

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ульяновский государственный университет»

Инженерно-физический факультет высоких технологий

Кафедра радиофизики и электроники

С.Г. Новиков, Е.В. Лычагин, А.С. Кадочкин

Лабораторные работы
по дисциплине
«Электротехника и электроника. Постоянный ток»

Методические указания

Ульяновск 2012

УДК 621.314

ББК

Н

*Печатается по решению Ученого совета
инженерно-физического факультета высоких технологий
Ульяновского государственного университета*

Рецензент

*кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и АПУ Ульяновского
государственного технического университета (УлГТУ)*

В.И.Доманов

Новиков, С.Г., Лычагин Е.В., Кадочкин А.С.

Н 00 Лабораторные работы по дисциплине «Электротехника и электроника. Постоянный ток»: методические указания / С. Г. Новиков, Е.В. Лычагин, А.С. Кадочкин. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – 46 с.

В методических указаниях к лабораторным работам по дисциплине «Электротехника и электроника» определены цели и задачи, порядок выполнения лабораторных работ, требования по содержанию отчета по работе. В описании каждой лабораторной работы приводятся краткие теоретические сведения по исследуемому объекту и сформулированы контрольные вопросы, в экспериментальной части раскрывается техника проведения эксперимента. Работы знакомят студентов с определением параметров и характеристик основных элементов и методов анализа электрических цепей.

Пособие содержит четыре лабораторных работы.

Предназначено для студентов, изучающих курсы «Электротехника и электроника», «Теоретические основы электротехники».

© Новиков С.Г., 2012

© Ульяновский государственный университет, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Цели и задачи лабораторного практикума	4
Правила оформления отчета по лабораторной работе	6
Порядок отчетности и приема зачета по лабораторным работам.....	8
Описание лабораторного стенда.....	9
Лабораторная работа №1	16
Лабораторная работа №2	20
Лабораторная работа №3	27
Лабораторная работа №4	37
Список литературы	43
Приложение	44

Цели и задачи лабораторного практикума

Цель:

Получение и закрепление профессиональных знаний в области электротехники и электроники посредством ознакомления с работой лабораторного оборудования и измерительных приборов, получения практических навыков постановки экспериментов по исследованию электронных элементов и компонентов.

Задачи:

1. Сформировать представление о принципах работы электронных элементов и узлов.
2. Изучить работу основных электронных элементов.
3. Ознакомить студентов с основными параметрами электронных элементов и компонентов.
4. Расширить знания учащихся об областях применения электронных элементов и компонентов.

Рабочее задание к каждой работе предусматривает:

1. Предварительную домашнюю подготовку студента к выполнению лабораторной работы, включающую:
 - проработку рекомендуемой литературы (см. раздел «Рекомендуемая литература») и описания настоящих методических указаний по исследуемому объекту;
 - ответы на контрольные вопросы;
 - заготовку отчета (бланк протокола исследований) по выполняемой работе в соответствии с правилами оформления (см. раздел 2) со свободными местами для внесения результатов экспериментов и формулирования выводов по работе;
 - заготовку (при необходимости) требуемого количества листов кальки или клетчатой бумаги для копирования осциллограмм с экрана осциллографа.
2. Получение индивидуального задания (номера варианта) для каждой бригады студентов.
3. Ознакомление с лабораторным оборудованием и измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента.
4. Проведение эксперимента по определению параметров и характеристик

исследуемого объекта.

5. Выполнение необходимых расчетов и сравнение их результатов с данными экспериментальных исследований.
6. Формулирование выводов и оформление отчета по лабораторной работе.

Правила оформления отчета по лабораторной работе

Отчет оформляется на листах белой (клетчатой) бумаги формата А4 (210×297 мм) или близком к нему. Допускается использовать обе стороны листа.

Текст следует оформлять с соблюдением размеров полей: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху – 20 мм, снизу – 30 мм.

Титульный лист отчета оформляется следующим образом:

**Ульяновский государственный университет
Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра радиопизики и электроники**

Дисциплина «Электротехника и электроника»

ОТЧЕТ по лабораторной работе

_____ (название работы)

Выполнил(и) студент(ы) группы _____ (группа) _____ (ФИО)

Ульяновск _____ (год)

Отчет должен содержать:
цель работы;

задание с исходными данными;

описание по пунктам выполненной работы с приведением необходимых схем, рисунков, таблиц, графиков, а также расчетных формул с численными значениями;

выводы по каждому пункту экспериментальной части задания.

Текст отчета, рисунки, таблицы выполняются чернилами, фломастером или пастой одного цвета и оформляются в соответствии с требованиями к отчетам по научно-исследовательским работам (ГОСТ 7.32-2001). Рисунки должны обязательно иметь номер и подрисуночные подписи, таблицы – номер и наименование.

Принципиальные схемы и схемы замещения представляются в виде рисунков и должны соответствовать ГОСТ 2.702-75, а обозначения в схемах – ГОСТ 2.721-74.

Графики представляются в виде рисунков и должны иметь поясняющие обозначения или надписи, указывающие на принадлежность экспериментальным или расчетным характеристикам.

Рисунки, оформленные на кальке или клетчатой (миллиметровой) бумаге, в отчете размещаются по ходу описания работы и должны быть приклеены.

Все листы отчета должны быть пронумерованы и скреплены.

Порядок отчетности и приема зачета по лабораторным работам

Зачет по каждой лабораторной работе производится преподавателем при наличии правильно оформленного отчета в результате индивидуального собеседования со студентами по выявлению у них знаний и практических навыков по исследуемому объекту.

Допускается оформление одного отчета на бригаду студентов.

Прием зачета по лабораторной работе проводится во время текущего занятия или в любой период времени последующих занятий. Студенты, имеющие к началу очередного занятия более двух задолженностей, к занятию не допускаются.

По окончании лабораторного практикума организуется зачетное занятие, на котором преподавателем подводятся итоги выполнения работ и после сдачи всех задолженностей проводится устный опрос студентов по тематике лабораторного практикума.

Описание лабораторного стенда

Все лабораторные работы, представленные в данных методических указаниях, выполняются на универсальном лабораторном стенде. Основными компонентами лабораторного стенда являются:

- блок генераторов напряжений;
- наборная панель;
- набор миниблоков;
- набор трансформаторов;
- блок мультиметров;
- ваттметр;
- соединительные провода и перемычки, питающие кабели.

Для осуществления в полном объёме всех экспериментов, описанных в данном руководстве, необходим двухканальный осциллограф, имеющий режим работы «X-Y».

Общая компоновка лабораторного стенда показана на рис. 1. На лабораторном столе закреплена рама, в которой устанавливаются отдельные блоки. Расположение блоков может изменяться для проведения того или иного конкретного эксперимента. Наборная панель, на которой собирается электрическая цепь из миниблоков может устанавливаться и непосредственно на столе.

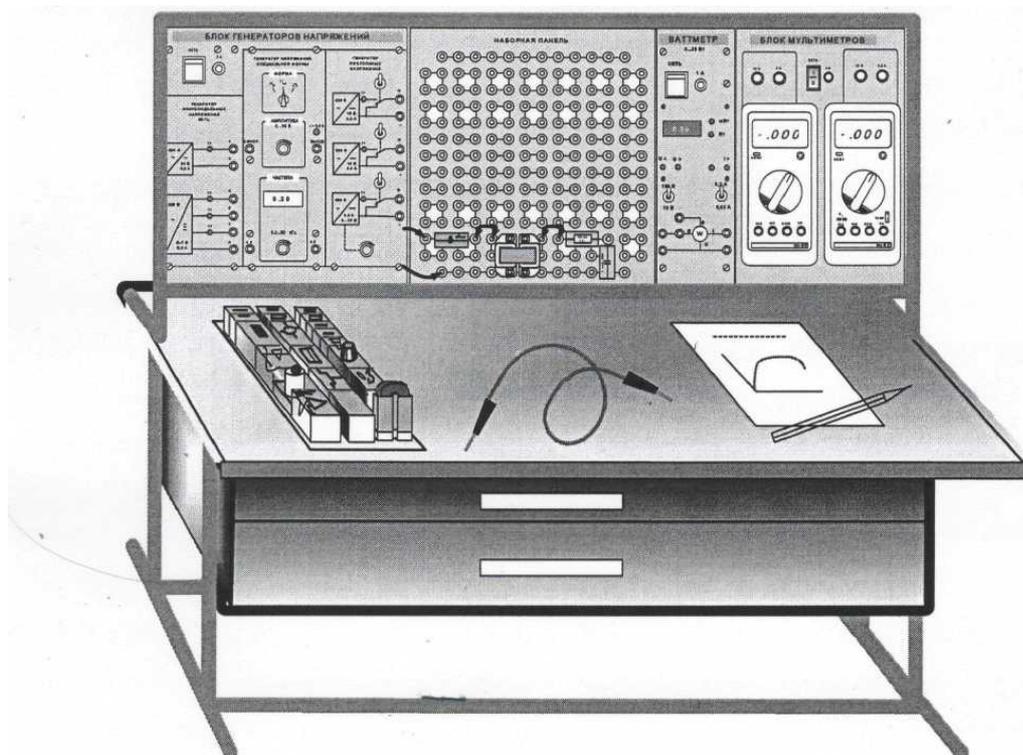


Рис. 1

В выдвижных ящиках хранятся наборы миниблоков и устройств, соединительные провода, перемычки и кабели, методические материалы. Один из наборов миниблоков показан на рис. 1 на столе. Ящики имеют встроенные замки.

Лицевая панель **блока генераторов** напряжений показана на рис. 2. Блок состоит из генератора синусоидальных напряжений, генератора напряжений специальной формы и генератора постоянных напряжений.

Все генераторы включаются и выключаются общим выключателем «СЕТЬ» и защищены от внутренних коротких замыканий плавким предохранителем с номинальным током 2 А.

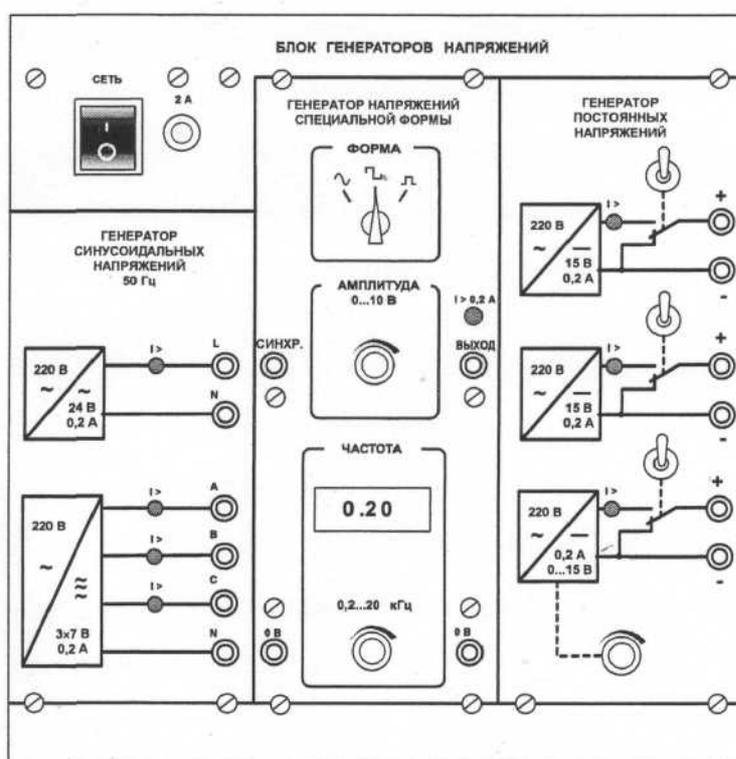


Рис. 2

На лицевой панели блока указаны номинальное напряжение и ток каждого источника напряжения, а также диапазоны изменения регулируемых выходных величин. Все источники напряжений гальванически изолированы друг от друга и от корпуса блока и защищены от перегрузок и внешних коротких замыканий самовосстанавливающимися предохранителями с номинальным током 0,2 А. О срабатывании предохранителя свидетельствует индикатор «I».

Генератор синусоидальных напряжений содержит однофазный источник напряжения 24 В (вторичная обмотка питающего трансформатора 220/24 В) и

Гнёзда на этой панели соединены в узлы, как показано на ней линиями. Поэтому часть соединений выполняется автоматически при установке миниблоков в гнёзда панели. Остальные соединения выполняются соединительными проводами и перемычками. Так, на фрагменте цепи, показанной на рис. 3, напряжение подаётся проводами через выключатель к одной из обмоток трансформатора. К другой обмотке подключены резистор и конденсатор, соединённые последовательно.

Для измерения токов в ветвях цепи удаляется одна из перемычек и вместо неё в образовавшийся разрыв включается амперметр. Для измерения напряжений на элементах цепи параллельно рассматриваемому элементу включается вольтметр.

Миниблоки представляют собой отдельные элементы электрических цепей (резисторы, конденсаторы, индуктивности диоды, транзисторы и т.п.), помещённые в прозрачные корпуса, имеющие штыри для соединения с гнёздами наборной панели. Некоторые миниблоки содержат несколько элементов, соединённых между собой или более сложные функциональные блоки. На этикетках миниблоков изображены условные обозначения элементов или упрощённые электрические схемы их соединения, показано расположение выводов и приведены основные технические характеристики. Миниблоки хранятся в специальном контейнере.

Большинство миниблоков содержат по одному элементу электрических цепей. Состав этого набора приведён в табл. П.3 Приложения.

Набор трансформаторов включает в себя четыре разборных трансформатора, выполненных на разъёмных U-образных сердечниках из электротехнической стали с толщиной листа 0,08 мм. Сечение сердечника 16x12 мм. На трёх трансформаторах установлены катушки 900/300 витков, на четвёртом 100/100 витков, однако, они легко переставляются. Номинальные параметры трансформаторов при частоте 50 Гц приведены в табл. П.4 Приложения.

Блок мультметров предназначен для измерения напряжений, токов, сопротивлений, а также для проверки диодов и транзисторов. Общий вид блока представлен на рис. 4. В нём установлены два серийно выпускаемых мультиметра МУ60, МУ62 или МУ64. Подробная техническая информация о них и правила применения приводится в руководстве по эксплуатации изготовителя. В блоке установлен источник питания мультиметров от сети с выключателем и предохранителем на 1 А. На лицевую панель блока вынесены также четыре предохранителей защиты токовых цепей

мультиметров.

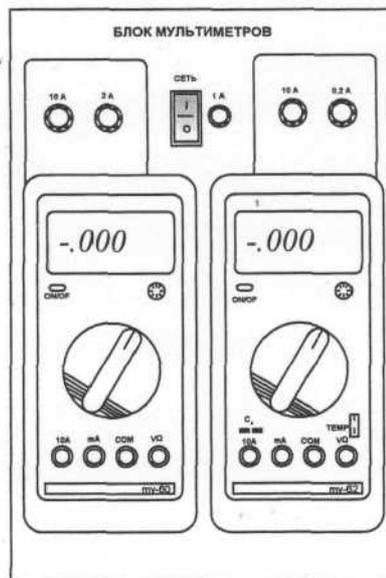


Рис. 4

Для обеспечения надёжной длительной работы мультиметров соблюдайте следующие правила:

Не превышайте допустимых перегрузочных значений, указанных в заводской инструкции для каждого рода работы. Когда порядок измеряемой величины не известен, устанавливайте переключатель пределов измерения на наибольшую величину.

Перед тем, как повернуть переключатель для смены рода работы (не для изменения предела измерения!), отключайте щупы от проверяемой цепи.

Не измеряйте сопротивление в цепи, к которой подведено напряжение.

Не измеряйте ёмкость конденсаторов, не убедившись, что они разряжены.

Будьте внимательны при измерении тока мультиметрами MY62 и MY64. Предохранитель 0,2 А этих мультиметров может перегореть от источников напряжения, имеющихся в данном стенде. Мультиметр MY60 защищен предохранителем 2 А, который не может перегореть от токов, создаваемых источниками данного стенда.

До подключения мультиметра к цепи необходимо выполнить следующие операции:

- 1) выбор измеряемой величины: $-V$, $\sim V$, $-A$, $\sim A$ или ;
- 2) выбор диапазона измерений соответственно ожидаемому результату

измерений;

3) правильное подсоединение зажимов мультиметра к исследуемой цепи.

Присоединение мультиметра как вольтметра, амперметра и омметра показано на рис. 5

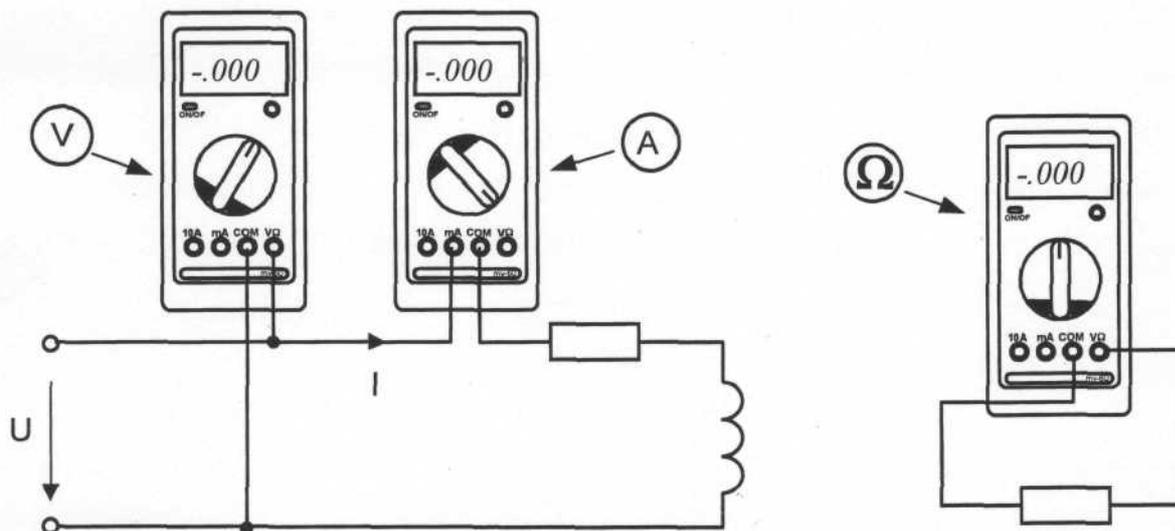


Рис. 5

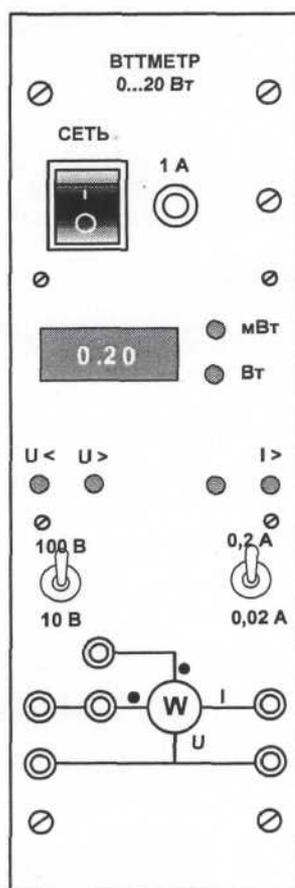


Рис. 6.

Общий вид **ваттметра** приведен на рис. 6. Его принцип действия основан на перемножении мгновенных значений тока и напряжения и отображении среднего значения этого произведения на дисплее прибора в цифровом виде.

Прибор включается в цепь согласно приведённой на лицевой панели схеме. Для измерения активной мощности гнезда, помеченные символом «•», должны быть соединены перемычкой. После сборки схемы необходимо включить выключатель «Сеть» и установить необходимые пределы измерения по току и по напряжению тумблерами. Если выбран заниженный предел измерения, то включается сигнализация перегрузки «I>» или (и) «U>». Если, наоборот, предел завышен, то включается сигнализация «I<» или (и) «U<». Справа от окошка цифровых индикаторов с помощью светодиодов автоматически указывается размерность: Вт или мВт.

Лабораторная работа №1

Электрическая цепь. Закон Ома.

Цель работы: экспериментально исследовать и построить графики зависимостей $I(U)$ при $R=const$ и $I(R)$ при $U=const$.

Задачи:

1. Выполнить эксперименты по исследованию электрических цепей, содержащих резисторы.
2. Построить графики.
3. Сделать выводы по работе.

Общие сведения

Электромагнитное устройство с происходящими в нем и в окружающем его пространстве физическими процессами в теории электрических цепей заменяют некоторым расчетным эквивалентом — электрической цепью.

Электрической цепью называют совокупность соединенных друг с другом источников электрической энергии и нагрузок, по которым может протекать электрический ток. Электромагнитные процессы в электрической цепи можно описать с помощью понятий «ток», «напряжение», «ЭДС», «сопротивление» («проводимость»), «индуктивность», «емкость».

Постоянным током называют ток, неизменный во времени. Постоянный ток представляет собой направленное упорядоченное движение частиц, несущих электрические заряды.

Как известно из курса физики, носителями зарядов в металлах являются свободные электроны, а в жидких — ионы. Упорядоченное движение носителей зарядов в проводниках вызывается электрическим полем, созданным в них источниками электрической энергии.

Источники электрической энергии преобразуют химическую, механическую и другие виды энергии в электрическую. Источник электрической энергии характеризуется значением и направлением ЭДС, а также значением внутреннего сопротивления.

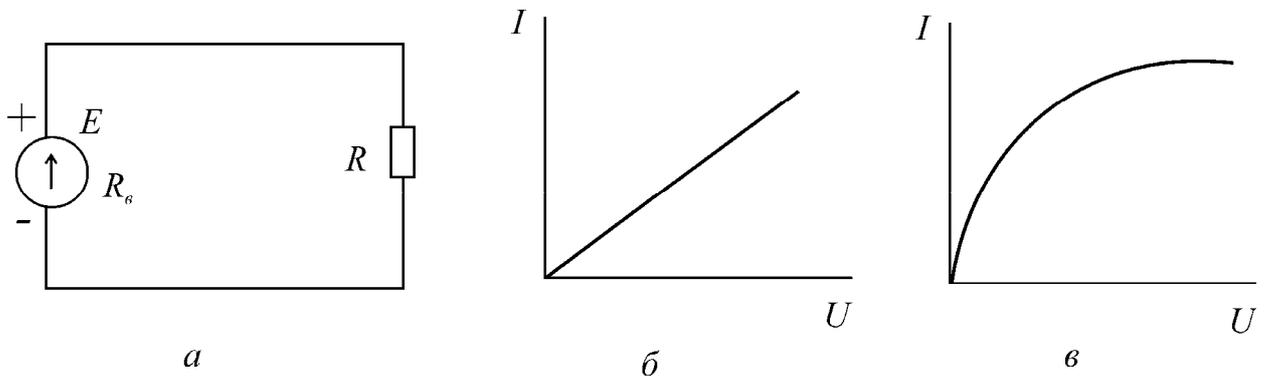


Рис. 1.1

Постоянный ток принято обозначать буквой I , ЭДС источника – E , сопротивление – R , проводимость – G . В Международной системе единиц (СИ) единица тока – ампер (А), единица ЭДС – вольт (В), единица сопротивления – ом (Ом), единица проводимости – сименс (См).

Изображение электрической цепи с помощью условных знаков называют *электрической схемой* (рис. 1.1, а).

Зависимость тока, протекающего по сопротивлению, от напряжения на этом сопротивлении называют вольт-амперной характеристикой (ВАХ). По оси абсцисс на графике обычно откладывают напряжение, а по оси ординат – ток. Сопротивления, ВАХ которых являются прямыми линиями (рис. 1.1, б), называют *линейными*, электрические цепи только с линейными сопротивлениями — *линейными электрическими цепями*.

Сопротивления, ВАХ которых не являются прямыми линиями (рис. 1.1, в), т. е. они нелинейны, называют *нелинейными*, а электрические цепи с нелинейными сопротивлениями — *нелинейными электрическими цепями*.

В электрической цепи в качестве условного положительного направления тока принимается направление движения положительных зарядов, при этом заряды движутся от большего потенциала A к меньшему B (рис. 1.2). Электрическим напряжением называется разность потенциалов между двумя точками (в нашем случае А и В), взятая с обратным знаком:

$$U_{AB} = U = -(\varphi_B - \varphi_A) = \varphi_A - \varphi_B.$$

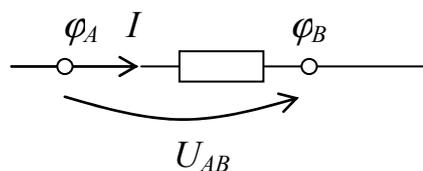


Рис. 1.2.

Поскольку положительное направление напряжения совпадает с направлением уменьшения потенциала, то часто говорят о падении напряжения на участке цепи. Падение напряжения наблюдается на участке цепи, содержащем какую-либо нагрузку, обладающую сопротивлением R :

$$U_{A-B} = IR.$$

Закон Ома выражает математическое соотношение между напряжением U , током I и сопротивлением R на участке цепи:

$$U=IR, I=U/R, R=U/I,$$

где I - ток, А; U - напряжение, В; R - сопротивление, Ом.

В замкнутой цепи, содержащей постоянное сопротивление, ток изменяется пропорционально напряжению. Если при постоянном напряжении изменяется сопротивление, то ток изменяется обратно пропорционально сопротивлению.

Порядок выполнения эксперимента

1. Получите номер варианта у преподавателя. Данные по варианту возьмите в табл. 1.1.
2. Соберите цепь по схеме (рис. 1.3), используя источник постоянного напряжения из блока генераторов и блок сопротивления R_1 , соответствующий вашему варианту, а также мультиметры в режимах измерения тока и напряжения.
3. Измерьте токи, текущие через резистор, устанавливая напряжения, которые указаны в табл. 1.2. Занесите результаты измерения токов в табл. 1.2.
4. Повторите действия, указанные в п. 2-3, для сопротивлений R_2 и R_3 .
5. По данным табл. 1.2 постройте зависимости $I(U)$ для трёх сопротивлений на одном координатном поле.
6. Установите сопротивление $R=100$ Ом и напряжение $U=U_1$. Заменяя последовательно резистор R , на сопротивления, указанные в табл. 1.3, измерьте токи. Занесите данные измерения в табл. 1.3.
7. Повторите действия п. 6 для напряжений U_2 и U_3 .
8. Постройте графики $I(R)$ на одном координатном поле.

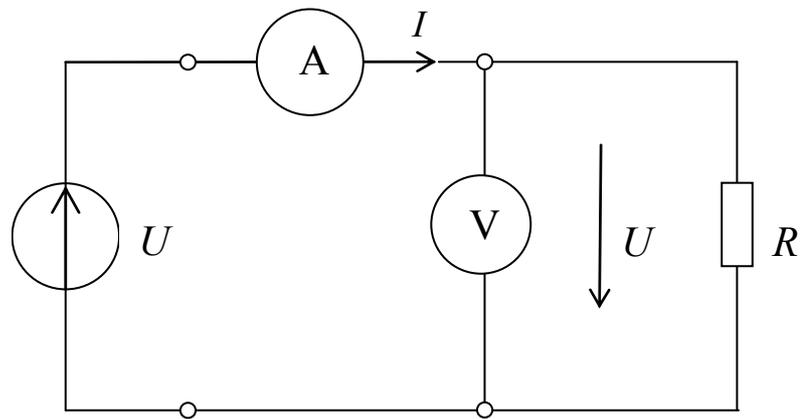


Рис. 1.3

Таблица 1.1

№ варианта	1	2	3	4
R_1 , Ом	100	220	680	10000
R_2 , Ом	150	470	2200	22000
R_3 , Ом	330	1000	4700	33000
U_1 , В	4	3	2	1
U_2 , В	8	7	5	6
U_3 , В	12	10	11	9

Таблица 1.2

U , В	0	2	4	6	8	10	12
I , мА, при $R=R_1$							
I , мА, при $R=R_2$							
I , мА, при $R=R_3$							

Таблица 1.3

R , Ом	100	150	220	330	470	680	1000
I , мА, при $U=U_1$							
I , мА, при $U=U_2$							
I , мА, при $U=U_3$							

Контрольные вопросы

1. Как зависит падение напряжения на участке цепи от сопротивления?
2. Какое сопротивление называется линейным?
3. Чем определяется погрешность измерения тока в схеме, приведенной на рис. 1.3?
4. Почему будут отличаться показания вольтметра и напряжение, выставленное на источнике питания, в схеме, приведенной на рис. 1.3?

Лабораторная работа №2

Цепи с резисторами

Цель работы: исследовать последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов.

Задачи:

1. Выполнить эксперименты по исследованию электрических цепей, содержащих резисторы.
2. Построить графики.
3. Сделать выводы по работе.

Общие сведения

Электрические цепи подразделяют на неразветвленные и разветвленные. На рис. 2.1, а представлена схема простейшей неразветвленной цепи. Во всех элементах ее течет один и тот же ток. Простейшая разветвленная цепь изображена на рис. 2.1, б, в ней имеются три ветви и два узла. В каждой ветви течет свой ток. Ветвь можно определить как участок цепи, образованный последовательно соединенными элементами (через которые течет одинаковый ток) и заключенный между двумя узлами. В свою очередь, узел – это точка цепи, в которой сходятся не менее трех ветвей. Если в месте пересечения двух линий на электрической схеме поставлена точка (рис. 2.2, б), то в этом месте есть электрическое соединение двух линий, в противном случае (рис. 2.2, в) его нет.

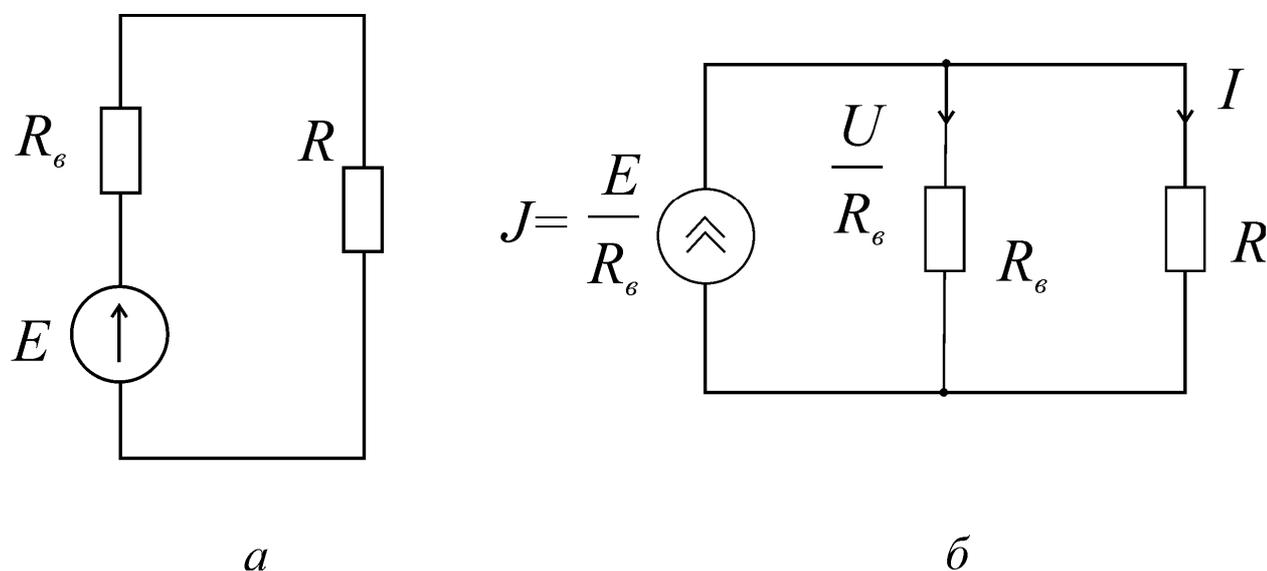


Рис. 2.1

В электрических цепях часто возникает необходимость ограничить величину тока или напряжения. Это реализуется с помощью резисторов, соединяемых последовательно или параллельно.

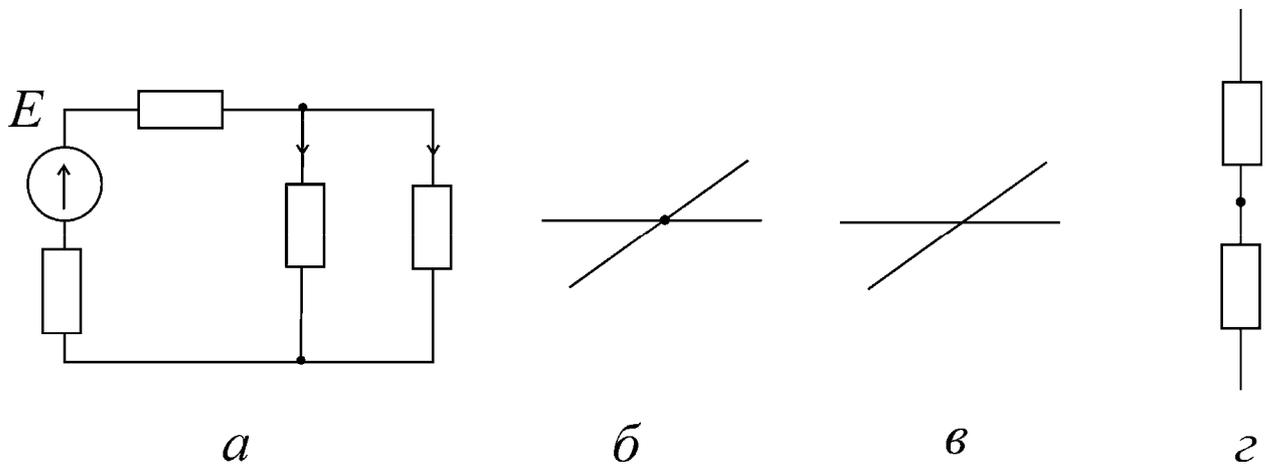


Рис. 2.2

При последовательном соединении резисторов (рис. 2.3) по ним проходит один и тот же ток I . Согласно закону Ома, на каждом из них падает напряжение, пропорциональное сопротивлению и току:

$$U_1=IR_1, U_2=IR_2, U_3=IR_3.$$

Сумма этих частичных напряжений, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, равна полному приложенному напряжению:

$$U=U_1+U_2+U_3=IR_1+IR_2+IR_3=I(R_1+R_2+R_3)=IR_{\text{ЭКВ}}.$$

где $R_{\text{ЭКВ}}=R_1+R_2+R_3$ – эквивалентное сопротивление. Таким образом, совокупная величина последовательно соединенных сопротивлений равна сумме всех сопротивлений. Ток через эти сопротивления определяется приложенным напряжением U и суммарным сопротивлением $R_{\text{ЭКВ}}$:

$$I=U/R_{\text{ЭКВ}}.$$

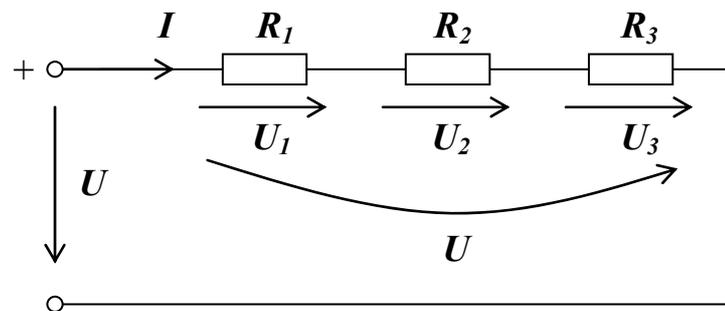


Рис. 2.3

используется в качестве так называемого делителя напряжений, когда подведенное к ветви напряжение распределяется («разделяется») между резисторами прямо пропорционально их сопротивлениям.

Если резисторы или любые другие нагрузки соединены параллельно (рис. 2.4), все они находятся под одинаковым напряжением $U=U_1=U_2=U_3$:

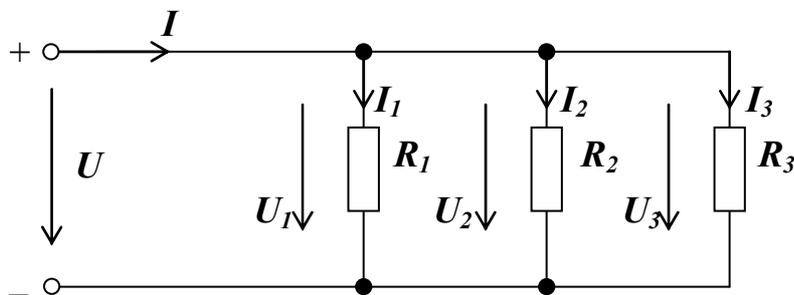


Рис. 2.4

В каждой ветви цепи протекает ток, величина которого зависит от приложенного напряжения и сопротивления данной ветви:

$$I_1=U/R_1; I_2=U/R_2; I_3=U/R_3.$$

Сумма токов всех ветвей в соответствии с первым законом Кирхгофа равна полному току:

$$I=I_1+I_2+I_3=U/R_1+U/R_2+U/R_3=U(1/R_1+1/R_2+1/R_3)=U/R_{\text{ЭКВ}},$$

где $R_{\text{ЭКВ}}=1/(1/R_1+1/R_2+1/R_3)$ – эквивалентное сопротивление. Поскольку проводимость определяется как $G=1/R$, то при параллельном соединении резисторов эквивалентная проводимость определяется суммой проводимостей всех ветвей.

$$G_{\text{ЭКВ}}=G_1+G_2+G_3.$$

Ток в неразветвленной части цепи зависит от приложенного напряжения и эквивалентного сопротивления цепи

$$I=U/R_{\text{ЭКВ}}=UG_{\text{ЭКВ}}.$$

Параллельное соединение резисторов используется для шунтирования, когда часть тока неразветвленного участка направляется в параллельно подключенное сопротивление.

На рис. 2.5 показан пример смешанного соединения резисторов. Цепь состоит из последовательно R_1 и R_2 и параллельно R_3 и R_4 соединенных резисторов.

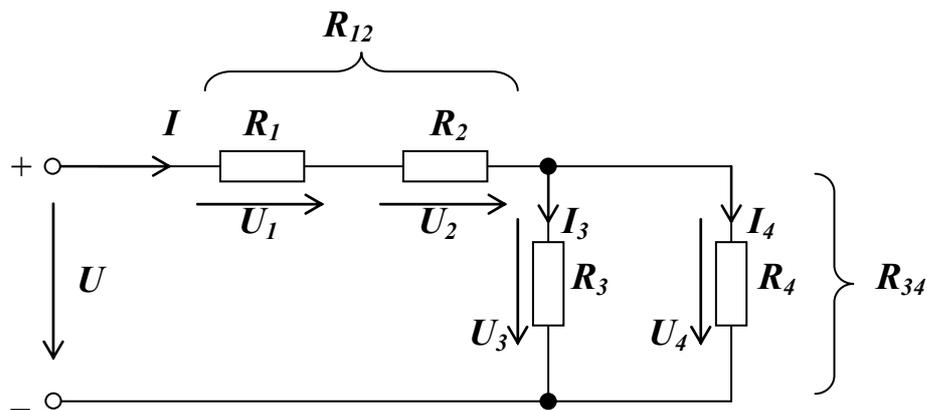


Рис. 2.5

Чтобы вычислить эквивалентное сопротивление цепи, поочередно подсчитывают эквивалентные сопротивления участков цепи, содержащие только последовательно ($R_{12}=R_1+R_2$) и только параллельно ($R_{34}=R_3R_4/(R_3+R_4)$) соединенные резисторы. Эти участки относительно друг друга соединены последовательно, таким образом,

$$R_{ЭКВ}=R_{12}+R_{34}.$$

Соотношения токов и напряжений в такой цепи определяется так:

$$I=I_1=I_2=I_3+I_4, \quad U_3=U_4=U_{34}, \quad U=U_1+U_2+U_{34}.$$

Порядок выполнения эксперимента

Таблица 2.1

№ варианта	1	2	3	4
R_1 , Ом	100	220	680	1000
R_2 , Ом	150	470	2200	470
R_3 , Ом	330	1000	470	330
R_4 , Ом	220	680	1000	680
U , В	4	7	9	12

1. Получите номер варианта у преподавателя. Значения параметров цепи по вариантам находятся в табл. 2.1.
2. Соберите цепь согласно схеме на рис. 2.6, вставив перемычки между точками А-В, С-Д, Е-Ф, Г-Н. Установите постоянное питающее напряжение U на зажимах источника питания. Поочередно удаляя перемычки и включая на их место амперметр (мультиметр), измерьте токи вдоль всей последовательной цепи. Результаты занесите в табл. 2.2.

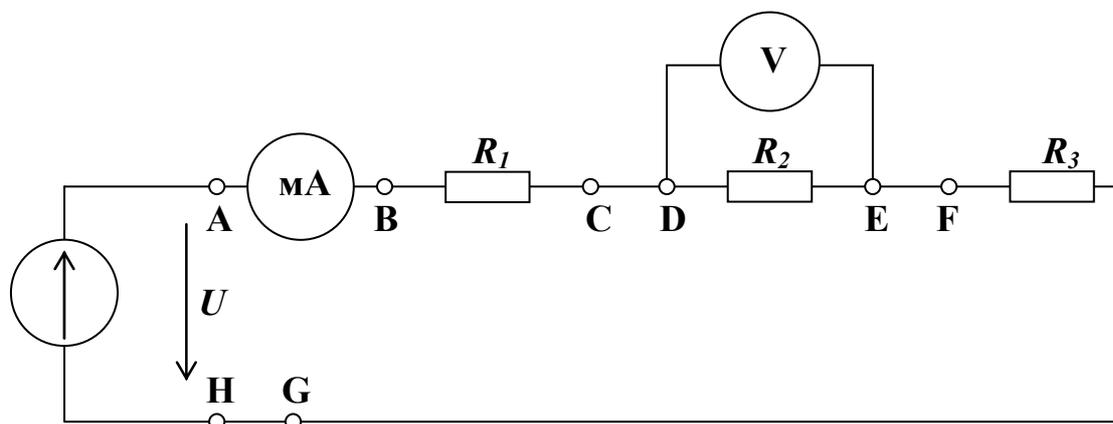


Рис. 2.6

- Измерьте частичные напряжения на участках В-С, D-E, F-G, а также полное напряжение цепи В-G. Все измеренные величины занесите в табл. 2.2. Проверьте выражение $U=U_1+U_2+U_3$.
- Рассчитайте сопротивления всех участков цепи и полное сопротивление цепи по закону Ома $R=U/I$ и занесите результаты в табл. 2.3. Проверьте выражение $R_{ЭКВ}=R_1+R_2+R_3$.

Таблица 2.2

Ток, мА				Напряжение, В			Полное напряжение, В
Точки цепи				Точки цепи			Точки цепи
А-В	С-D	Е-F	Н-G	В-С	D-E	F-G	В-G

Таблица 2.3

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	$R_{ЭКВ}$, Ом

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.7), вставив перемычки между точками А-В, С-D, Е-F, G-Н. Установите постоянное питающее напряжение U на зажимах источника питания.

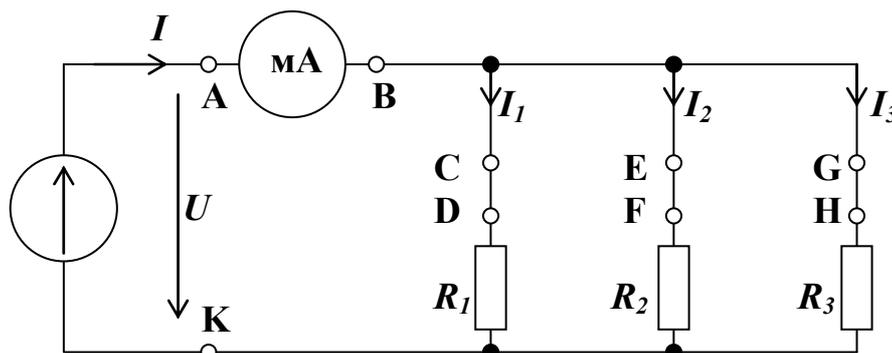


Рис. 2.7

- Поочередно удаляя перемычки и включая мультиметр в разрывы между точками А-В, С-Д, Е-Ф, G-Н, измерьте токи в соответствующих ветвях. Занесите измеренные величины в табл. 2.4.
- Затем измерьте напряжения на резисторах R_1 , R_2 , и R_3 (между точками D-K, F-K, H-K). Занесите измеренные величины в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Напряжения, В			Токи ветвей, мА			Полный ток цепи, мА
Точки измерения			Точки измерения			Точки измерения
D-K	F-K	H-K	C-D	E-F	G-H	A-B

- Рассчитайте сопротивления всех участков цепи и полное сопротивление цепи по закону Ома $R=U/I$ и занесите результаты в табл. 2.5. Проверьте равенство $1/R_{ЭКВ}=1/R_1+1/R_2+1/R_3$.

Таблица 2.5

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	$R_{ЭКВ}$, Ом

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.8), вставив перемычки между точками А-В, С-Д и Е-Ф. Подайте на вход цепи постоянное напряжение U .

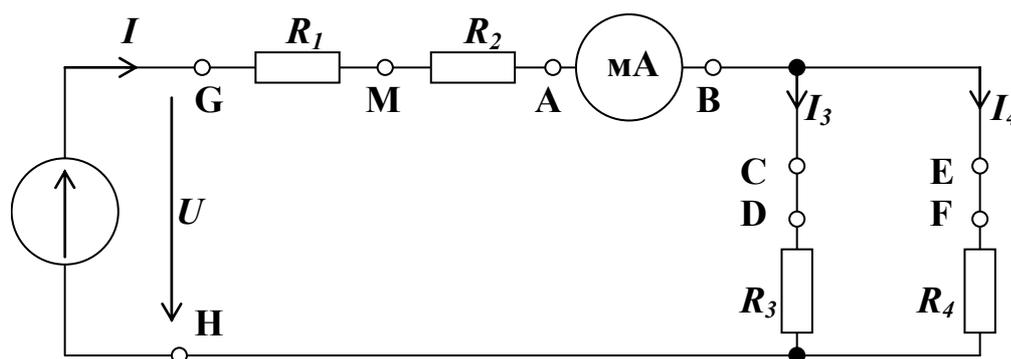


Рис. 2.8

- Измерьте токи во всех ветвях, включая миллиамперметр вместо перемычек А-В, С-Д и Е-Ф. Измерьте напряжения на всех элементах. Результаты измерений занесите в табл. 2.6.
- Определите сопротивление каждого участка цепи как отношение напряжения к току, и занесите результаты в строку «Измеренные» табл. 2.7.

Таблица 2.6

I , мА	I_3 , мА	I_4 , мА	U_{GH} , В	U_{GM} , В	U_{MA} , В	U_{GA} , В	U_{BH} , В

Таблица 2.7

	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_{12} , Ом	R_{34} , Ом	$R_{ЭКВ}$, Ом
Измеренные							
Расчитанные							
Погрешность							

12. Рассчитайте сопротивления участков цепи и полное сопротивление по формулам $R_{12}=R_1+R_2$, $R_{34}=R_3R_4/(R_3+R_4)$, $R_{ЭКВ}=R_{12}+R_{34}$ и занесите результаты расчета в строку «Расчитанные» табл. 2.7

13. Сравните результаты расчета и измерений, вычислив расхождение результатов (погрешность) в процентах по формуле:
 $ПОГРЕШНОСТЬ=(ИЗМЕРЕННОЕ-РАСЧЕТНОЕ)/РАСЧЕТНОЕ*100\%$

Контрольные вопросы

1. Дайте определения понятиям «ветвь» и «узел».
2. Как определяется эквивалентное сопротивление последовательно соединенных резисторов? Почему?
3. Объясните принцип работы делителя напряжения.
4. Как определяется эквивалентное сопротивление параллельно соединенных резисторов? Почему?
5. Что такое шунтирование?
6. Как определяется эквивалентное сопротивление цепи со смешанным соединением резисторов?

Лабораторная работа №3

Постоянные источники напряжения (ЭДС)

Цель работы: исследовать нагрузочную характеристику реального источника напряжения; исследовать последовательное и параллельное соединение источников напряжения.

Задачи:

1. Выполнить эксперименты по исследованию электрических цепей, содержащих постоянные источники напряжения.
2. Построить графики.
3. Сделать выводы по работе.

Общие сведения

В качестве источников питания в электрических цепях применяются различные устройства. Энергия, потребляемая от источников питания, появляется за счет работы сторонних сил, например, химических, механических, электромагнитных. Природа этих сил для электрической цепи не важна. Источник ЭДС представляет собой такой идеализированный источник питания, напряжение на зажимах которого постоянно (не зависит от тока I) и равно ЭДС E , а внутреннее сопротивление равно нулю. Его обозначение на схемах приведено на рис. 3.1а, а вольт-амперная характеристика на рис. 3.1б.

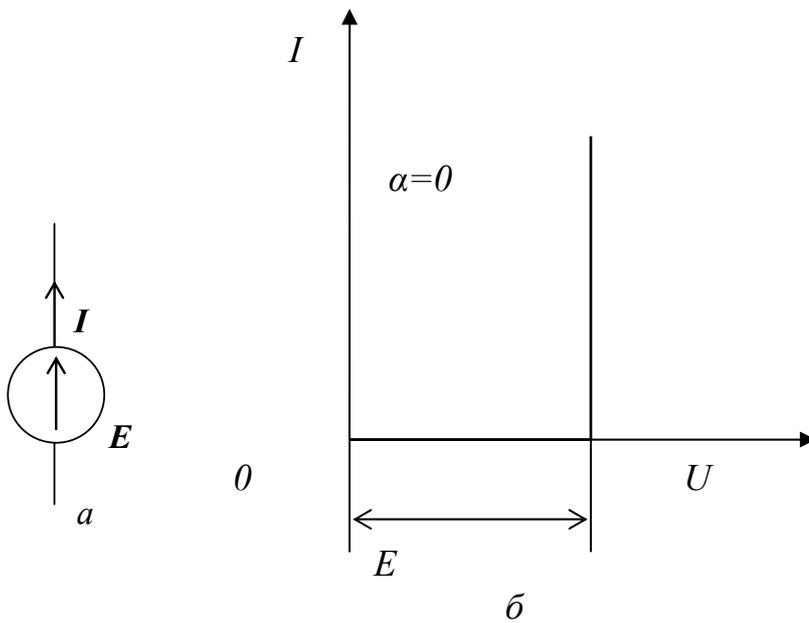


Рис. 3.1

Источник тока представляет собой идеализированный источник питания, который создает ток J , не зависящий от сопротивления нагрузки, к которой он присоединен. Его обозначение на схемах приведено на рис. 3.2а, а вольт-амперная характеристика на рис. 3.2б.

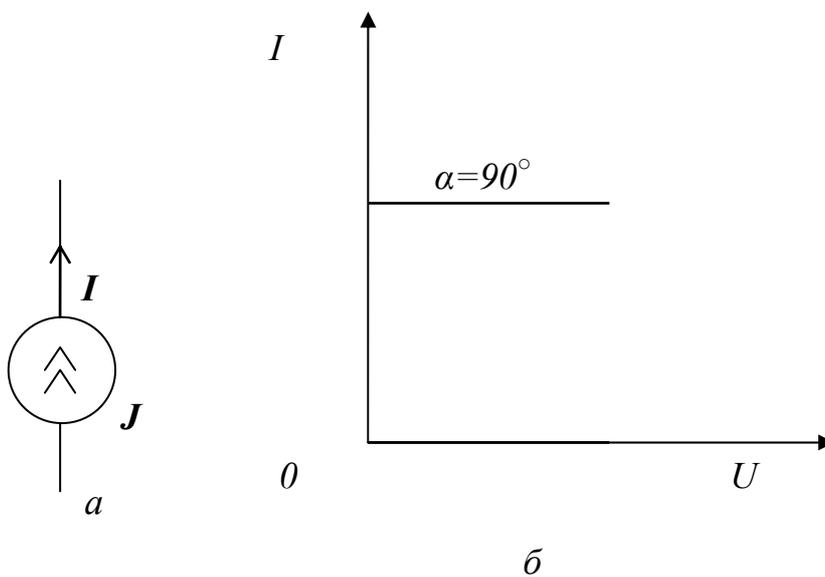


Рис. 3.2

При расчете и анализе электрических цепей *реальный источник* электрической энергии с конечным значением r заменяют *расчетным эквивалентом*. В качестве эквивалента может быть взят:

а) источник ЭДС E с последовательно включенным сопротивлением r , равным внутреннему сопротивлению реального источника, (рис. 3.3,а; стрелка в кружке указывает направление возрастания потенциала внутри источника ЭДС, расчётный эквивалент взят в прямоугольник пунктиром);

б) источник тока с током J и параллельно с ним включенной проводимостью G (рис. 3.3,б стрелка в кружке указывает положительное направление тока источника тока).

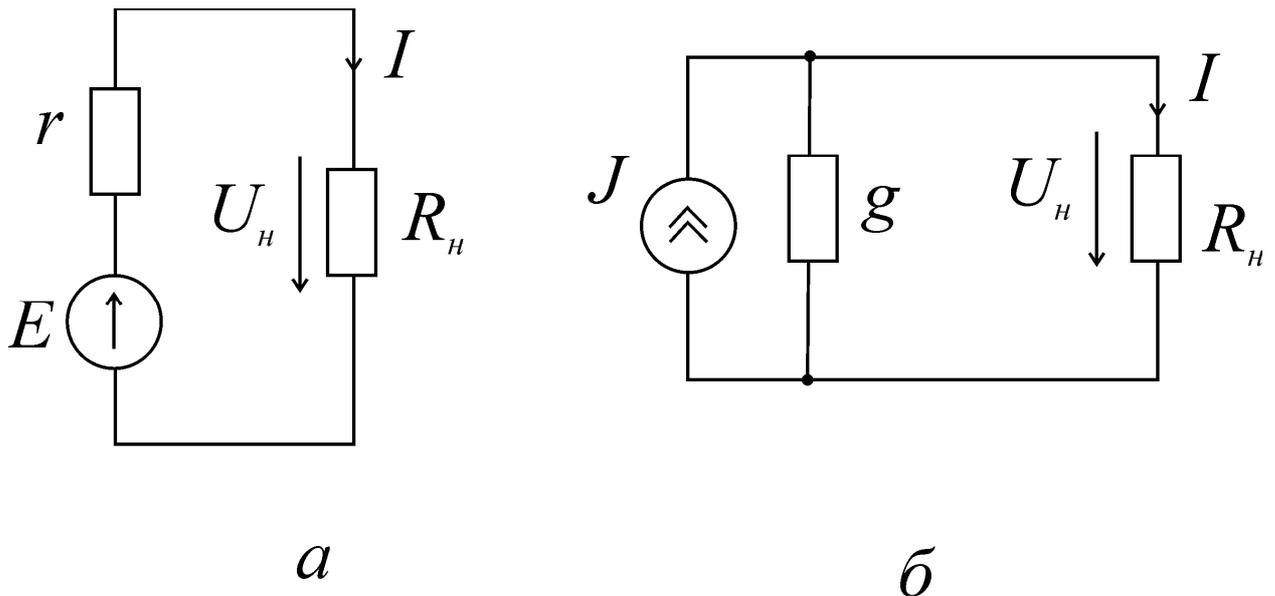


Рис. 3.3

Каким из двух расчетных эквивалентов пользоваться, совершенно безразлично. В дальнейшем используется в основном первый эквивалент.

Обратим внимание на следующее:

1) источник ЭДС и источник тока – идеализированные источники, физически осуществить которые, строго говоря, невозможно;

2) схема рис. 3.3,б эквивалента схеме рис. 3.3,а в отношении энергии, выделяющейся в сопротивлении нагрузки R_n и не эквивалентна ей в отношении энергии, выделяющейся во внутреннем сопротивлении источника питания r .

3) идеальный источник ЭДС без последовательно соединенного с ним r нельзя заменить идеальным источником тока.

В эквивалентных схемах на рис. 3.3 напряжение на нагрузке одинаковое, поэтому параметры этих схем однозначно связаны соотношениями:

$$G = \frac{1}{R}, \quad I = \frac{E}{r}.$$

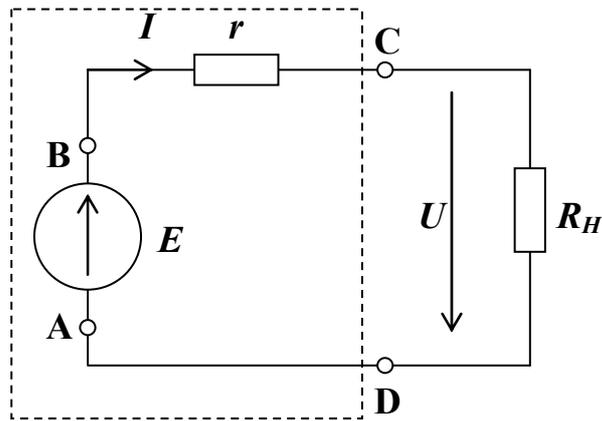


Рис. 3.4

Рассмотрим схему на рис. 3.4. Внешними контактами источника напряжения являются точки C и D . При подключении нагрузки R_H по замкнутой цепи потечет ток I . Так как потенциал точки B выше, чем потенциал точки A , то напряжение

$$U_{AB} = \varphi_B - \varphi_A = E,$$

т.е. положительное. В соответствии с законом Ома

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = Ir.$$

Следовательно,

$$U_{DC} = \varphi_D - \varphi_C = \varphi_A - \varphi_C = U_{AB} + U_{BC} = E - Ir.$$

Ток I определяется законом Ома для полной цепи:

$$I = E / (r + R_H),$$

откуда получаем значение выходного напряжения:

$$U = U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = E - Ir = E - Er / (r + R_H).$$

Полученное выражение определяет зависимость выходного напряжения U_{CD} от сопротивления нагрузки R_H . Когда источник не нагружен, т.е. ток в цепи равен нулю (режим холостого хода, $R_H = \infty$), выходное напряжение $U_{CD} = E$. Если выходные зажимы C и D источника замкнуты друг на друга (режим короткого замыкания, $R_H = 0$), выходное напряжение $U_{CD} = 0$. При этом в цепи протекает ток короткого замыкания, который ограничен внутренним сопротивлением источника:

$$I_K = E / r.$$

На вольт-амперной характеристике нагрузки $I(U)$ (рис. 3.5) параметры E , r и I_K определяют графическую характеристику эквивалентного источника напряжения. Она представляет собой прямую, проходящую через точки E на оси напряжений и точку I_K на оси токов. Точка пересечения прямых определяет ток I в цепи и напряжение U , падающее на нагрузке.

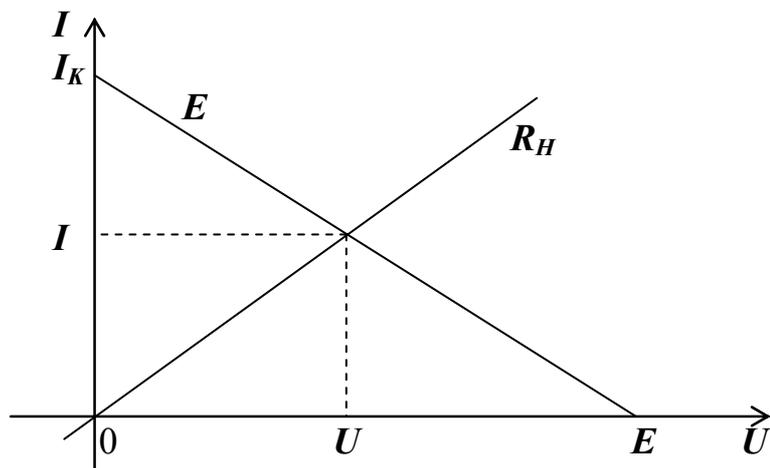


Рис. 3.5

Последовательное соединение (рис. 3.6) источников напряжения позволяет получить большее по величине общее напряжение (ЭДС):

$$E = E_1 + E_2.$$

Необходимым условием для этого является, чтобы полюса источников были соединены корректно - положительный полюс одного источника с отрицательным полюсом следующего (согласное включение). Если же полюса источников соединены противоположным образом (встречное включение), общее напряжение цепи определяется как разность напряжений (ЭДС) источников:

$$E = E_1 - E_2.$$

Общее внутреннее сопротивление последовательно соединенных источников в обоих случаях определяется как сумма:

$$r = r_1 + r_2.$$

При подключении в цепь с последовательно соединенными источниками напряжения нагрузки R_H возникает ток, определяемый как

$$I = E / (R_H + r).$$

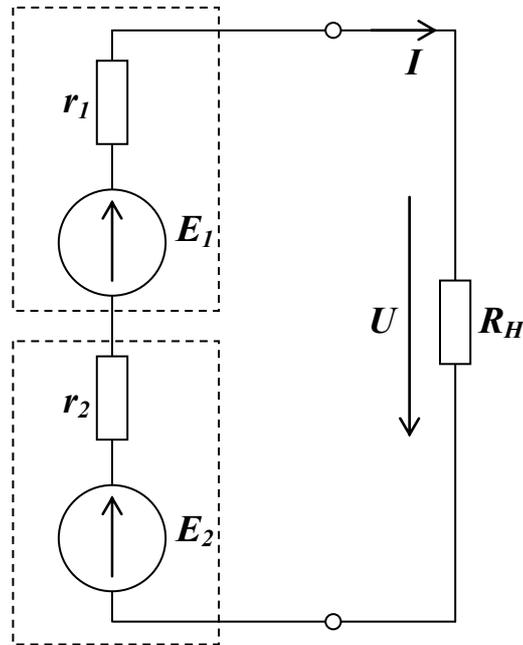


Рис. 3.6

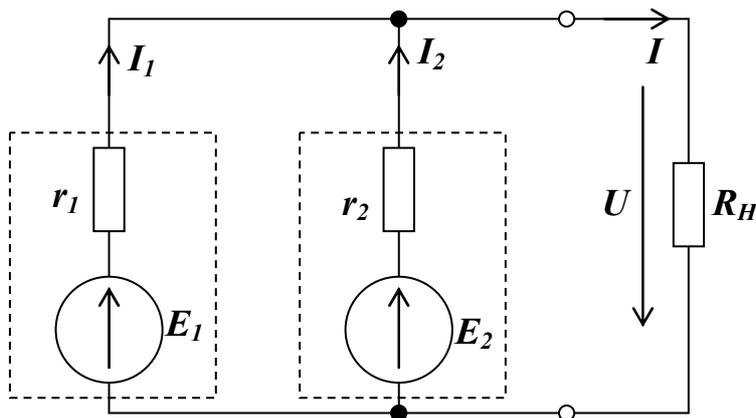


Рис. 3.7

Параллельным соединением (рис. 3.7) нескольких источников напряжения одинаковой величины обеспечивается более высокий ток нагрузки I ; соединять нужно одноименные полюса источников. Если ЭДС источников различны, то в них возникает уравнительный ток I_0 . Он зависит от внутренних сопротивлений и разности ЭДС:

$$I_0 = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2}.$$

Ток общей нагрузки I зависит от сопротивления нагрузки R_H , эквивалентной ЭДС

$$E_3 = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2},$$

где $g_1 = 1/r_1$, $g_2 = 1/r_2$ - внутренние проводимости, и эквивалентного внутреннего сопротивления

$$r_{\text{э}} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2},$$

и определяется так же, как и в одиночном источнике:

$$I = \frac{E_{\text{э}}}{r_{\text{э}} + R_H}.$$

Токи в источниках определяются из уравнений 2-го закона Кирхгофа:

$$r_1 I_1 + U = E_1;$$

$$r_2 I_2 + U = E_2.$$

Порядок выполнения эксперимента

Таблица 3.1

№ варианта	1	2	3	4
r_1 , Ом	22	33	47	47
r_2 , Ом	33	47	22	100
R_H , Ом	330	220	150	100
E_1 , В	6	8	10	12
E_2 , В	15	15	15	15

1. Получите номер варианта у преподавателя. Значения параметров цепи по вариантам находятся в табл. 3.1.
2. Соберите цепь согласно схеме на рис. 3.8. В качестве внутреннего сопротивления источника используется резистор r_1 . Установите напряжение источника E_1 , соответствующее вашему варианту.

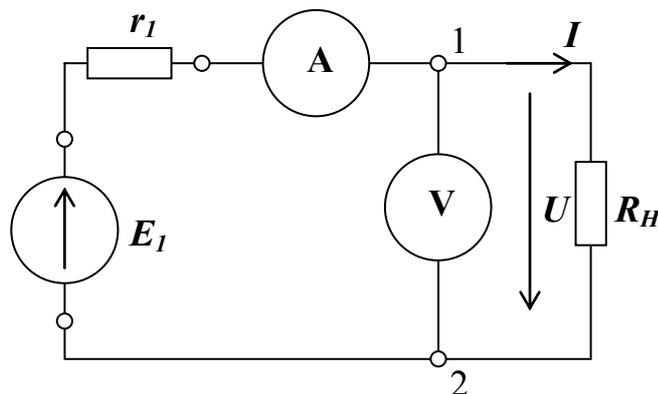


Рис. 3.8

3. Для определения выходного напряжения источника U в режиме холостого хода отключите сопротивление нагрузки и измерьте напряжение на выводах «1» и «2» (режим холостого хода, $R_H = \infty$, $I = 0$).

4. Для получения нагрузочной характеристики источника «1» и «2» последовательно устанавливайте различные сопротивления R_H . Показания амперметра и вольтметра заносите в табл. 3.2.
5. Для измерения тока короткого замыкания I_K между выводами «1» и «2» включите перемычку (режим короткого замыкания, $R_H=0, I=I_K$).
6. Постройте график нагрузочной характеристики источника подобно рис. 3.5.

Таблица 3.2

$R_H, \text{ Ом}$	(х.х.)	100	33	10	0 (к.з.)
$U, \text{ В}$					0
$I, \text{ мА}$	0				

7. Соберите цепь с последовательным соединением источников напряжения согласно схеме на рис. 3.9, используя в качестве источника E_1 регулируемый источник с установленным на нем напряжением согласно заданию варианта, а в качестве E_2 – нерегулируемый с напряжением 15 В.

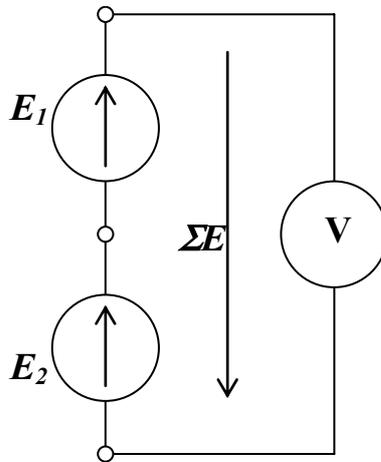


Рис. 3.9

8. Измерьте ЭДС каждого источника и общее напряжение.
9. Затем поменяйте полярность одного из источников (поменяв местами его полюса) и снова измерьте напряжение. Результаты запишите в табл. 3.3. Проверьте равенства для согласованного ($E=E_1+E_2$) и встречного ($E=E_1-E_2$) включений.

Таблица 3.3

$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	Согласованное $E, \text{В}$	Встречное $E, \text{В}$

10. Соберите цепь с параллельным соединением источников напряжения согласно схеме на рис. 3.10, используя в качестве E_1 регулируемый и в качестве E_2 нерегулируемый источники напряжения. В качестве внутренних сопротивлений источников устанавливаются резисторы r_1 и r_2 . Между точками А-В, С-Д, Е-Ф включите переключки для поочередного подключения амперметра.

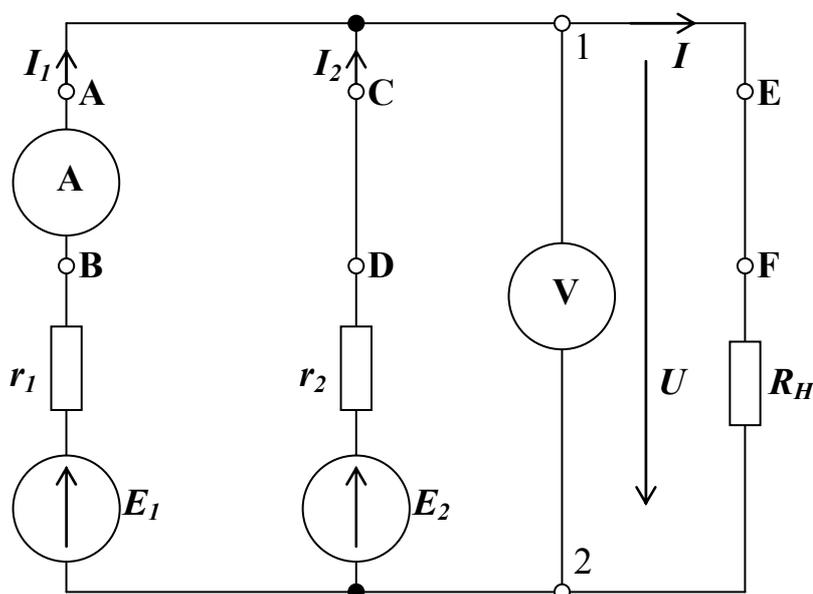


Рис. 3.10

Таблица 3.4

Режим	Параметр	Измерено	Рассчитано
Холостой ход	$E_3, \text{В}$		
	$I_0, \text{мА}$		
Нагрузка R_H	$U, \text{В}$		
	$I, \text{мА}$		
	$I_1, \text{мА}$		
	$I_2, \text{мА}$		

11. Для определения уравнительного тока I_0 в режиме холостого хода разомкните переключку Е-Ф и вместо переключки А-В включите амперметр. Измерьте вольтметром выходное напряжение E_3 между

точками 1 и 2. Результаты измерения занесите в табл. 3.4.

12. Подключите нагрузку, замкнув переключку Е-Ф. Измерьте токи всех ветвей (I_1 , I_2 , I), а также напряжение на нагрузке U . Измеренные значения занесите в табл. 3.4.
13. По известным параметрам: E_1 , E_2 , r_1 , r_2 , R_H рассчитайте эквивалентную ЭДС, уравнительный ток I_0 , ток I_H и напряжение U на нагрузке, токи источников I_1 и I_2 . Результаты расчета занесите в табл. 3.4. Сравните результаты расчета и эксперимента.

Контрольные вопросы

1. Как взаимосвязаны параметры эквивалентных источников тока и напряжения?
2. Как изменится нагрузочная характеристика реального источника ЭДС при уменьшении внутреннего сопротивления?

Лабораторная работа №4

Электрическая мощность

Цель работы: измерить мощность, рассеиваемую резистором; определить КПД линии электропередач; исследовать согласование источника напряжения и нагрузки.

Задачи:

1. Выполнить эксперименты по исследованию электрических цепей, содержащих резисторы.
2. Построить графики.
3. Сделать выводы по работе.

Общие сведения.

Законы Кирхгофа.

Все электрические цепи подчиняются первому и второму законам (правилам) Кирхгофа. Первый закон Кирхгофа можно сформулировать двояко:

1. *алгебраическая сумма токов, подтекающих к любому узлу схемы, равна нулю;*
2. *сумма подтекающих к любому узлу токов равна сумме утекающих от узла токов.*

Применительно к рис. 4.1, если подтекающие к узлу токи считать положительными, а утекающие – отрицательными, то согласно первой формулировке

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0;$$

согласно второй

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4.$$

Физически первый закон Кирхгофа означает, что движение зарядов в цепи происходит так, что ни в одном из узлов они не скапливаются. Второй закон Кирхгофа также можно сформулировать двояко:

1. *алгебраическая сумма падений напряжения в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС вдоль того же контура:*

$$\sum IR = \sum E$$

(в каждую из сумм соответствующие слагаемые входят со знаком плюс, если они совпадают с направлением обхода контура, и со знаком минус, если они не совпадают с ним);

2. алгебраическая сумма напряжений (не падений напряжения!) вдоль любого замкнутого контура равна нулю:

$$\sum U_{kl} = 0.$$

Для периферийного контура схемы рис. 4.1

$$U_{ae} + U_{ec} + U_{cd} + U_{da} = 0.$$

Законы Кирхгофа справедливы для линейных и нелинейных цепей при любом характере изменения во времени токов и напряжений.

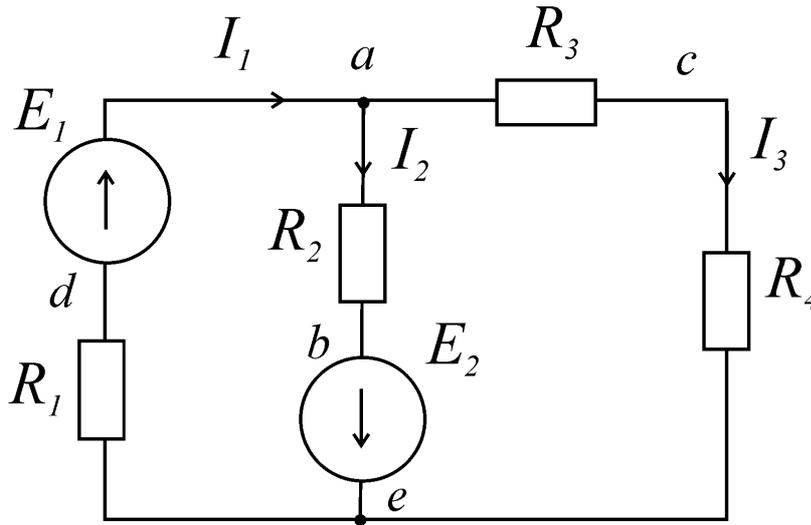


Рис. 4.1

Законы Кирхгофа используют для нахождения токов в ветвях схемы. Обозначим число всех ветвей схемы v , число ветвей, содержащих источники тока, — $v_{ит}$ и число узлов u . В каждой ветви схемы течет свой ток. Так как токи в ветвях с источниками тока известны, то число неизвестных токов равняется $v - v_{ит}$. Перед тем как составить уравнения, необходимо произвольно выбрать: а) положительные направления токов в ветвях и обозначить их на схеме; б) положительные направления обхода контуров для составления уравнений по второму закону Кирхгофа.

С целью единообразия рекомендуется для всех контуров положительные направления обхода выбирать одинаковыми, например по часовой стрелке. Чтобы получить линейно независимые уравнения, по первому закону Кирхгофа составляют уравнения, число которых равно числу узлов без единицы, т. е. $u - 1$.

Уравнение для последнего u -го узла не составляют, так как оно совпало бы с уравнением, полученным при суммировании уже составленных уравнений для $u - 1$ узлов, поскольку в эту сумму входили бы дважды и с

противоположными знаками токи ветвей, не подходящих к y -му узлу, а токи ветвей, подходящих к y -му узлу, входили бы в эту сумму со знаками, противоположными тем, с какими они вошли бы в уравнение для y -го узла.

По второму закону Кирхгофа составляют уравнения, число которых равно числу ветвей без источников тока $(\nu - \nu_{ит})$, за вычетом уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, т. е. $(\nu - \nu_{ит}) - (y - 1) = \nu - \nu_{ит} - y + 1$. Составляя уравнения по второму закону Кирхгофа, следует охватить все ветви схемы, исключая лишь ветви с источниками тока. Такие ветви как правило заменяют эквивалентной схемой, содержащей источник напряжения.

При записи линейно независимых уравнений по второму закону Кирхгофа стремятся, чтобы в каждый новый контур, для которого составляют уравнение, входила хотя бы одна новая ветвь, не вошедшая в предыдущие контуры, для которых уже записаны уравнения по второму закону Кирхгофа. Такие контуры условимся называть *независимыми*.

Требование, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна новая ветвь, является достаточным, но не необходимым условием, а потому его не всегда выполняют. В таких случаях часть уравнений по второму закону Кирхгофа составляют для контуров, все ветви которых уже вошли в предыдущие контуры.

Электрическая мощность.

В электрических цепях и устройствах энергия электрического поля W обычно преобразуется в механическую (в электрических двигателях), световую (в лампах накаливания) и тепловую (в электрических нагревателях) энергию. Скорость процесса преобразования энергии описывается электрической мощностью P :

$$P = \frac{dW}{dt}$$

В элементах электрических цепей, обладающих активным сопротивлением R , электрическая энергия необратимо преобразуется в тепловую и может быть выражена через напряжение и электрический ток:

$$P = UI = I^2 R = U^2 / R.$$

Активная мощность измеряется в Ваттах (Вт).

Электрическая энергия (работа постоянного электрического тока) W выражается как произведение электрической мощности P на время t :

$$W = Pt = UIt.$$

При подключении к источнику напряжения, который обладает внутренним сопротивлением r , активной нагрузки R через нее потечет ток

$$I = E / (r + R),$$

и будет выделяться мощность

$$P = UI = I^2 R = E^2 R / (r + R)^2.$$

Чтобы выяснить, при каком сопротивлении нагрузки в ней выделяется максимальная мощность, нужно определить производную P по R и приравнять ее нулю:

$$\frac{dP}{dR} = E^2 \frac{(r + R)^2 - 2R(r + R)}{(r + R)^4} = 0.$$

Отсюда $r = R$, т.е. максимальная мощность выделяется в нагрузке, когда ее сопротивление равно внутреннему сопротивлению источника. Такой режим работы цепи называется согласованным.

При передаче электрической энергии на расстояние часть мощности теряется (рассеивается). Для оценки эффективности линии электропередач служит коэффициент полезного действия (КПД), который определяется как отношение выходной мощности (или энергии) устройства к входной мощности (или энергии):

$$= P_{\text{ВЫХ}} / P_{\text{ВХ}} = W_{\text{ВЫХ}} / W_{\text{ВХ}}.$$

Поскольку выходная мощность (энергия) из-за потерь меньше, чем входная, КПД всегда меньше 1.

Порядок выполнения эксперимента

Таблица 4.1

№ варианта	1	2	3	4
E , В	8	10	12	14
R , Ом	100	150	220	330
r , Ом	220	330	470	680

1. Получите номер варианта у преподавателя. Значения параметров цепи по вариантам находятся в табл. 4.1.
2. Соберите цепь согласно схеме на рис. 4.2 и измерьте токи и мощности в резисторе при напряжениях, указанных в табл. 4.2.
3. Постройте график $P(U)$.

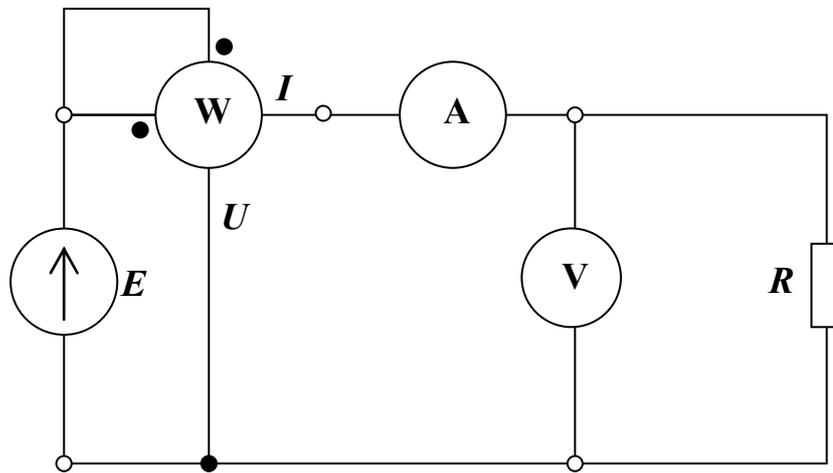


Рис. 4.2

Таблица 4.2

$U, \text{В}$	0	2	3	4	6	8	10	12	14
$I, \text{мА}$									
$P, \text{Вт}$									
$U \cdot I, \text{Вт}$									

4. Соберите цепь согласно схеме на рис. 4.3. Резистор r имитирует внутреннее сопротивление источника напряжения. В качестве нагрузки используется переменный резистор (потенциометр).

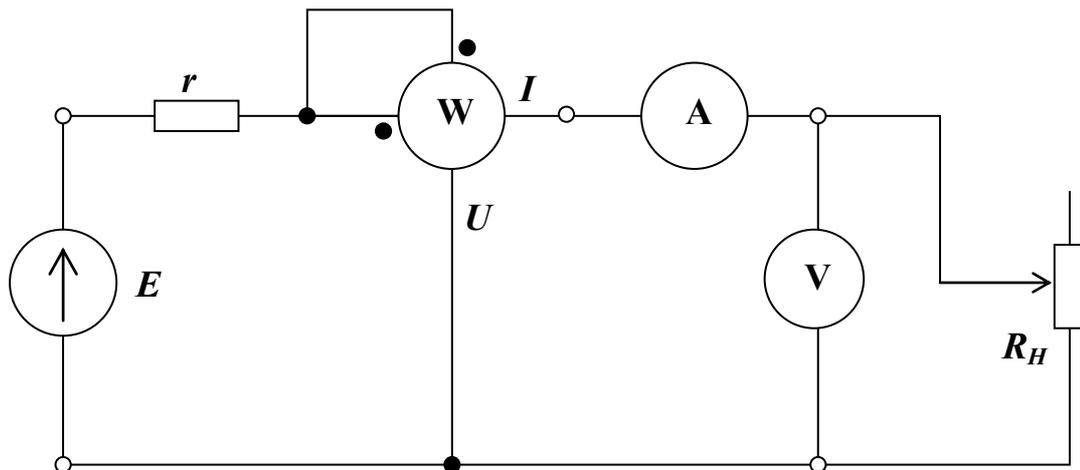


Рис. 4.3

5. Изменяя пошагово сопротивление нагрузки от 0 до 1000 Ом, запишите в таблицу 4.3 значения тока, напряжения и мощности на нагрузке при нескольких (не менее десяти) положениях ручки потенциометра.

6. Рассчитайте значения сопротивления нагрузки для каждого измерения и постройте график $P(R_H)$.

Таблица 4.3

I , мА	U , В	P , мВт	R_H , Ом
...			

7. Соберите цепь согласно схеме на рис. 4.4. Два резистора $R_L=22$ Ом имитируют потери в проводах линии электропередач.
8. Измерьте ток и напряжение в начале и в конце линии, найдите входную и выходную мощности, определите КПД линии. Результаты сведите в табл. 4.4.

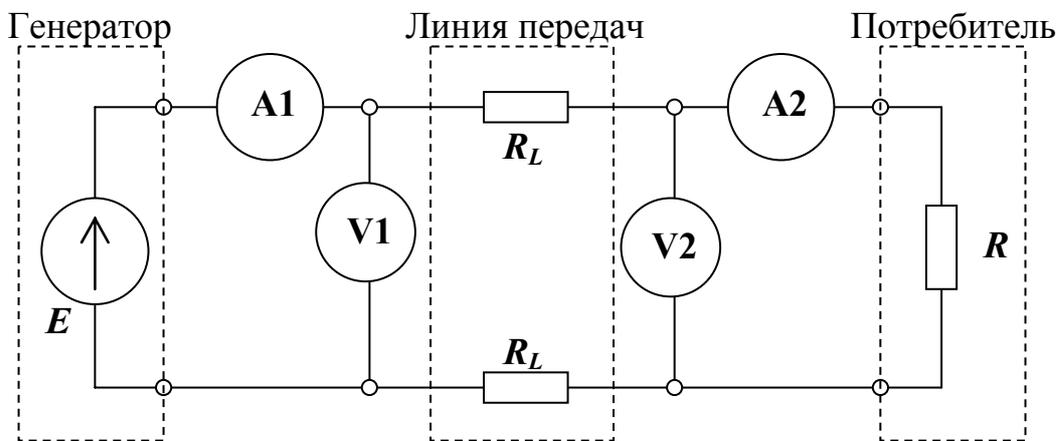


Рис. 4.4

Таблица 4.4

$I_{ВХ}$, мА	$U_{ВХ}$, В	$P_{ВХ}$, Вт	$I_{ВЫХ}$, мА	$U_{ВЫХ}$, В	$P_{ВЫХ}$, Вт	

Контрольные вопросы

1. Что такое активная мощность? Какова ее природа?
2. Что такое согласованный режим работы цепи?
3. Чему равен КПД электрической цепи в согласованном режиме

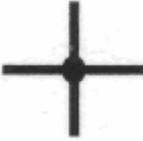
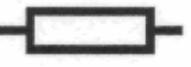
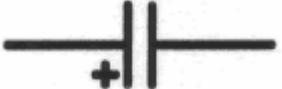
- нагрузки?
4. Как КПД линии электропередач зависит от сопротивления линии?
 5. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа. Какие более общие законы лежат в основе законов Кирхгофа?

Список литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2002. – 528 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле: Учебник для студентов вузов.–7-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 2001. – 231 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т.: Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 536 с.
4. Основы теории цепей: Учебник для вузов/ Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
5. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. – Ч. I. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи: Учебник для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 592 с.

Приложение

Таблица П.1. Условные обозначения основных элементов электрических цепей

Наименование элемента	Условное обозначение	Наименование элемента	Условное обозначение
Источники электрической энергии: источник напряжения (ЭДС) постоянного тока (идеальный)		Проводники электрической цепи: одиночный	
источник постоянного тока (идеальный)		Пересекающиеся, несоединенные	
гальванический элемент или аккумулятор		Пересекающиеся, соединенные	
источник напряжения (ЭДС) синусоидального тока			
Резисторы: Постоянный линейный		Выключатели: однополюсные	
Переменный линейный		двухполюсные	
Нелинейный			
Индуктивности: Линейная		Конденсаторы Общее обозначение	
С разомкнутым магнитопроводом		Полярный (электролитический)	
С магнитопроводом		Нелинейный	
Трансформатор			

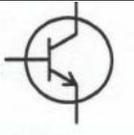
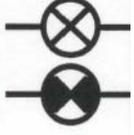
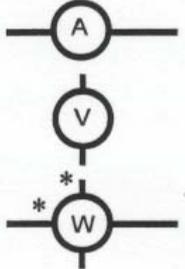
Транзисторы: Биполярный		Диоды	
Униполярный (полевой)			
Лампы накаливания: осветительная сигнальная		Измерительные приборы: амперметр вольтметр ваттметр	

Таблица П.2. Базовые электрические величины и их единицы измерения

Величина	Обозначение	Единица измерения	Кратные используемые величины
Заряд	Q	1 К = 1 Кулон	мК
Ток	I	1 А = 1 Ампер	мА, мкА
Напряжение, ЭДС	U, E	1 В = 1 Вольт	мВ, кВ
Сопротивление	R	1 Ом	кОм, МОм
Проводимость	G	1 См = 1 Сименс	
Индуктивность	L	1 Гн = 1 Генри	мГн, мкГн
Емкость	C	1 Ф = 1 Фарад	мкФ, нФ, пФ

Таблица П.3. Состав набора миниблоков.

Наименование и характеристики	Кол.	Наименование и характеристики	Кол.
Резисторы МЛТ, 2 Вт, ±5%		Индуктивности	
10 Ом	1	10 мГн, 90 мА	1
22 Ом	2	40 мГн, 65 мА	1
33 Ом	1	100 мГн, 50 мА	2
47 Ом	1	Тумблер МТД-1, 250 В, 2 А	1
100 Ом	1	Лампа сигнальная СМН-10 55	1
150 Ом	1	Термистор РТС 50 Ом	1
220 Ом	1	Термистор NTC 6,8 кОм	1
330 Ом	1	Варистор S07K11, 18 В, 1 мА	1
470 Ом	1	Фоторезистор СФЗ-4Б	1
680 Ом	1	Диоды КД 26 (1N5408) 1А, 100 В	6
1 кОм	3	Стабилитрон КС510А, 10 В	1
2,2 кОм	1	Светодиод АЛ 307 Б, 20 мА	1
4,7 кОм	1	Варикап КВ 105А	1
10 кОм	2	Динистор (диодный тиристор)	1
22 кОм	1	КН 102Б	
33 кОм	1	Транзисторы биполярные	
47 кОм	1	КТ502 Г (р-п-р)	1
100 кОм	2	КТ503 Г (п-р-п)	1
1 МОм	1	Транзисторы униполярные	
Потенциометры СП4-2М		КП303Е (с каналом п-типа)	1
1 кОм	1	КП101Е (с каналом р-типа)	1
10 кОм	1	Транзистор однопереходный	
Конденсаторы К-73-9, 100 В		КТ117Г	1
0,01 мкФ	1	Операционный усилитель	
0,1 мкФ	1	КР 140 УД 608А	1
Конденсаторы К73-17, 63 В			
0,22 мкФ	1		
0,47 мкФ	1		
1 мкФ	1		
Конденсаторы электролитические			
SR-63В 10 мкФ	1		
SR-63В 100 мкФ	1		
SR-35 В, 470 мкФ	1		

Таблица П.4. Параметры обмоток трансформатора

W	U _н , В	I _н , мА	R, Ом	S _н , ВА
100	2,33	600	0,9	1,4
300	7	200	4,8	1,4
900	21	66,7	37	1,4