

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Основы теории цепей и электротехника»
для студентов очной и заочной форм обучения направлений:
11.03.01 — «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные
технологии и системы связи» и специальности 11.05.01 —
«Радиоэлектронные системы и комплексы»

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 621.39 (75)

И88

Р е ц е н з е н т:

А. А. Савочкин - канд. техн. наук, доцент

Редактор:

В. Г. Слезкин - канд. техн. наук, доцент

Ответственный за выпуск:

И. Л. Афонин - заведующий кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации»,
доктор техн. наук, профессор

Составители: А.И. Бойко, С.Р. Зиборов

И88 **Исследование линейных цепей постоянного тока:** учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Основы теории цепей и электротехника» для студентов очной и заочной форм обучения направлений: 11.03.01 — «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специальности 11.05.01 — «Радиоэлектронные системы и комплексы» / Сост. А. И. Бойко, С. Р. Зиборов — Севастополь: СевГУ, 2020. — 15 с.

Целью учебно-методического пособия является оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ по первой части дисциплины «Основы теории цепей и электротехника» и получении теоретических знаний и практических навыков измерения и анализа характеристик электрических цепей.

УДК 621.39 (75)

Учебно-методическое пособие утверждено на заседании кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации», протокол № 1 от 29 августа 2019 г.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании учёного совета Института радиоэлектроники и информационной безопасности, протокол № 3 от 23 октября 2019 г.

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы выполняются фронтальным методом, в соответствии с которым бригады студентов, состоящие из 2 — 3 человек, выполняют на занятии одну и ту же лабораторную работу.

При подготовке к лабораторной работе необходимо самостоятельно изучить теоретический материал, связанный с темой работы, используя конспект лекций и рекомендованную литературу [1 — 3].

В начале лабораторного занятия необходимо ознакомиться с оборудованием, используемым в лабораторной работе, и изучить правила его эксплуатации. После сборки лабораторной установки следует пригласить преподавателя проверить правильность сборки. Получив разрешение преподавателя, включить питание используемого оборудования и выполнить необходимые экспериментальные исследования.

При проведении экспериментов студенты каждой бригады обязаны вести протокол, в котором фиксируются результаты экспериментов и промежуточных вычислений. Осциллограммы напряжений, полученные с помощью цифрового осциллографа, необходимо зарисовать или скопировать на флешку, подключив её к *USB*-порту осциллографа. По окончании экспериментов необходимо выключить питание лабораторного оборудования.

После завершения работы преподаватель проверяет и подписывает протокол, на основании которого каждый студент оформляет индивидуальный отчет по лабораторной работе в соответствии с методическими указаниями к оформлению текстовых работ [4]. Примерное содержание отчёта представлено в методических указаниях по каждой лабораторной работе.

В тексте отчёта каждому рисунку, таблице должно предшествовать предложение с указанием содержания рисунка, таблицы, а каждой расчётной формуле — описание рассчитываемой величины.

Каждая таблица должна иметь заголовок, состоящий из слова «Таблица», её номера и названия, написанного с заглавной буквы и отделённого от номера знаком «—» (тире).

Под полем каждого рисунка должна быть указана подрисуночная подпись, состоящий из сокращенного слова «Рис.», номера рисунка и его и названия, написанного с заглавной буквы и отделённого от номера знаком «—» (тире).

Защита отчета проводится на очередном занятии перед выполнением следующей лабораторной работы.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является получение практических навыков сборки резистивных электрических цепей постоянного тока, включения в цепь измерительных приборов и исследования свойств таких цепей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическим током называется направленное движение носителей электрических зарядов.

Электрическим напряжением между двумя точками цепи называется работа по перемещению электрического заряда в один кулон из одной точки в другую.

В теории цепей принято постоянное напряжение и постоянный ток обозначать прописными буквами U и I , а мгновенные значения переменного напряжения и переменного тока строчными буквами u и i соответственно.

Электрической цепью называется совокупность элементов, предназначенных для прохождения электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью электрических напряжений и токов.

По виду соединения элементов цепи различают неразветвленные и разветвленные электрические цепи.

Неразветвленной называется цепь, через элементы которой протекает один и тот же ток I . Такая цепь образуется путем последовательного соединения элементов (рис. 1).

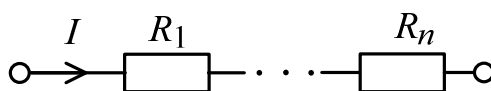


Рис. 1 — Электрическая цепь с последовательным соединением элементов

Разветвлённой называется электрическая цепь, в которой токи элементов могут быть разными, например, цепь с параллельным соединением элементов, которые находятся под одним и тем же напряжением (рис. 2).

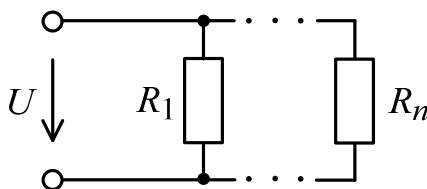


Рис. 2 — Электрическая цепь с параллельным соединением элементов

Разветвлённая цепь со смешанным соединением элементов представляет собой комбинацию участков с последовательного и параллельного соединения элементов.

Ветвью электрической цепи называется участок цепи, по элементам которого протекает один и тот же ток. Направление тока ветви электрической цепи обычно обозначается стрелкой на проводнике, а направление напряжения — стрелкой, параллельной ветви.

Узлом электрической цепи называется точка соединения трех и более ветвей. На схеме электрической цепи узлы нумеруют арабскими цифрами в скобках (рис. 3). На рис. 3 изображён участок цепи с двумя узлами на постоянном токе (а) и на переменном токе (б).

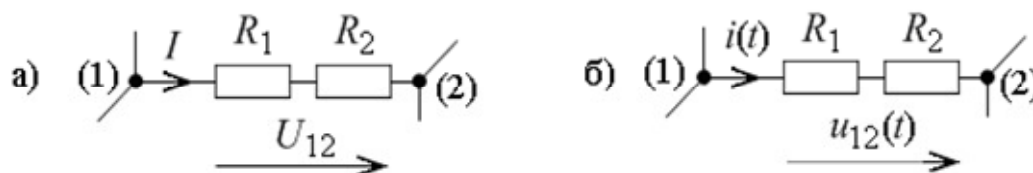


Рис. 3 — Ветви цепей постоянного тока (а) и переменного тока (б)

Согласно закону Ома ток, протекающий в сопротивлении, прямо пропорционален приложенному напряжению и обратно пропорционален сопротивлению

$$I = \frac{U}{R}.$$

Отсюда напряжение

$$U = IR.$$

Мгновенная мощность, поступающая в сопротивление на постоянном токе, является положительной вещественной величиной

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}.$$

Согласно первому закону Кирхгофа алгебраическая сумма мгновенных значений токов ветвей, подключенных к узлу электрической цепи равно нулю

$$\sum_{k=1}^m I_k = 0,$$

где m — число ветвей, подключенной к узлу; k — номер ветви; I_k — ток k -й ветви.

При составлении уравнений по первому закону Кирхгофа токам, направленным к узлу, присваивается один знак, например, «+», а токам, направленным от узла — знак «-».

Число независимых уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, для цепи, содержащей q узлов, определяется по формуле

$$M = q - 1.$$

Контуром электрической цепи называется замкнутый путь, состоящий из ветвей цепи, при обходе которого ни один из узлов контура не встречается два-

жды (рис. 4). На схеме электрической цепи контура римскими цифрами.

Согласно второму закону Кирхгофа алгебраическая сумма напряжений на пассивных элементах, входящих в контур, равна алгебраической сумме мгновенных значений ЭДС источников, действующих в этом контуре. При суммировании напряжения на элементах и ЭДС источников, направление которых совпадает с выбранным направлением обхода контура, считают положительными, а противоположно направленными напряжения и ЭДС — отрицательными.

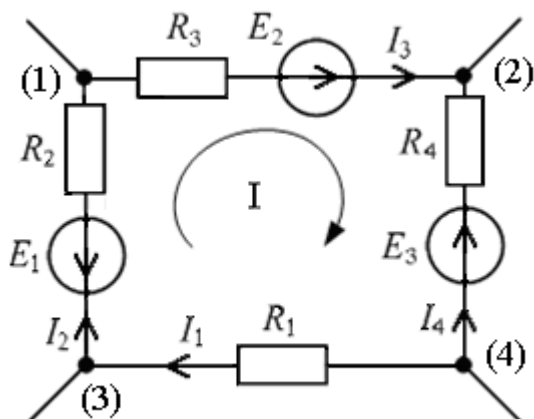


Рис. 4 — Контур электрической цепи постоянного тока

В математической форме второй закон Кирхгофа для цепи постоянного тока записывается в виде

$$\sum_{k=1}^m U_k = \sum_{i=1}^n E_i ,$$

где m — число пассивных элементов контура; n — число источников ЭДС, действующих в контуре.

Число независимых уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа, для цепи, содержащей q узлов и p ветвей, определяется по формуле $N = p - q + 1$.

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

При выполнении лабораторной работы используются модули стенда «Теория электрических цепей»: «Резисторы/активная нагрузка», «Измерительные приборы», «Мультиметры» и «Источник питания»;

Модуль «Резисторы/активная нагрузка» установлен в одном корпусе с модулями «Реактивные элементы» и «Нелинейные элементы» (рис. 5, а) и представляет собой набор из трёх гальванически развязанных сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , дискретно регулируемых в диапазоне от 50 до 2000 Ом.

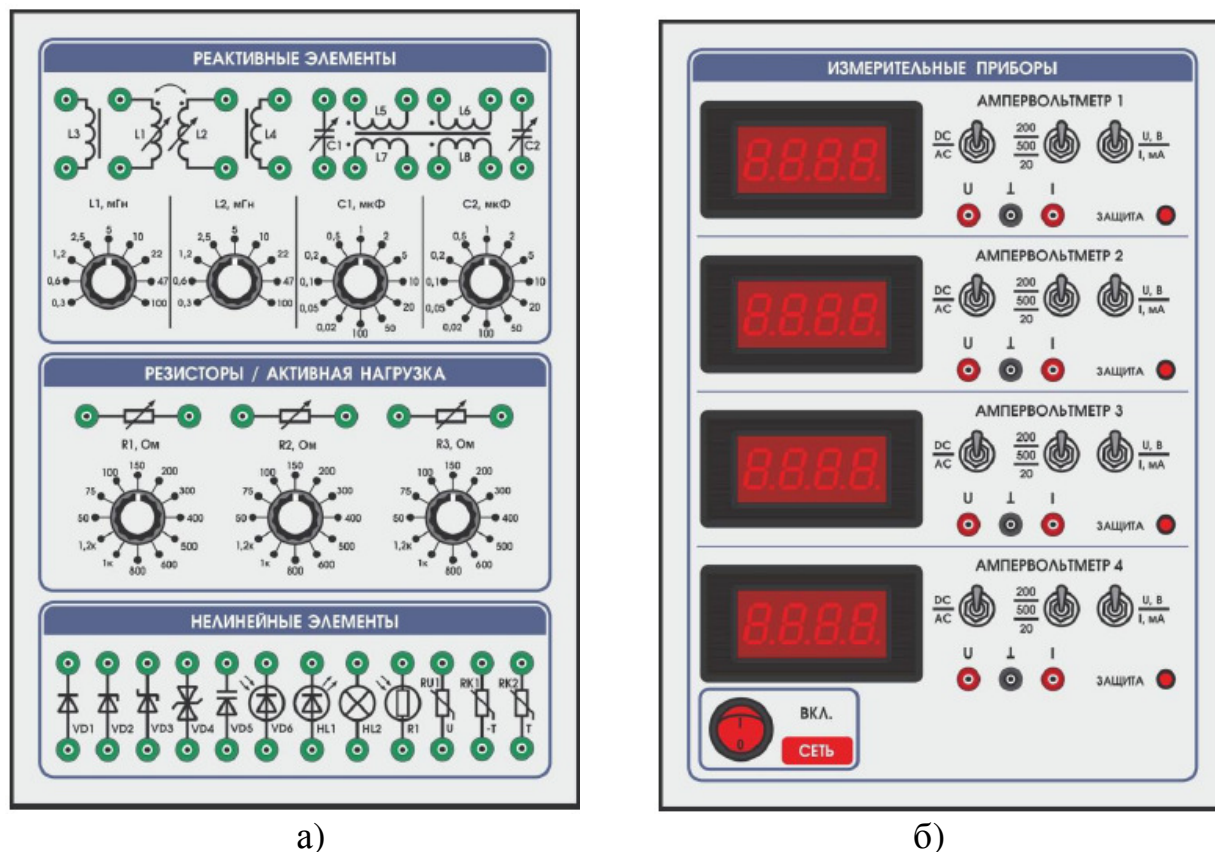


Рис. 5 — Модули «Реактивные элементы», «Резисторы/активная нагрузка», «Нелинейные элементы» (а) и «Измерительные приборы» (б)

Модуль «Измерительные приборы» (рис. 5, б) содержит четыре цифровых ампервольтметра, способных работать в режиме амперметра, измеряющего ток, или в режиме вольтметра, измеряющего напряжение. Технические характеристики ампервольтметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Технические характеристики ампервольтметров

Наименование	Значение
Пределы измерения постоянного/переменного напряжения, В	20, 200, 500
Пределы измерения постоянного/переменного тока, мА	20, 200, 500
Погрешность измерения напряжения и тока, %	не более 2,5
Питание модуля от промышленной сети	220 В, 50 Гц

Вид измеряемого напряжения или тока (переменный или постоянный) выбирается путём переключения тумблера «DC/AC» (англ. *direct current/alternating current* — постоянный ток/переменный ток). При измерении постоянного напряжения и тока гнезда красного цвета предназначены для подключения напряжения положительной полярности, а гнезда чёрного цвета — отрицательной полярности.

Ампервольтметры гальванически развязаны друг от друга и от питающей их сети и имеют систему защиты от перегрузки в режиме измерения тока. Включение и выключение модуля осуществляется с помощью клавишного выключателя красного цвета «Вкл», расположенного в левой нижней части лицевой панели модуля.

Модуль «Мультиметры» содержит в своём составе два мультиметра типа **Mastech MY63**. Внешний вид мультиметра показан на рис. 6, а.

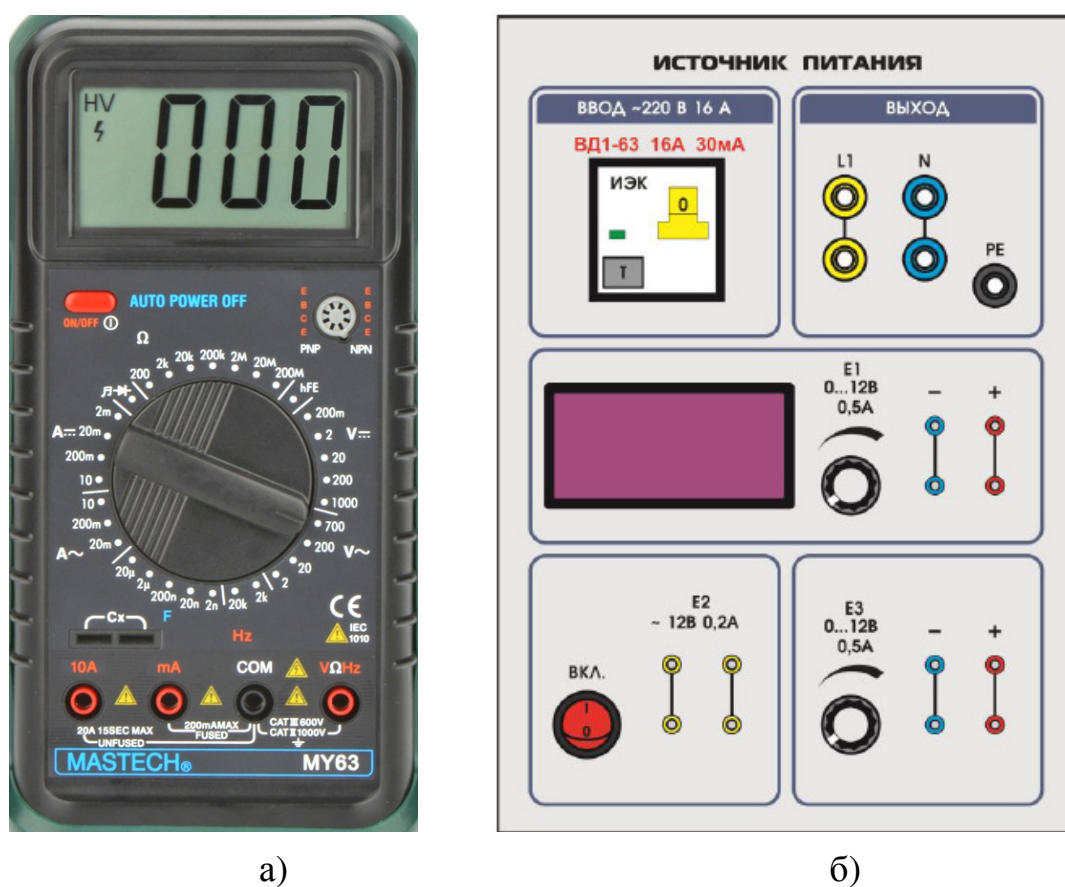


Рис. 6 — Мультиметр **Mastech MY63** и модуль «Источник питания»

Мультиметр **Mastech MY63** обеспечивает цифровую индикацию результатов измерения и имеет следующие технические характеристики:

- измерение постоянного напряжения — от 0,1 мВ до 1000 В;
- измерение переменного напряжения — от 1 мВ до 700 В;
- измерение постоянного тока — от 10 мкА до 10 А;
- измерение переменного тока — от 100 мкА до 10 А;
- измерение сопротивления — от 0,1 Ом до 20 МОм;
- входное сопротивление мультиметра — 10 Мом.

Включение мультиметра осуществляется нажатием клавишного выключателя красного цвета «**ON OFF**» (англ. **ON** — включено, **OFF** — выключено), расположенного справа под дисплеем прибора.

Переключение режимов работы мультиметра производится с помощью многопозиционного поворотного переключателя, расположенного по центру в средней части передней панели.

На рис. 7 показаны измерительные входы мультиметра:

- «**10 A**» — вход для измерения тока до 10 А;
- «**mA**» — вход для измерения тока до 200 мА;
- «**COM**» — (англ. common — общий) общий вход («земля»);
- «**VΩ**» — вход для измерения напряжения и сопротивления.



Рис. 7 — Измерительные входы мультиметра

Для измерения напряжения подключите красный щуп к входу «**VΩ**», а черный — к входу «**COM**». Установите поворотный переключатель режима работы в положение, соответствующее требуемому пределу измерения напряжения, и подсоедините щупы параллельно участку исследуемой цепи.

Для измерения тока не более 200 мА подключите красный щуп к входу «**mA**», а черный — к входу «**COM**». Установите поворотный переключатель в положение, соответствующее требуемому пределу измерения тока, и присоедините щупы последовательно в месте разрыва исследуемой цепи.

При измерении постоянного напряжения или тока дисплей покажет полярность напряжения, приложенного к красному щупу. Появление на дисплее мультиметра цифры «1» означает перегрузку, для устранения которой необходимо включить больший предел измерения.

Модуль «**Источник питания**» (рис. 6, б) содержит в своём составе:

- стабилизированный источник постоянного напряжения «**E1**», регулируемый в диапазоне от 0 до +12 В, оборудованный цифровым вольтметром;
- стабилизированный источник постоянного напряжения «**E3**», регулируемый в диапазоне от 0 до +12 В;
- два нерегулируемых источника переменного напряжения, один «**E2**» на 12 В/0,2 А, 50 Гц, а другой на 220 В/16 А, 50 Гц.

Источники постоянного напряжения гальванически развязаны друг от друга и от питающей их промышленной сети. Каждый источник постоянного напряжения оборудован встроенной системой автоматического отключения, которая срабатывает в случае перегрузки источника по току. При срабатывании защиты необходимо отключить питание стенда от промышленной сети, устранить причину перегрузки и снова включить питание стенда.

Включение и выключение модуля осуществляется с помощью выключателя **ВД1-63**, расположенного слева в верхней части лицевой панели модуля.

Включение и выключение низковольтных источников напряжения (не более 12 В) осуществляется с помощью отдельного клавишного выключателя «**Вкл**» красного цвета, расположенного слева в нижней части передней панели модуля.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением элементов

4.1.1. Собрать лабораторную установку (рис. 8), используя три переменных сопротивления R_1 , R_2 , R_3 модуля «**Резисторы/активная нагрузка**», два ампервольтметра модуля «**Измерительные приборы**» и регулируемый источник постоянного напряжения «**Е1**» модуля «**Источник питания**». В одном из ампервольтметров включить режиме амперметра A_1 постоянного тока.

Внимание. При сборке необходимо следить за тем, чтобы нумерация используемых элементов модулей совпадала с нумерацией элементов, указанной на схеме лабораторной установки.

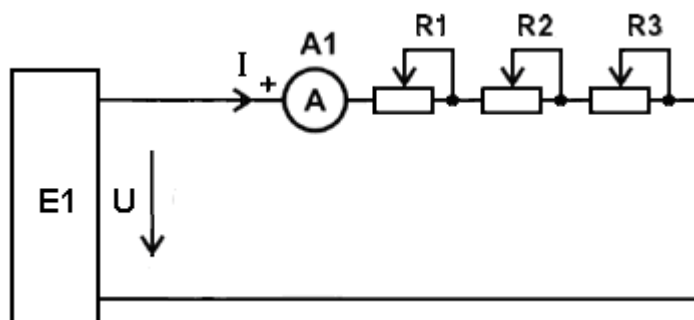


Рис. 8 — Схема лабораторной установки для исследования цепи с последовательным соединением элементов

4.1.2. В соответствии номером варианта, заданного преподавателем, установить значения сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , указанные в таблице 2.

Таблица 2 — Параметры цепи с последовательным соединением элементов

Вариант	1	2	3	4	5
R_1 , Ом	50	100	400	150	100
R_2 , Ом	100	150	200	100	300
R_3 , Ом	400	300	100	400	200

4.1.3. Рассчитать эквивалентное сопротивление цепи $R_3 = R_1 + R_2 + R_3$ и найденное значение занести в таблицу 3.

Таблица 3 — Результаты измерений и расчёта

Измеренные значения		Расчетные значения							
U , В	I , мА	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	R'_1 , Ом	R'_2 , Ом	R'_3 , Ом	R_3 , Ом	R'_3 , Ом

4.1.4. Представить собранную установку для проверки преподавателю и, получив разрешение на выполнение экспериментов, включить питание модулей «Измерительные приборы» и «Источник питания». По показаниям цифрового вольтметра, встроенного в источник питания «Е1» установить его выходное напряжение $U = 10$ В и занести установленное значение в таблицу 3.

4.1.5. Измерить входной ток I цепи по показаниям амперметра А1. С помощью мультиметра **Mastech** MY63 измерить напряжения U_1 , U_2 , U_3 на сопротивлениях R_1 , R_2 , R_3 . Результаты измерений занести в таблицу 3.

4.1.6. Используя найденные значения тока I и напряжений U , U_1 , U_2 , U_3 , рассчитать на основании закона Ома эквивалентное сопротивление цепи $R'_3 = U/I$, а также сопротивления её элементов $R'_1 = U_1/I$, $R'_2 = U_2/I$, $R'_3 = U_3/I$. Найденное значение занести в таблицу 3.

4.2. Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением элементов

4.2.1. Собрать лабораторную установку (рис. 9), используя три регулируемых сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и четыре ампервольтметра, работающие в режиме амперметров А1, А2, А3, А4 постоянного тока.

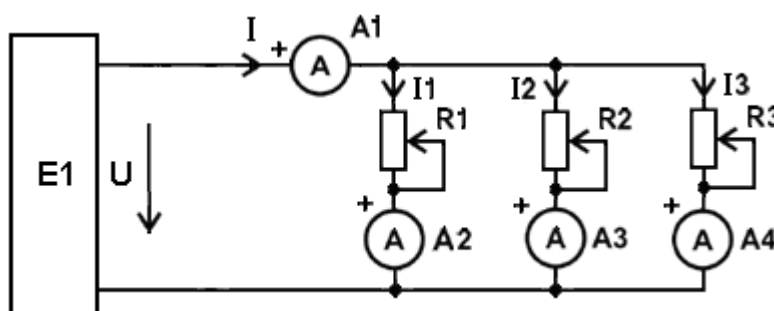


Рис. 9 — Схема лабораторной установки для исследования цепи с параллельным соединением элементов

4.2.2. В соответствии с номером заданного варианта установить значения сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , указанные в таблице 4.

Таблица 4 — Параметры цепи с параллельным соединением элементов

Вариант	1	2	3	4	5
R_1 , Ом	100	500	400	200	300
R_2 , Ом	200	100	500	400	600
R_3 , Ом	300	200	100	600	500

4.2.3. Представить собранную установку для проверки преподавателю и, получив разрешение на выполнение экспериментов, включить питание модулей «**Измерительные приборы**» и «**Источник питания**». По показаниям цифрового вольтметра, встроенного в источник питания «**Е1**» установить его выходное напряжение $U = 10$ В и занести установленное значение в таблицу 5.

4.2.4. Измерить входной ток I цепи и токи I_1 , I_2 , I_3 ветвей по показаниям амперметров А1, А2, А3, А4. Результаты измерений занести в таблицу в таблицу 5.

Таблица 5 — Результаты измерений и расчёта

Измеренные значения					Расчётные значения				
U , В	I , А	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	R'_1 , Ом	R'_2 , Ом	R'_3 , Ом	G'_3 , См	R'_3 , Ом

4.2.5. По результатам измерений рассчитать сопротивления R'_1 , R'_2 , R'_3 ветвей, эквивалентную проводимость $G'_3 = \frac{1}{R'_1} + \frac{1}{R'_2} + \frac{1}{R'_3}$ и эквивалентное сопротивление $R'_3 = 1/G'_3$ цепи (рис. 9). Результаты расчёта занести в таблицу 5.

4.3. Исследование цепи постоянного тока со смешанным соединением элементов

4.3.1. Собрать лабораторную установку (рис. 10) со смешанным соединением сопротивлений, используя три регулируемых сопротивления R_1 , R_2 , R_3 , три ампервольтметра А1, А2, А3 в режиме амперметра постоянного тока.

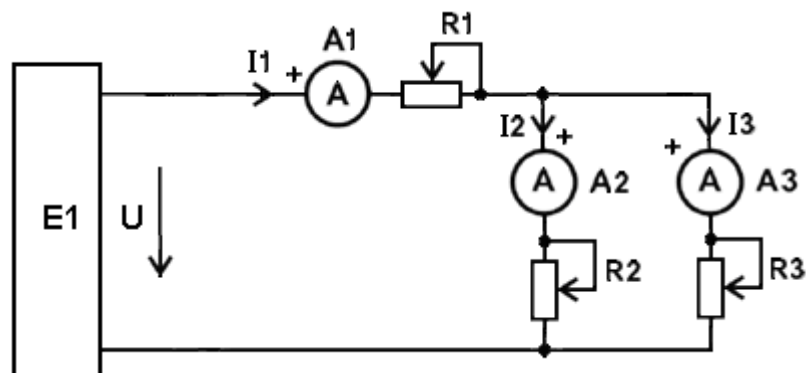


Рис. 10 — Схема лабораторной установки для исследования цепи со смешанным соединением элементов

4.3.2. В соответствии с номером заданного варианта установить значения сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , указанные в таблице 6.

Таблица 6 — Параметры цепи со смешанным соединением элементов

Вариант	1	2	3	4	5
R_1 , Ом	200	300	400	600	500
R_2 , Ом	500	1000	600	800	2000
R_3 , Ом	800	500	1000	700	800

4.3.2. Представить собранную установку для проверки преподавателю и, получив разрешение на выполнение экспериментов, включить питание модулей «Измерительные приборы» и «Источник питания». По показаниям цифрового вольтметра, встроенного в источник питания «Е1» установить его выходное напряжение $U = 10$ В и занести это значение в таблицу 5.

4.3.3. Измерить напряжение U на входе цепи, напряжение U_1 на сопротивлении R_1 , напряжение U_2 на сопротивлениях R_2 , R_3 , а также токи ветвей I_1 , I_2 , I_3 . Результаты измерения занести в таблицу 7.

Таблица 7 — Результаты измерений и расчёта

Измеренные значения						Расчётные значения				
U , В	U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	P_1 , Вт	P_2 , Вт	P_3 , Вт	P , Вт	R_3 , Ом

4.3.3. Рассчитать мощность каждого сопротивления цепи по формуле $P_i = U_i I_i$, а также полную мощность цепи $P = U^2 / R_3$, где $R_3 = R_1 + R_2 R_3 / (R_2 + R_3)$ — эквивалентное сопротивление цепи (рис. 10). Результаты расчёта занести в таблицу 7.

4.3.4. Представить протокол лабораторной работа на проверку преподавателю. После проверки выключить питание осциллографа и разобрать лабораторную установку.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Отчет должен содержать:

- титульный лист (см. Приложение А);
- цель работы;
- схемы лабораторных установок;
- краткое описание выполненных экспериментов и расчётов, таблицы с результатами экспериментальных измерений и расчётные формулы;
- выводы по работе.

5.2. Рассчитать сумму напряжений U_1 , U_2 , U_3 , приведённых в таблице 3, и, сравнив найденное значение с напряжением U на входе цепи (рис. 8), сделать

вывод о соблюдении второго закона Кирхгофа.

5.3. Рассчитать сумму токов I_1 , I_2 , I_3 , приведённых в таблице 5 и, сравнив найденное значение с входным током I цепи (рис. 9), сделать вывод о соблюдении первого закона Кирхгофа.

5.4. Рассчитать сумму мощностей P_1 , P_2 , P_3 , приведённых в таблице 7, и, сравнив её с мощностью P цепи (рис. 10), сделать вывод о выполнении в цепи баланса мощностей.

5.5. В выводах перечислить исследованные цепи, оценить степень соответствия результатов измерений и расчётов и указать причины их расхождений

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Дать определения электрического тока, напряжения и мощности.

7.2. Дать определения электрической цепи и её основных элементов.

7.3. Дать определение ветви и узла электрической цепи и пояснить, как производится их нумерация.

7.4. Записать и сформулировать закон Ома.

7.5. Записать и сформулировать первый закон Кирхгофа.

7.6. В каком случае токи, входящие в уравнение, составленное по первому закону Кирхгофа, берутся со знаком «+», а в каком — со знаком «-»?

7.7. Дать определение контура электрической цепи и пояснить, как выполняется обозначение направления его обхода на схеме.

7.8. Записать и сформулировать второй закон Кирхгофа.

7.9. В каком случае напряжения и ЭДС, входящие в уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, берутся со знаком «+», а в каком — со знаком «-»?

7.10. В чём заключается баланс мощностей электрической цепи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, В. П. Основы теории цепей / В. П. Попов. — М.: Высшая школа, 2000. — 574 с.

2. Атабеков, Г. И. Теоретические основы электротехники / Г. И. Атабеков. — М.: Энергия, 1978. — 420 с.

3. Зевеке, Г. В. Основы теории цепей / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 528 с.

4. Оформление текстовых работ: методические указания / СевГУ; сост. В. Г. Слёзкин, П. П. Ермолов. — Севастополь: Изд-во СевГУ, 2015. — 19 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Образец титульного листа

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
Институт радиоэлектроники и информационной безопасности
Кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации»

ОТЧЁТ
по лабораторной работе

«_____»
(название лабораторной работы)
по дисциплине «Основы теории цепей и электротехника»

Выполнил студент _____
(фамилия, инициалы)

Группа _____

Отметка о защите _____

Преподаватель _____
(фамилия, инициалы)

Севастополь
20__

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторной работы*

Составители: **Бойко** Анна Ивановна, **Зиборов** Сергей Родионович

В авторской редакции

Изд. № 305/19. Объем 1 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»