*) = 280 \text{ вар.}$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{840}{\sqrt{840^2 + 280^2}} = 0,948.$$

2.7 Задание на выполнение РГР № 2 «Расчет однофазной цепи синусоидального тока»

- 1 Начертить схему заданного варианта (рисунок 2.3).
- 2 Определить, пользуясь методом комплексных чисел, токи и напряжения ветвей схемы.
- 3 По результатам, полученным в п. 2, определить показания вольтметра электромагнитной системы.
- 4 Построить в масштабе на одной комплексной плоскости топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.
- 5 Записать мгновенные значения токов и напряжений ветвей схемы.
- 6 Составить баланс мощностей, определить активную мощность источника и коэффициент мощности.

Примечания:

- 1 Для выполнения РГР № 2 следует предварительно проработать по учебнику соответствующие разделы.
- 2 Расчетная схема выбирается по первой цифре варианта задания, а именно: первая цифра варианта должна соответствовать номеру расчетной схемы, вторая и третья цифры варианта определяют номера строк из таблиц 2.1 и 2.2 исходных данных. В них представлены сопротивления пассивных (r_k, x_{Lk}, x_{Ck}) элементов цепи и одно значение комплексного напряжения или тока. Из таблиц 2.1 и 2.2 необходимо записать данные только тех параметров, которые обозначены на выбранной схеме (см. рисунок 2.3).
- 3 Требования к оформлению пояснительной записки по данной работе такие же, как и при выполнении РГР № 1.

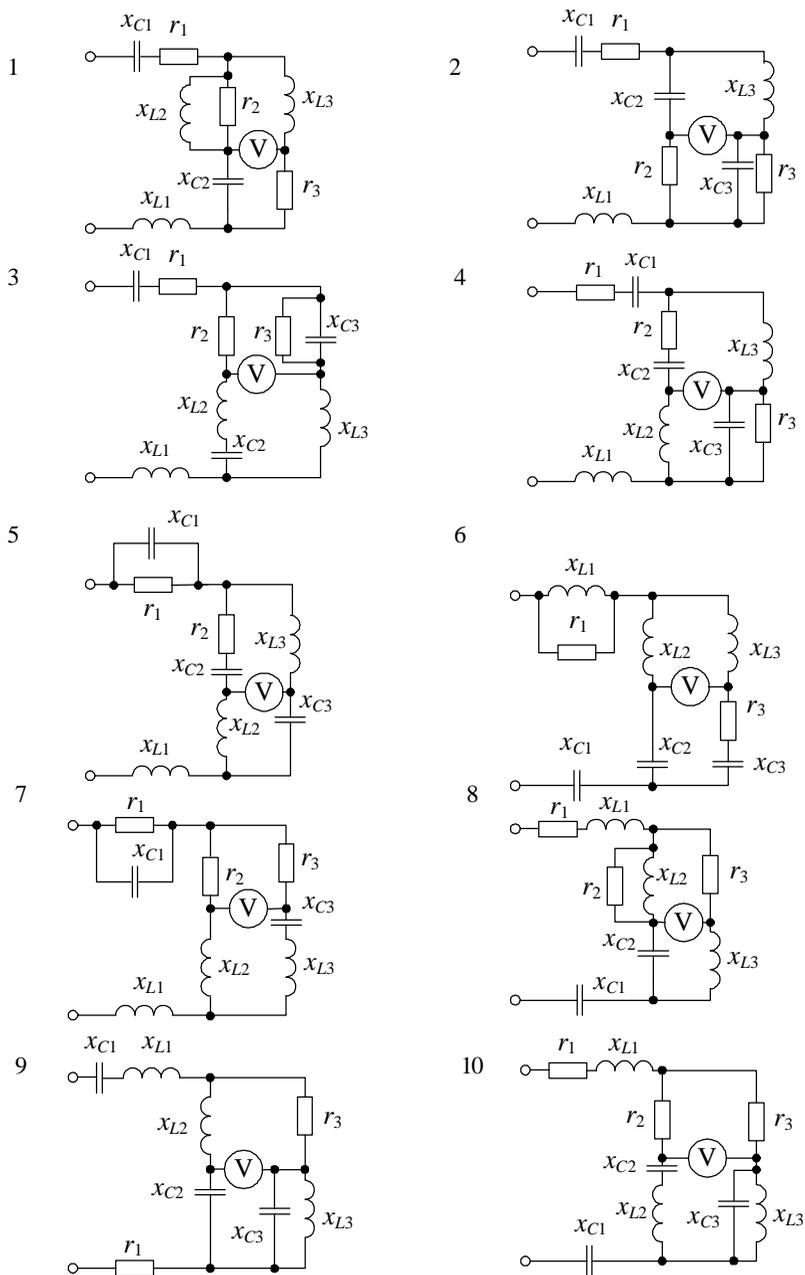


Рисунок 2.3

Таблица 2.1 – Величины заданных комплексных напряжений или токов

Номер варианта	\underline{U}	\underline{U}_{23}	\underline{I}_1	\underline{I}_2	\underline{I}_3
	В		А		
1	100	–	–	–	–
2	–	$200e^{-j30^\circ}$	–	–	–
3	–	–	$5e^{j30^\circ}$	–	–
4	–	–	–	$2e^{j45^\circ}$	–
5	–	–	–	–	$3e^{j60^\circ}$
6	$220e^{j30^\circ}$	–	–	–	–
7	–	$150e^{j45^\circ}$	–	–	–
8	–	–	$1,5e^{-j30^\circ}$	–	–
9	–	–	–	$3e^{-j30^\circ}$	–
10	–	–	–	–	$5e^{-j45^\circ}$

Таблица 2.2 – Значения активных и реактивных сопротивлений

Номер варианта	r_1	r_2	r_3	x_{L1}	x_{C1}	x_{L2}	x_{C2}	x_{L3}	x_{C3}
	Ом								
1	2	4	4	6	4	5	3	3	4
2	6	10	4	12	5	8	6	4	8
3	10	5	2	8	10	12	5	2	5
4	15	20	10	5	15	10	5	5	2
5	5	15	5	10	5	15	10	10	6
6	12	8	10	15	8	20	10	8	10
7	20	10	15	6	16	8	16	15	5
8	8	4	3	10	15	16	6	10	12
9	5	10	15	10	20	15	5	20	10
10	10	10	5	6	8	18	8	12	6

2.8 Контрольные вопросы к защите РГР № 2

1 При каких действиях над комплексными величинами удобно пользоваться той или иной формой записи комплексных чисел?

2 Напишите аналитические выражения законов Кирхгофа в комплексной форме.

3 Схема замещения цепи состоит из элементов r , L и C . Напишите комплексное значение полного сопротивления цепи для случаев: а) все элементы соединены последовательно; б) катушка индуктивности ($r - L$) включена параллельно конденсатору C .

4 Напряжение на зажимах цепи $u = 141 \sin(\omega t - \frac{\pi}{3})$ В. Чему равно комплексное напряжение в данном случае?

5 Найдите выражение для синусоиды тока в схеме, состоящей из последовательно соединенных элементов r и L . Известно, что $r = 40$ Ом, $x_L = 30$ Ом, а напряжение на зажимах цепи $u = 100 \sin \omega t$.

6 Определите мгновенное значение напряжения при $t = 0$, если комплексное напряжение $\underline{U} = 100 e^{-j\frac{3}{2}\pi}$ В.

7 Топографическая диаграмма и методика построения ее для цепи однофазного синусоидального тока.

8 Напишите выражение баланса мощностей для цепи переменного тока, поясните его.

9 Как определяется коэффициент мощности цепи синусоидального тока?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л. А. Бессонов. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1996. – 638 с.

2 Основы теории цепей / Г. В. Зевеке [и др.]. – 5-е изд., перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное)

Рабочая программа по курсу «ТОЭ»

Цель преподавания дисциплины – изучение теории электрических и магнитных цепей. Указанные теории являются основой для изучения общетехнических и специальных дисциплин при подготовке специалистов по специализации «Тяговый состав железнодорожного транспорта (тепловозы)».

Изучив дисциплину, студент должен:

знать основы теории электрических и магнитных цепей;

уметь производить расчеты электрических и магнитных цепей, читать электрические схемы, пользоваться электроизмерительными приборами и выполнять работы, связанные с монтажом и исследованием электрических цепей;

иметь представление о способах производства, распределения электрической энергии, применения ее в различных отраслях промышленности, о применении электротехнического оборудования на тепловозах.

Содержание дисциплины

Часть I

Предмет курса ТОЭ, его структура, связь со смежными и специальными дисциплинами. Организация самостоятельной работы по изучению курса ТОЭ.

Линейные электрические цепи постоянного тока. Электрическая цепь и ее элементы. Схемы замещения электрических цепей. Топологические понятия теории электрических цепей. Основные законы электрических цепей постоянного тока. Режимы работы электрических цепей. Расчет электрических цепей методом применения закона Ома. Метод преобразования цепи. Метод непосредственного применения законов Кирхгофа. Метод контурных токов. Метод двух узлов. Метод эквивалентного генератора (активного двухполюсника).

Однофазные цепи синусоидального тока. Особенности электромагнитных процессов в цепях переменного тока. Идеальные элементы цепи переменного тока. Представление синусоидальных функций комплексными числами. Электрическая цепь с R -элементом. Электрическая цепь с L -элементом. Электрическая цепь с C -элементом. Цепь синусоидального тока при последовательном включении элементов $R-L-C$. Параллельное соединение элементов. Резонанс в электрических цепях. Разветвленные цепи с одним ис-

точником питания. Мощность цепи синусоидального тока. Технико-экономическое значение повышения коэффициента мощности.

Нелинейные электрические и магнитные цепи постоянного тока. Методы расчета нелинейных электрических цепей постоянного тока. Методы расчета магнитных цепей постоянного тока.

Нелинейные электрические цепи переменного тока. Методы расчета. Цепи с ферромагнитными элементами.

Часть II

Трехфазные цепи. Элементы трехфазных цепей. Способы представления симметричной системы ЭДС. Трехфазные системы. Соединения обмоток генератора и нагрузки звездой и треугольником. Симметричный режим трехфазной цепи. Расчет несимметричных режимов трехфазных цепей. Активная, реактивная и полная мощности трехфазной системы. Измерение активной мощности в трехфазной системе. Получение кругового вращающегося магнитного поля. Принцип работы асинхронного двигателя.

Электрические цепи несинусоидального тока. Определение периодических несинусоидальных токов и напряжений. Изображение несинусоидальных токов и напряжений с помощью рядов Фурье. О разложении в ряд Фурье кривых геометрически правильной формы. Расчет токов и напряжений при несинусоидальных источниках питания. Действующее значение несинусоидального тока и несинусоидального напряжения. Резонансные явления при несинусоидальных токах. Величины, на которые реагируют амперметры и вольтметры при несинусоидальных токах. Активная и полная мощности несинусоидального тока.

Переходные процессы в линейных электрических цепях. Возникновение переходных процессов. Законы коммутации и начальные условия. Классический метод расчета переходных процессов в цепях первого порядка при воздействии постоянных и синусоидальных напряжений. Принужденный и свободный режимы. Постоянная времени. Переходные процессы в цепях второго порядка. Аперiodический и колебательный характер переходных процессов. Общий случай расчета переходных процессов классическим методом в разветвленных цепях.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие методические указания по выполнению расчетно-графических работ	3
1 Методические указания к выполнению РГР № 1 «Расчет линейной электрической цепи постоянного тока»	4
1.1 Метод расчета цепей по законам Кирхгофа	4
1.2 Метод контурных токов	5
1.3 Метод двух узлов	6
1.4 Метод наложения	8
1.5 Энергетический баланс в электрической цепи. Показания приборов	10
1.6 Потенциальная диаграмма	11
1.7 Задание на выполнение РГР № 1 «Расчет линейной электрической цепи постоянного тока»	12
1.8 Контрольные вопросы к защите РГР № 1	15
2 Методические указания к выполнению РГР № 2 «Расчет однофазной цепи синусоидального тока»	16
2.1 Комплексные изображения синусоидальных функций времени	16
2.2 Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме для линейных цепей синусоидального тока	17
2.3 Расчет линейной цепи синусоидального тока с одним источником питания	18
2.4 Топографическая диаграмма	19
2.5 Мгновенные значения напряжений и токов отдельных ветвей схемы	21
2.6 Баланс мощностей	21
2.7 Задание на выполнение РГР № 2 «Расчет однофазной цепи синусоидального тока»	22
2.8 Контрольные вопросы к защите РГР № 2	25
Список литературы	25
Приложение А Рабочая программа по курсу «ТОЭ»	26

Учебное издание

ЧЕРНОМАШЕНЦЕВ Виктор Георгиевич
ПАЦКЕВИЧ Валерий Анатольевич
ВОРОНИН Алексей Викторович

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Учебно-методическое пособие
по выполнению расчетно-графических работ № 1, 2

Редактор Т. М. Ризевская
Технический редактор В. Н. Кучерова

Подписано в печать 29.09.2011 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,42. Уч.-изд. л. 1,63. Тираж 150 экз.
Зак. № _____. Изд. № 116.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.