

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

Кафедра: «Электроподвижной состав»

Ю.С. Кабалык

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАСЧЕТАХ НА ЭВМ**

### **Электрические цепи**

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ

Хабаровск  
Издательство ДВГУПС  
2011

УДК ????.??? (???.?)  
ББК ? ??? – ??? ???  
? ???

Рецензент:

Доцент кафедры «Электротехника, электроника и электромеханика»  
Дальневосточного государственного университета путей сообщения  
кандидат технических наук  
*В.Г. Скорик*

**Кабалык, Ю.С.**

**К 120** Математические модели технических систем в расчетах на ЭВМ. Электрические цепи : методические указания по выполнению расчетно-графических работ / Ю. С. Кабалык. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2011. – 24 с. : ил.

Методические указания соответствуют ГОС ВПО направления 190300 «Подвижной состав железных дорог» специальности 190303 «Электрический транспорт железных дорог» по дисциплине «Математические модели технических систем в расчетах на ЭВМ».

Указания содержат методику, расчетные формулы и последовательность действий для расчета электрических цепей постоянного и переменного тока. При расчете используются компьютерные программы Maple и Multisim.

Предназначены для студентов всех форм обучения.

**УДК**      ????.??? (???.?)  
**ББК**      ? ??? – ??? ???

© ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС), 2011

## ВВЕДЕНИЕ

При создании современных технических устройств большое время занимает процесс их проектирования. При этом должны соблюдаться высокая точность и надежность созданных устройств. Чисто теоретический подход занимает относительно много времени, а чисто экспериментальный – слишком много материальных затрат. В этой связи применение моделирования позволило в значительной степени улучшить процесс разработки новых технических систем.

При моделировании реальный объект с целью изучения заменяется его аналогом, изучение которого гораздо проще, чем изучение реального объекта. Наиболее перспективным методом моделирования является математическое моделирование, поскольку оно обладает большой универсальностью. Точность математического моделирования зависит от разработанной модели и средства моделирования.

Применение математического моделирования на современных компьютерах (ЭВМ) позволяет подробно и глубоко изучать различные технические объекты в достаточной полноте, недоступной чисто теоретическим или физическим средствам изучения. В частности исследование электрических цепей на современных компьютерных программах даёт возможность наиболее полного анализа электромагнитных процессов.

Знание студентами основ математического моделирования на ЭВМ и опыт практического их применения позволит с большей эффективностью выполнять реальные проектные задачи.

В методических указаниях рассмотрены два вида расчетно-графических работ: 1) электрические цепи постоянного тока; 2) электрические цепи переменного тока. Расчетно-графические работы должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 2.105-95 и указаниями [4].

# 1. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: Изучить способы расчета электрических цепей постоянного тока с помощью компьютерных программ. В работе используются программы Maple 8 и Multisim 11.

В задании на расчетно-графическую работу представлена электрическая схема и параметры её элементов. Пример задания приведен на рис. 1.1.

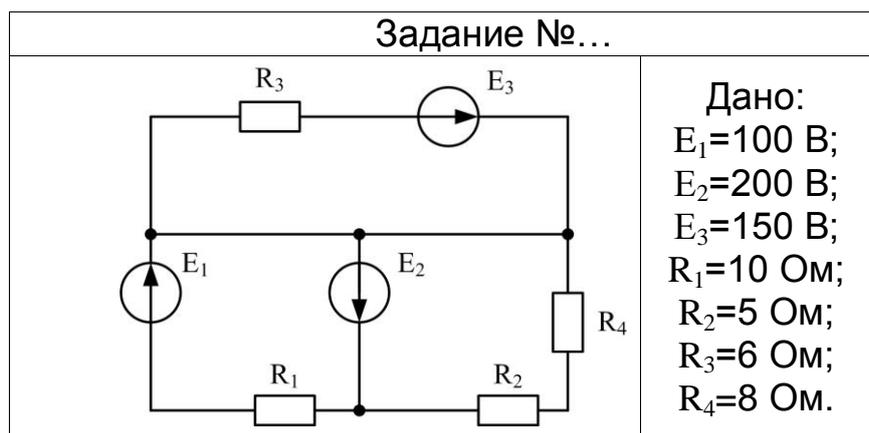


Рис. 1.1. Пример задания на расчетно-графическую работу №1

В такой схеме необходимо определить ток в каждой ветви.

## 1.1 Графическое представление задачи

Изначально в заданной схеме необходимо обозначить искомые токи с заданием их направления, обозначить узлы и контуры схемы. При этом обозначения и направления определяются произвольно.

Для заданной схемы (рис. 1.1) произведем обозначение, показанное на рис. 1.2.

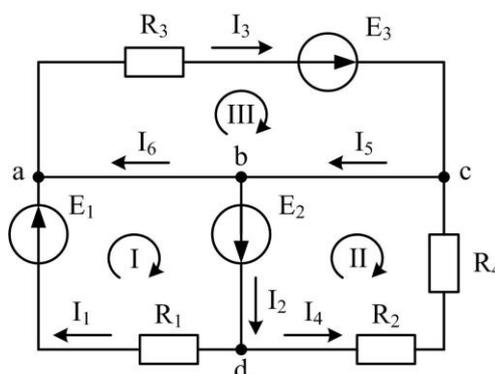


Рис. 1.2. Обозначение токов, узлов и контуров на заданной схеме

Таким образом, в заданной схеме протекает шесть различных токов ( $I_1-I_6$ ), которые требуется найти.

## 1.2 Расчет цепи с помощью программы Maple.

Для расчета заданной схемы в программе *Maple* необходимо создать матричное представление уравнений электрического равновесия схемы. Изначально составляются уравнения равновесия для трех узлов и трех контуров схемы по первому и второму законам Кирхгофа соответственно [1]. При создании уравнений электрического равновесия по первому закону Кирхгофа принимается, что ток, направленный в узел, записывается со знаком «+», а ток, направленный из узла, записывается со знаком «-». При создании уравнений равновесия по второму закону Кирхгофа падение напряжения на элементе записывается с таким знаком, который имеет тот его вывод, который встречается первым при обходе контура по направлению, определенному в п.1.1. При этом считается, что вывод резистора, в который входит ток, имеет положительный потенциал, а на источнике ЭДС положительным считается тот вывод, в который направлена стрелка на графическом обозначении элемента.

Для заданной схемы составим уравнения для узлов a, b, d и контуров I, II, III, соответственно:

$$\begin{cases} I_1 + I_6 - I_3 = 0 \\ I_5 - I_2 - I_6 = 0 \\ I_2 - I_1 - I_4 = 0 \\ I_1 \cdot R_1 - E_1 - E_2 = 0 \\ -I_4 \cdot R_4 - I_4 \cdot R_2 + E_2 = 0 \\ I_3 \cdot R_3 - E_3 = 0 \end{cases} \quad (1.1)$$

Далее производится упрощение составленных уравнений следующим образом. Значения токов расставляются по возрастанию номера (1, 2, ..., 6). Значения ЭДС переносятся за знак «=». После этого система уравнений равновесия принимает вид:

$$\begin{cases} I_1 - I_3 + I_6 = 0 \\ -I_2 + I_5 - I_6 = 0 \\ -I_1 + I_2 - I_4 = 0 \\ I_1 \cdot R_1 = E_1 + E_2 \\ I_4 \cdot (R_2 + R_4) = E_2 \\ I_3 \cdot R_3 = E_3 \end{cases} \quad (1.2)$$

Из полученных уравнений создаются две матрицы. В первой матрице записываются множители токов, а во второй матрице – величина напряжения источников ЭДС. При этом каждой строчке матриц соответствует одно из полученных ранее уравнений.

В первой матрице каждый ряд значений соответствует множителю соответственного тока. Так в первый ряд записывается множитель тока  $I_1$ , во второй ряд – множитель тока  $I_2$  и т.д. Если в уравнении электрического равновесия отсутствует какой-либо ток и то в соответствующем этому току ряду и строчке ставится ноль. Если в уравнении у тока нет множителя, то ставится единица.

Во второй матрице имеется только один ряд значений. В каждую строчку этой матрицы записывается соответствующее этой строчке значение ЭДС.

В итоге составленные матрицы принимают следующий вид:

$$\left( \begin{array}{cccccc|c} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_1 + E_2 \\ 0 & 0 & 0 & R_4 + R_2 & 0 & 0 & E_2 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & 0 & 0 & E_3 \end{array} \right) = \quad (1.3)$$

Далее необходимо решить эту матрицу с помощью программы *Maple*. Для этого необходимо составить программу расчета в рабочей странице (*Worksheet*). Программа расчета заданной схемы представлена в приложении 1 (записывать в рабочую страницу следует только строки, начинающиеся с символа «>», а в конце каждой строчки необходимо нажимать клавишу *ENTER*).

В результате расчета составленной программы получится матрица значений, содержащая искомые значения токов. В этой матрице первое сверху значение соответствует току  $I_1$ , второе соответствует току  $I_2$  и т.д.

Для заданной схемы (рисунок 1.1) искомые токи, согласно расчету в программе *Maple*, будут равны:  $I_1=30$  А;  $I_2=590/13=45,4$  А;  $I_3=25$  А;  $I_4=200/13=15,4$  А;  $I_5=525/13=40,4$  А;  $I_6=-5$  А.

### Оформление шага

1. Записать исходные данные для расчета. (только для студентов заочной формы обучения), используя прил. 3, табл. 1. Студентам очной формы обучения задания выдает преподаватель. Выданные задания необходимо прикрепить к отчету.

2. Произвольно обозначить токи, узлы и контуры в заданной схе-

ме (рис. 1.2.).

3. Составить уравнения электрического равновесия и привести их к матричному виду (формулы 1.1-1.3).

4. Составить программу расчета цепи в программе Maple и произвести её расчет (Приложение 1). Рассчитанная программа должна быть представлена в отчете.

### 1.3 Расчет цепи с помощью программы Multisim

Для расчета заданной схемы в программе *Multisim* необходимо создать графическое представление схемы в рабочем окне программы. Создается схема путем перетаскивания необходимых элементов схемы из библиотек в рабочее окно и последующего их соединения согласно заданной схеме.

Библиотека компонентов вызывается нажатием сочетания клавиш *Ctrl+W*. Внешний вид библиотеки элементов представлен на рис. 1.3.

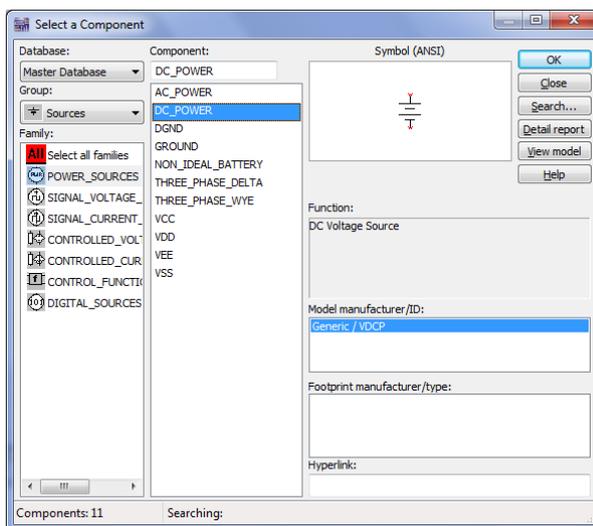


Рис. 1.3. Внешний вид библиотеки элементов программы *Multisim*

На рис. 1.4 приведены основные компоненты, необходимые для создания заданной схемы в программе *Multisim*.

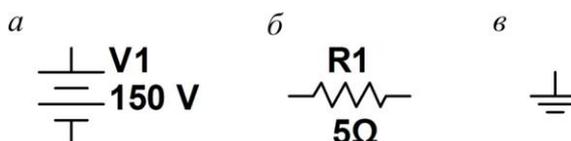


Рис. 1.4. Основные компоненты, необходимые для создания заданной схемы:  
а – источник ЭДС (*AC\_POWER*); б – резистор (*RESISTOR*);  
в – заземление (*GROUND*)

Элемент *GROUND* необходим для установления нулевого потенциала на схеме. Такой элемент устанавливается в любом месте на схеме и только один раз. Для поворота компонента схемы необходимо для поворота по часовой стрелке нажать клавиши *Ctrl+R*, а для поворота против часовой стрелки – клавиши *Ctrl+Shift+R*. Схема собирается путем соединения выводов элементов указателем мыши.

Для определения тока, протекающего в каждой ветви схемы, необходимо установить на этой ветви элемент *Measurement Probe*, который находится в правом нижнем углу окна (рис. 1.5).

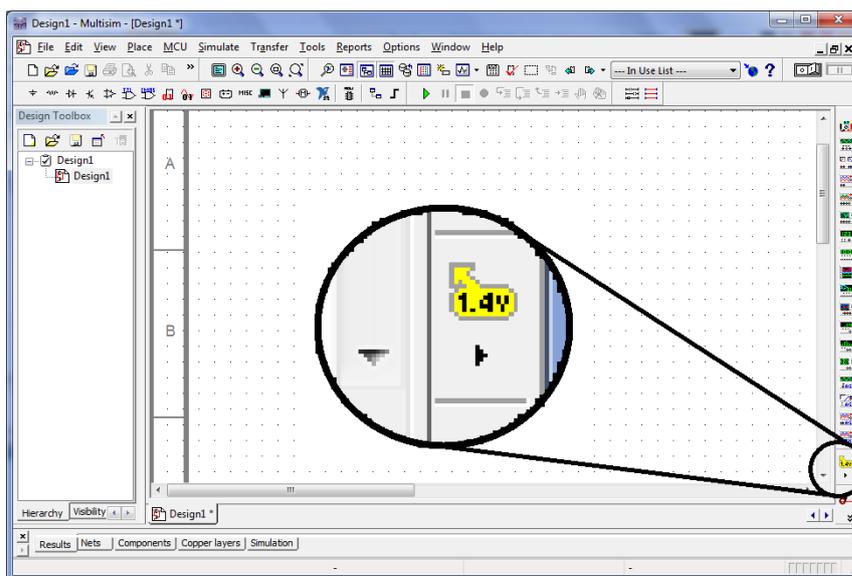


Рис. 1.5. Расположение элемента *Measurement Probe* в рабочем окне программы *Multisim*

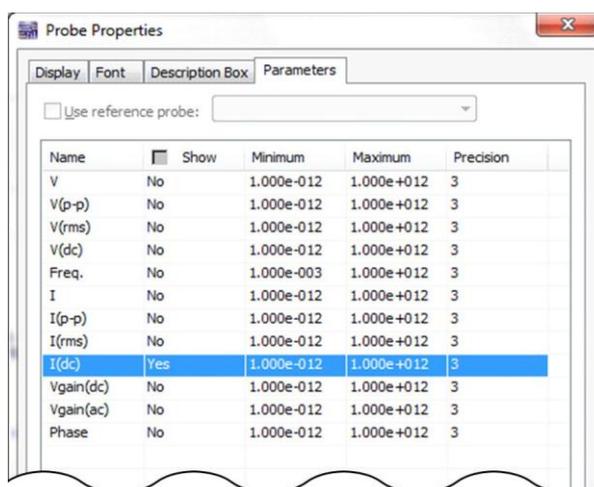


Рис. 1.6. Параметры элемента *Measurement Probe*

Элемент *Measurement Probe* способен измерять целый ряд величин. Поэтому в его параметрах необходимо оставить только измерение посто-

янного тока, так как показано на рис. 1.6.

Для получения значений токов необходимо запустить моделирование путем нажатия клавиши *F5*. Внешний вид заданной схемы (рис. 1.1), выполненной в программе *Multisim* со значениями токов представлен на рис. 1.7.

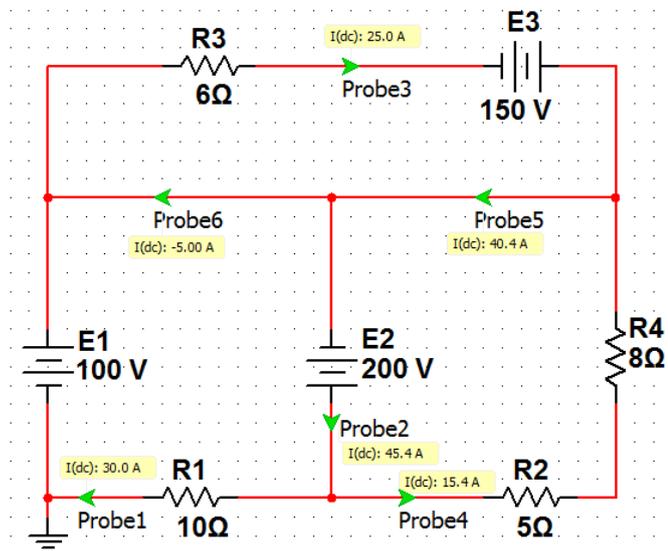


Рис. 1.7. Внешний вид заданной схемы, выполненной в программе *Multisim*

В итоге в схеме на элементах *Measurement Probe* появятся значения токов, протекающих в каждой её ветви.

### Оформление шага

1. Составить заданную схему в программе *Multisim* и расставить в каждой её ветви элемент *Measurement Probe*.
2. Произвести моделирование заданной схемы и представить её внешний вид в отчете (рис. 1.7). Внешний вид схемы копируется обычным способом: копировать – *Ctrl+C*; вставить – *Ctrl+V*.
3. Записать полученные значения токов.

### 1.4 Вывод по выполнению работы

Полученные в обоих программах значения токов должны совпадать. При равенстве эти значений делается вывод, что моделирование выполнено правильно. Если полученные значения не совпадают, то моделирование необходимо произвести заново. При этом следует изменить обозначения и направления, принятые в п.1.1.

## 2. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: Изучить способы расчета электрических цепей переменного тока с помощью компьютерных программ. В работе используются программы Maple 8 и Multisim 11.

В задании на расчетно-графическую работу представлена электрическая схема и параметры её элементов. Пример задания приведен на рис. 1.1.

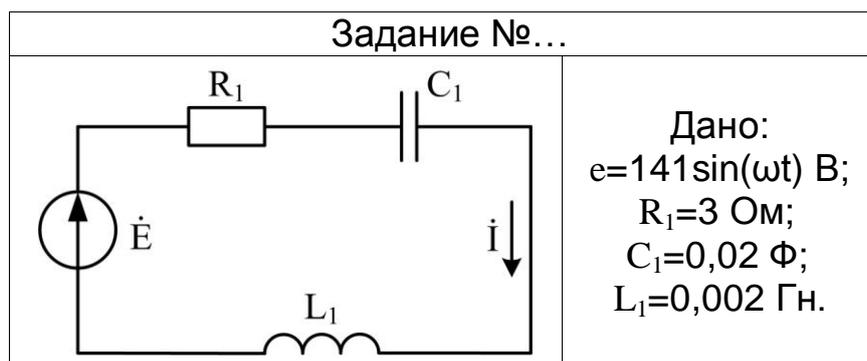


Рис. 2.1 Пример задания на расчетно-графическую работу №2

В заданной схеме необходимо построить осциллограммы тока, протекающего в ней, и напряжения источника ЭДС. Закон изменения ЭДС источника одинаков для всех вариантов заданий.

### 2.1 Расчет цепи с помощью программы Maple

Для построения осциллограмм тока и напряжений заданной схемы в программе *Maple* необходимо задать соответствующие уравнения. При создании этих уравнений используются общая и комплексная формы записи [1].

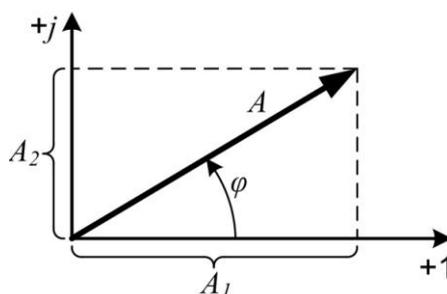


Рис. 2.2. Графическое изображение комплексного числа

Рассмотрим пример комплексной формы записи. На рис. 2.2 показан

вектор, изображающий комплексное число. Этот вектор представляет собой амплитуду некоторой величины (напряжение или ток), которая изменяется во времени по синусоидальному закону [1].

Здесь комплексное число равно

$$\dot{A} = Ae^{j\varphi} = A_1 + jA_2, \quad (2.1)$$

где  $A$  – модуль, равный длине вектора;

$\varphi$  – угол поворота вектора  $A$  относительно оси вещественных значений (ось «+1»);

$A_1$  – вещественная (действительная) часть комплексного числа, равная  $A_1 = A \cos \varphi$ ;

$A_2$  – мнимая часть комплексного числа, равная  $A_2 = A \sin \varphi$ .

Модуль  $A$  и угол  $\varphi$  определяются по формулам

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2};$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_2}{A_1}. \quad (2.2)$$

Примеры формы записи уравнений для различных типов сопротивлений приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

**Формы записи уравнений на различных видах сопротивлений**

Вид сопротивления	Общая форма записи	Комплексная форма записи
Активное 	$u = r \cdot i$ $i = \frac{u}{r}$	$\dot{U} = r \cdot \dot{I}$ $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{r}$
Индуктивное 	$u = L \frac{di}{dt}$ $i = \frac{1}{L} \int u dt$	$\dot{U} = j\omega L \dot{I}$ $\dot{I} = \frac{1}{j\omega L} \dot{U}$
Ёмкостное 	$u = \frac{1}{C} \int i dt$ $i = C \frac{du}{dt}$	$\dot{U} = \frac{1}{j\omega C} \dot{I}$ $\dot{I} = j\omega C \dot{U}$

В работе сначала следует построить осциллограмму тока в схеме и напряжения источника ЭДС. Для этого необходимо определить их амплитуду  $I_{амп}$ ,  $E_{амп}$  и угол фазового сдвига между током и напряжением  $\varphi$ . Для получения амплитуды искомой величины необходимо действующее значение этой величины умножить на  $\sqrt{2}$ .

Изначально создается уравнение равновесия для всей схемы. Для примера, показанного на рисунке 2.1, это уравнение в общей форме записывается следующим образом:

$$e = iR_1 + i \frac{1}{C_1} \int idt + L_1 \frac{di}{dt}. \quad (2.3)$$

Далее это уравнение необходимо записать в комплексной форме:

$$\dot{E} = iR_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \dot{I} + j\omega L_1 \dot{I}; \quad (2.4)$$

или

$$\dot{E} = \dot{I} \underline{Z}, \quad (2.5)$$

где  $\dot{E}$  – действующее значение напряжения источника ЭДС,  $\dot{E} = 100$  В;  
 $\omega$  – угловая частота переменного напряжения. В рассматриваемой работе частота переменного напряжения принимается равной  $f = 50$  Гц, поэтому  $\omega = 2\pi f = 314,16$  рад/с;

$\underline{Z}$  – общее сопротивление цепи,

$$\underline{Z} = R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L. \quad (2.6)$$

Таким образом, действующее значение протекающего в схеме тока составляет

$$\dot{I} = \frac{\dot{E}}{\underline{Z}}. \quad (2.7)$$

При решении уравнения (2.7) получается действующее значение величины тока в комплексной форме. Из этой величины с помощью уравнений (2.2) определяется его амплитуда  $I_{амп}$  и угол сдвига  $\varphi$ , которые необхо-

димы для построения осциллограммы тока, протекающего в схеме.

Далее следует построить осциллограммы напряжения на каждом элементе (сопротивлении). Для этого необходимо определить их амплитуды ( $U_{амп1}$ ,  $U_{амп2}$  и  $U_{амп3}$ ) и углы сдвига ( $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ ). Определяются амплитуды и углы сдвига с помощью уравнений напряжения каждого элемента:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{R1} &= \dot{I}R_1; \\ \dot{U}_{C1} &= \frac{1}{j\omega C_1} \dot{I}; \\ \dot{U}_{L1} &= j\omega L_1 \dot{I}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Из полученных значений с помощью уравнений (2.2) определяются искомые амплитуды и углы фазового сдвига.

Далее необходимо перевести составленные уравнения в программу *Maple*. Для мнимой единицы  $\sqrt{-1}$  в *Maple* используется константа  $I$ . Задание комплексного числа не отличается от его обычного задания в математике. Для перехода от комплексной формы в тригонометрическую используются операторы *Re* и *Im*. Оператор *Re* выделяет из комплексного числа вещественную часть, а оператор *Im* – мнимую.

Программа расчета искомых осциллограмм для заданной схемы (рисунок 2.1) приведена в приложении 2.

Если программа составлена правильно, то должны построиться два рисунка (осциллограммы). На первом рисунке изображена осциллограмма напряжения источника ЭДС и тока, протекающего по цепи. На втором рисунке изображены четыре осциллограммы напряжений: напряжение на каждом из трех сопротивлений схемы и сумма этих напряжений (входное напряжение цепи). При этом на мониторе компьютера напряжение на первом элементе будет обозначено зеленой линией, на втором элементе – желтой линией, на третьем элементе – синей линией, суммарное напряжение – красной линией. Осциллограмма суммарного напряжения должна полностью совпадать с осциллограммой напряжения источника ЭДС.

### **Оформление шага**

1. Записать исходные данные для расчета (только для студентов заочной формы обучения), используя прил. 3, табл. 2. Студентам очной формы обучения задания выдает преподаватель. Выданные задания необходимо прикрепить к отчету.

2. Записать уравнения, описывающие схему (формулы 2.3-2.8).

4. Составить программу расчета цепи в программе *Maple* и произвести её расчет (Приложение 2). Рассчитанная программа должна быть пред-

ставлена в отчете.

## 2.2 Расчет цепи с помощью программы Multisim

Для расчета заданной схемы в программе *Multisim* необходимо создать графическое представление схемы в рабочем окне программы. Как и в предыдущей работе, схема создается путем перетаскивания соответствующих элементов схемы из библиотек в рабочее окно и последующего их соединения согласно заданной схеме.

На рис. 2.3 приведены основные компоненты, необходимые для создания заданной схемы в программе *Multisim*. Параметры каждого элемента задаются в соответствующем окне, которое вызывается двойным щелчком левой кнопкой мыши по элементу.

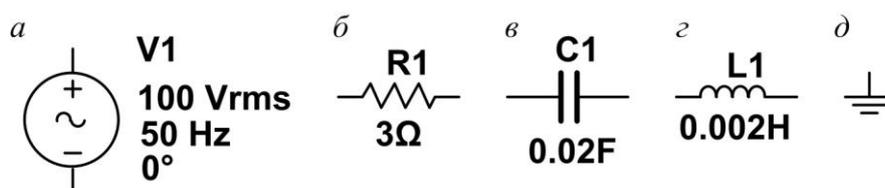


Рис. 2.3. Основные компоненты, необходимые для создания заданной схемы: а – источник переменного напряжения (*AC\_POWER*); б – резистор (*RESISTOR*); в – ёмкость (*CAPACITOR*); г – индуктивность (*INDUCTOR*); д – заземление (*GROUND*)

Элемент *GROUND* необходим для установления нулевого потенциала на схеме. Такой элемент устанавливается в любом месте на схеме и только один раз.

Для построения осциллограмм тока и напряжения в заданной цепи используется элемент *Oscilloscope* (осциллограф), показанный на рис. 2.4, а. Для определения величины тока, протекающего в схеме, используется элемент *Current Probe* (датчик тока), показанный на рис. 2.4, б. Элементы *Oscilloscope* и *Current Probe* находятся на панели инструментов в правой части рабочего окна программы.

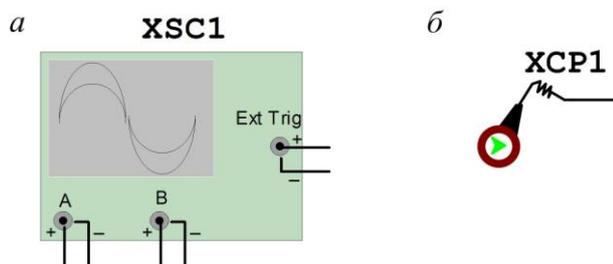


Рис. 2.4. Элементы *Oscilloscope* (а) и *Current Probe* (б)

Элемент *Oscilloscope* обладает двумя входными каналами (А и В), каждый из которых имеет положительный и отрицательный контакты. Для

определения напряжения на желаемом элементе схемы необходимо соединить эти контакты с соответствующими точками на схеме. В параметрах осциллографа в графе *scale* каждого входного канала необходимо установить «50 V/Div».

При измерении тока с помощью элемента *Current Probe* необходимо выход этого элемента соединить с положительным контактом любого входного канала осциллографа. В параметрах элемента необходимо установить соотношение измеряемой величины «1 mV/mA».

Внешний вид заданной схемы (рисунок 2.1) с подключенным осциллографом, выполненной в программе *Multisim* представлен на рис. 2.5.

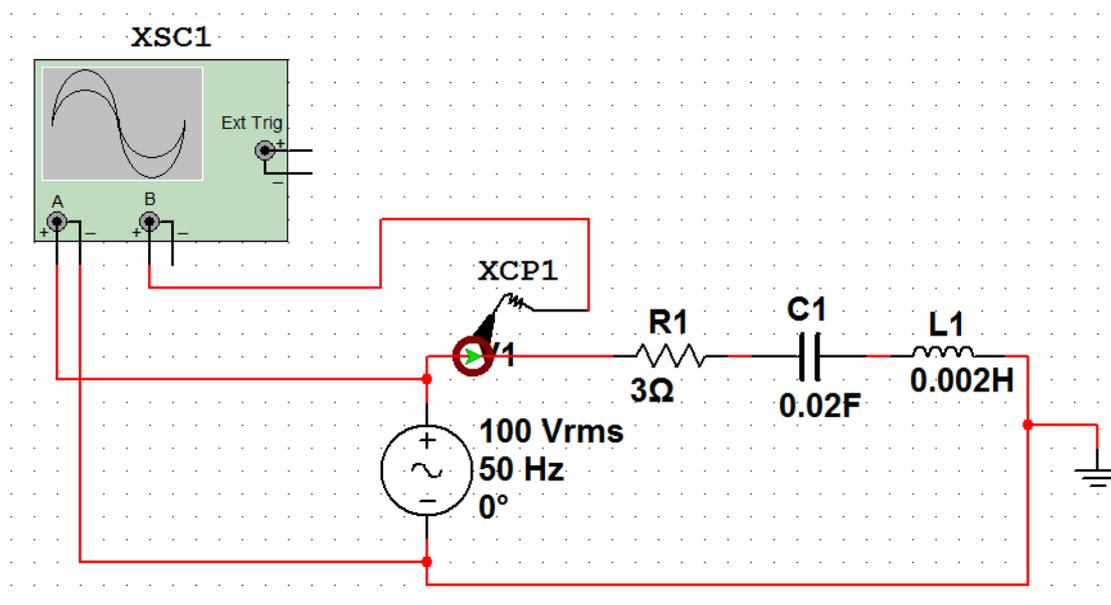


Рис. 2.5. Внешний вид заданной схемы с подключенным осциллографом

Для получения значений токов необходимо запустить моделирование путем нажатия клавиши *F5*. Достаточно производить моделирование схемы в течение нескольких секунд, после чего необходимо остановить моделирование нажатием клавиши *F6*. Полученные осциллограммы наиболее удобно просматривать с помощью самописца, вызываемого командой «View/Grapher».

Осциллограммы тока и напряжения источника ЭДС, полученные при моделировании схемы (рис. 2.5), показаны на рис. 2.6. На полученных осциллограммах можно изменить цвет фона с помощью команды «Graph/Black and White Colors». Толщину линий можно изменять в меню, которое вызывается двойным нажатием левой кнопкой мыши по соответствующей линии.

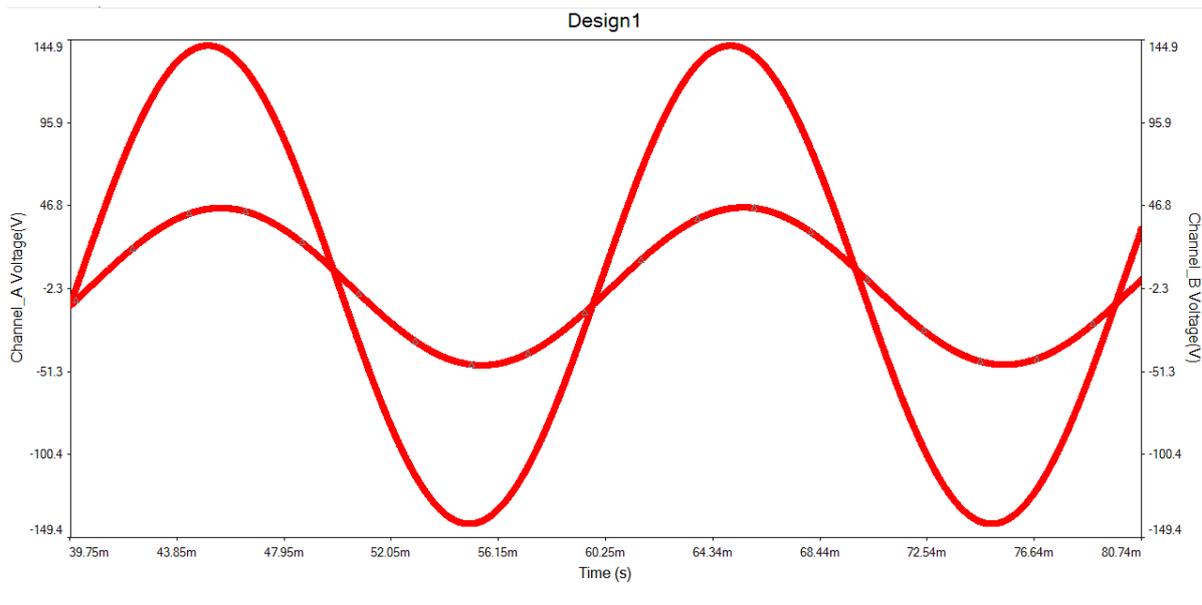


Рис. 2.6. Осциллограммы, полученные при моделировании

### **Оформление шага**

1. Составить заданную схему в программе *Multisim* с применением элементов *Current Probe* и *Oscilloscope* (рис. 2.5).
2. Произвести моделирование заданной схемы и представить в отчете полученные осциллограммы (рис. 2.6).

### **2.3 Вывод по выполнению работы**

Полученные в разных программах осциллограммы тока и напряжения источника ЭДС должны совпадать. При равенстве этих осциллограмм делается вывод, что моделирование выполнено правильно. Если полученные осциллограммы не совпадают, то моделирование необходимо произвести заново.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи [Текст] : Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов / Л. А. Бессонов. – 7-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1978. – 528 с.

2. Дробот, Ю. Б. Введение в пакет Maple V : моногр. / Ю. Б. Дробот. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 1999. – 244 с.

3. Хернитер, М. Е. Multisim 7: современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств [Текст] / М. Е. Хернитер ; пер. с англ. Осипов А. И. – М. : Издательский дом ДМК-пресс, 2006. – 448 с. : ил.

4. Пляскин, А. К. Правила оформления дипломных проектов и квалификационных работ: метод. пособие / А. К. Пляскин, Я. Ю. Бобровников. – Хабаровск : Изд-во «ДВГУПС». 2009. – 62 с.

## ТЕКСТ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

п: Начало программы, переинициализация Maple

> **restart;**

п: Загрузка пакета линейной алгебры

> **with(linalg):**

п: Ввод параметров электрической схемы

> **E1:=100;E2:=200;E3:=150;R1:=10;R2:=5;R3:=6;R4:=8;**

*E1 := 100*

*E2 := 200*

*E3 := 150*

*R1 := 10*

*R2 := 5*

*R3 := 6*

*R4 := 8*

п: Ввод матрицы множителей токов

> **A:=matrix(6,6,[[1,0,-1,0,0,1],[0,-1,0,0,1,-1],[-1,1,0,-1,0,0],[R1,0,0,0,0,0],[0,0,0,R2+R4,0,0],[0,0,R3,0,0,0]]);**

$$A := \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

п: Ввод матрицы ЭДС

> **B:=matrix(6,1,[[0],[0],[0],[E1+E2],[E2],[E3]]);**

$$B := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 300 \\ 200 \\ 150 \end{bmatrix}$$

п: Расчет значений токов

> **evalf(linsolve(A,B));**

$$\begin{bmatrix} 30. \\ 45.38461538 \\ 25. \\ 15.38461538 \\ 40.38461538 \\ -5. \end{bmatrix}$$

## ТЕКСТ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

п: Начало программы, переинициализация Maple

> `restart;`

п: Ввод параметров электрической схемы

> `e:=141.0*sin(w*t);R1:=3.0;C1:=0.02;L:=0.002;w:=314.15;`

`e := 141.0 sin(w t)`

`RI := 3.0`

`CI := 0.02`

`L := 0.002`

`w := 314.15`

п: Ввод уравнения общего сопротивления цепи

> `Z:=(R1+1/(I*w*C1)+I*w*L);`

`Z := 3.0 + 0.4691403629 I`

п: Определение действующего значения напряжения источника ЭДС

> `E:=100;`

`E := 100`

п: Определение тока, протекающего в схеме (искомого тока)

> `I1:=E/Z;`

`I1 := 32.53763388 - 5.088239123 I`

п: Определение угла сдвига фаз тока и напряжения

> `phi:=arctan(Im(I1)/Re(I1));`

`phi := -0.1551237593`

п: Определение амплитуды искомого тока

> `I1amp:=sqrt(2)*sqrt((Im(I1)^2)+(Re(I1)^2));`

`I1amp := 46.43564362`

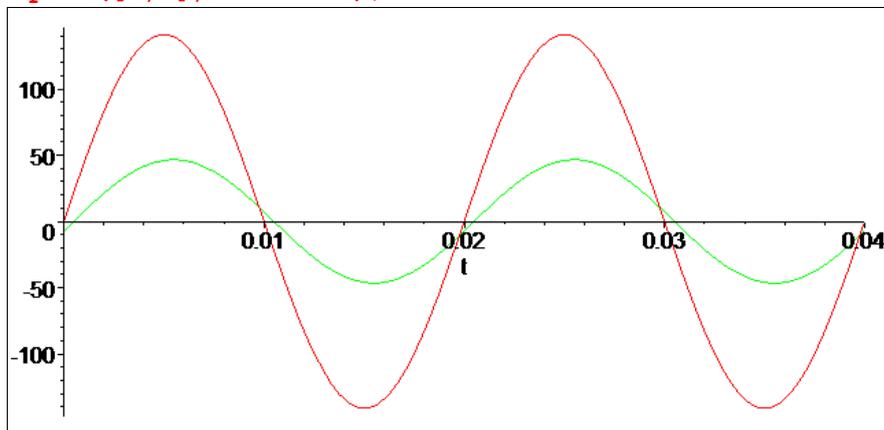
п: Тригонометрическая форма записи искомого тока

> `i:=I1amp*sin(phi+w*t);`

`i := 32.93308057 sqrt(2) sin(-0.1551237593 + 314.15 t)`

п: Построение осциллограммы искомого тока и напряжения источника эдс

> `plot([e,i],t=0..0.04);`



п: Запись уравнений напряжения на каждом элементе (сопротивлении) схемы

```
> UR1:=I1*R1;UC1:=1/(I*w*C1)*I1;UL1:=w*L*I1*I;
```

$$\begin{aligned}UR1 &:= 97.61290164 - 15.26471737 I \\UC1 &:= -0.8098422923 - 5.178678000 I \\UL1 &:= 3.196940641 + 20.44339537 I\end{aligned}$$

п: Определение амплитуды и угла сдвига напряжения на первом элементе, тригонометрическая форма этого напряжения

```
> UR1amp:=sqrt(2)*sqrt((Im(UR1)^2)+(Re(UR1)^2)); phi1:=arctan(Im(UR1)/Re(UR1)); \\u1:=UR1amp*sin(phi1+w*t);
```

$$\begin{aligned}UR1amp &:= 98.79924171 \sqrt{2} \\ \phi_1 &:= -0.1551237593 \\ u_1 &:= 98.79924171 \sqrt{2} \sin(-0.1551237593 + 314.15 t)\end{aligned}$$

п: Определение амплитуды и угла сдвига напряжения на втором элементе, тригонометрическая форма этого напряжения (к углу сдвига прибавлено число  $\pi$ . См. примечание)

```
> UC1amp:=sqrt(2)*sqrt((Im(UC1)^2)+(Re(UC1)^2)); phi2:=arctan(Im(UC1)/Re(UC1)); \\u2:=UC1amp*sin(phi2+w*t+Pi);
```

$$\begin{aligned}UC1amp &:= 5.241617152 \sqrt{2} \\ \phi_2 &:= 1.415672567 \\ u_2 &:= -5.241617152 \sqrt{2} \sin(1.415672567 + 314.15 t)\end{aligned}$$

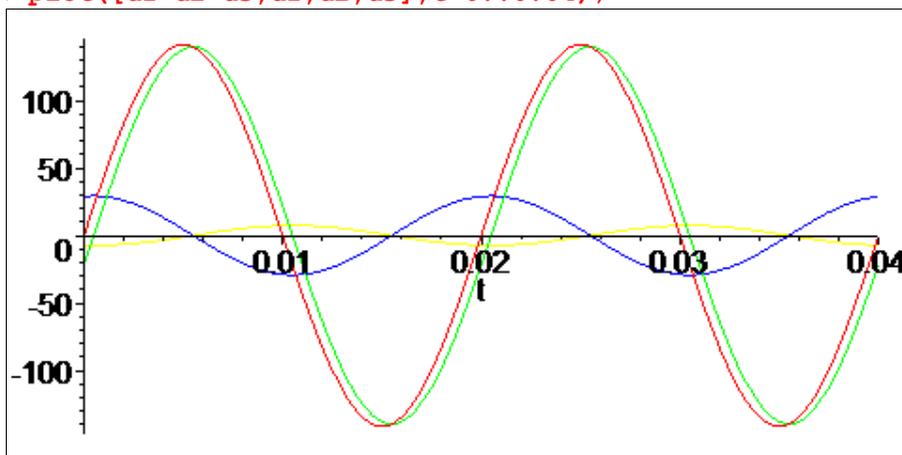
п: Определение амплитуды и угла сдвига напряжения на третьем элементе, тригонометрическая форма этого напряжения

```
> UL1amp:=sqrt(2)*sqrt((Im(UL1)^2)+(Re(UL1)^2)); phi3:=arctan(Im(UL1)/Re(UL1)); \\u3:=UL1amp*sin(phi3+w*t);
```

$$\begin{aligned}UL1amp &:= 29.17551488 \\ \phi_3 &:= 1.415672567 \\ u_3 &:= 29.17551488 \sin(1.415672567 + 314.15 t)\end{aligned}$$

п: Построение осциллограмм напряжений на элементах схемы

```
> plot([u1+u2+u3,u1,u2,u3],t=0..0.04);
```



Примечание: Если мнимая часть какого-либо уравнения напряжения на элементе схемы стоит со знаком «-», то в дальнейшем к углу сдвига этого напряжения следует добавлять число  $\pi$  (В программе записывается как  $Pi$ ) так как это сделано на примере выше. Если мнимая часть такого уравнения стоит со знаком «+», то число  $\pi$  не следует добавлять к углу сдвига.

Варианты исходных данных для РГР № 1

Пример схемы (рис. 1)							а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и
$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$R_3$ , Ом	$R_4$ , Ом	$E_1$ , В	$E_2$ , В	$E_3$ , В	Последние цифры шифра									
1	3	5	7	100	200	250	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
2	4	6	8	110	190	240	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	5	7	9	120	180	230	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
4	6	8	10	130	170	220	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
5	7	9	1	140	160	210	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
6	8	10	2	150	150	200	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
7	9	1	3	160	140	190	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
8	10	2	4	170	130	180	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
9	1	3	5	180	120	170	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
10	2	4	6	190	110	160	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00

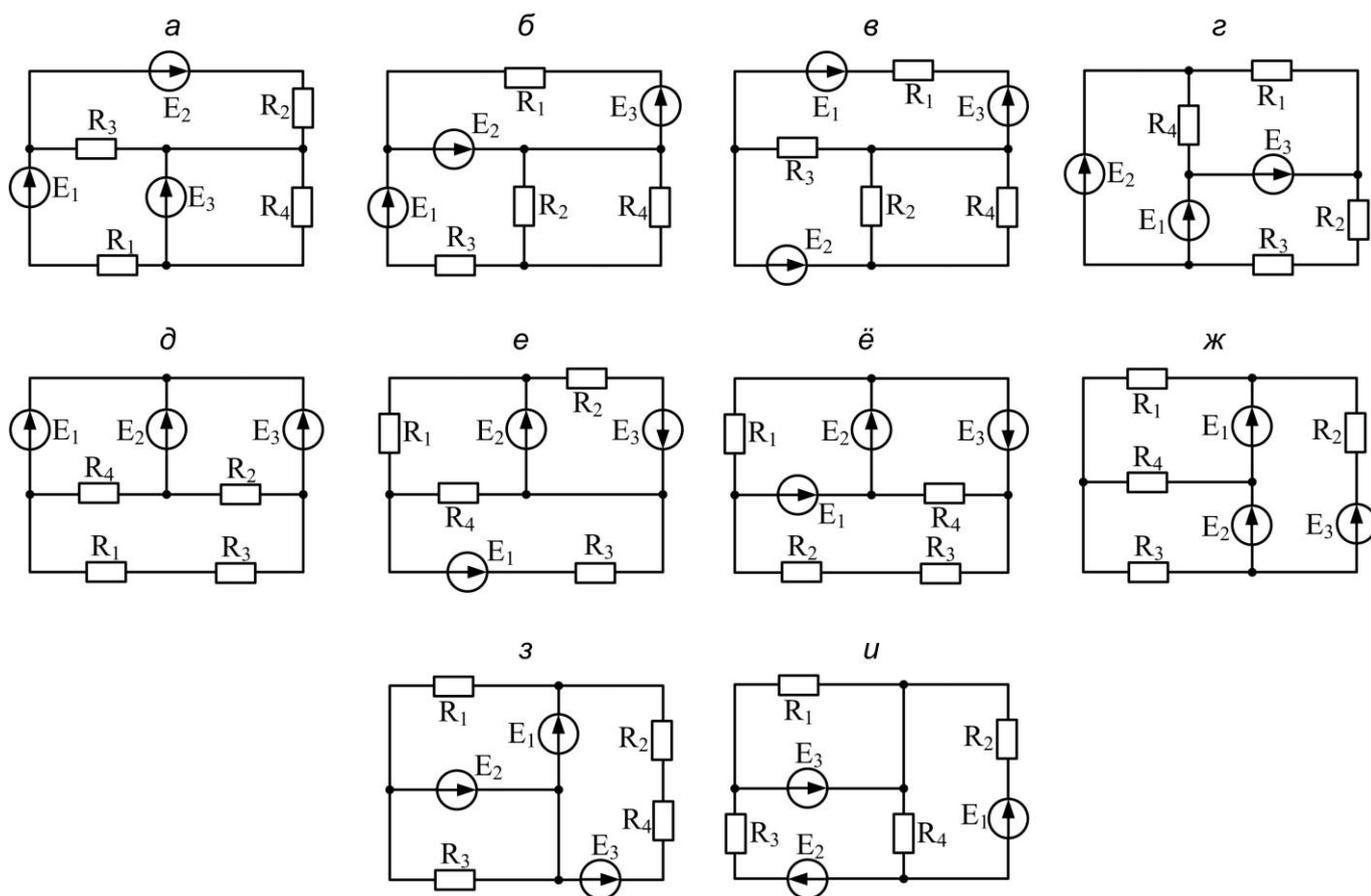


Рис. 1. Примеры схем для заданий

## Варианты исходных данных для РГР № 2

Пример схемы (рис. 2)						а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и
$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$L_1$ , Гн	$L_2$ , Гн	$C_1$ , Ф	$C_2$ , Ф	Последние цифры шифра									
5	2,2	0,001	0,011	0,002	0,011	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
4,5	2,3	0,002	0,012	0,003	0,012	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
4	2,4	0,003	0,013	0,004	0,013	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3,5	2,5	0,004	0,014	0,005	0,014	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
3	2,6	0,005	0,015	0,006	0,015	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
5	2,2	0,006	0,016	0,002	0,016	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
4,5	2,3	0,007	0,017	0,003	0,017	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
4	2,4	0,008	0,018	0,004	0,018	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
3,5	2,5	0,009	0,019	0,005	0,019	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
3	2,6	0,01	0,02	0,006	0,02	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00

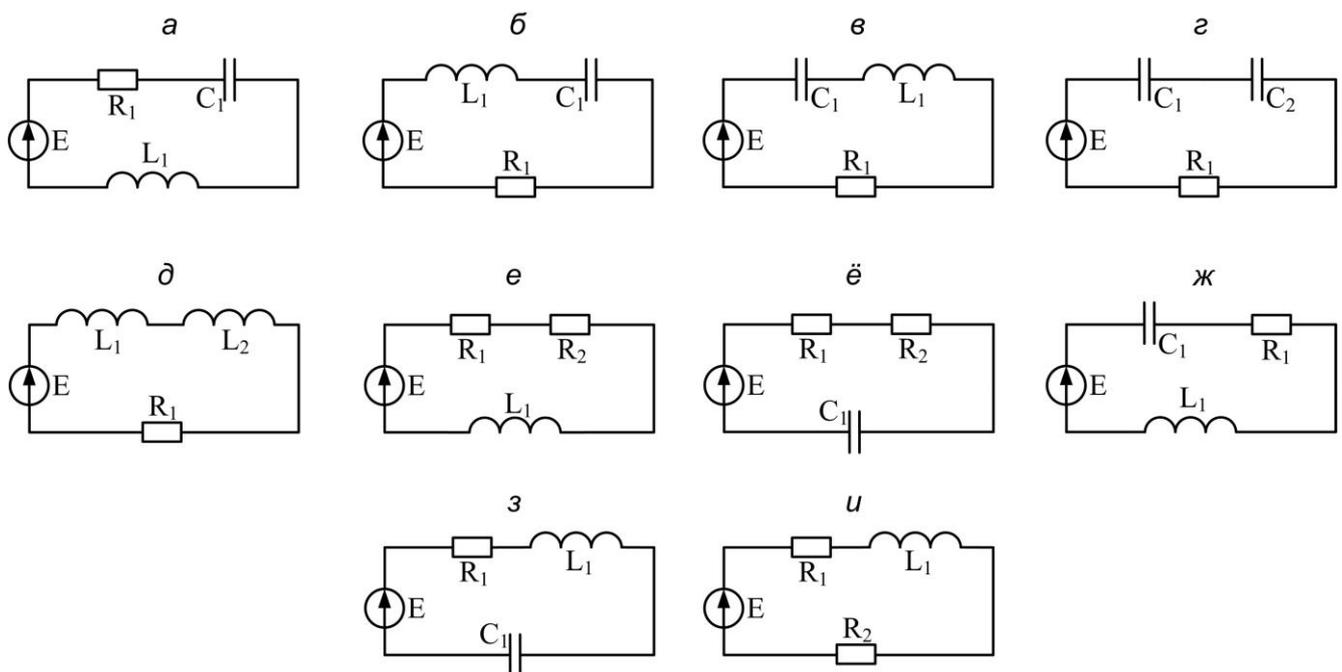


Рис. 2. Примеры схем для заданий

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА №1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	4
1.1 Графическое представление задачи.....	4
1.2 Расчет цепи с помощью программы Maple.....	5
1.3 Расчет цепи с помощью программы Multisim.....	7
1.4 Вывод по выполнению работы.....	9
2. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.....	10
2.1 Расчет цепи с помощью программы Maple.....	10
2.2 Расчет цепи с помощью программы Multisim.....	14
2.3 Вывод по выполнению работы.....	16
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	18
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	21