

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

Инженерно-физический факультет высоких технологий

Кафедра радиофизики и электроники

С. Г. Новиков, А. С. Кадочкин, А. Л. Семенов, О. Ю. Сабитов

Цепи постоянного тока

Методические указания к лабораторным работам

Ульяновск 2019

УДК 621.314

ББК

Н

Рекомендовано к введению в учебный процесс Ученым советом инженерно-физического факультета высоких технологий Ульяновского государственного университета, протокол №11 от 18 июня 2019 г.

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физического материаловедения Ульяновского государственного университета (УлГУ) А. А. Соловьев

Новиков, С.Г., Кадочкин А.С., Семенов А.Л., Сабитов О. Ю.

Н 00 Цепи постоянного тока: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Электротехника и электроника.» / С. Г. Новиков, А.С. Кадочкин, А. Л. Семенов, О. Ю. Сабитов. – Ульяновск: УлГУ, 2019. – 53 с.

В методических указаниях к лабораторным работам «Цепи постоянного тока» 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. Обучающиеся знакомятся с определением параметров и характеристик основных элементов и методов анализа электрических цепей.

Методические указания содержат описания пяти лабораторных работ.

Предназначено для студентов Инженерно-физического факультета высоких технологий и факультета математики, информатики и авиационных технологий, осваивающих дисциплины «Электротехника и электроника», «Электроника», "Схемотехника и электроника", "Схемотехника".

© Новиков С.Г., 2019

© Ульяновский государственный университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Цели и задачи лабораторного практикума.....	4
Методика безопасного проведения работ.....	5
Правила оформления отчета по лабораторной работе.....	7
Порядок отчетности и приема зачета по лабораторным работам.....	9
Описание лабораторного стенда.....	10
Лабораторная работа №1. Электрическая цепь. Закон Ома.....	17
Лабораторная работа №2. Цепи с резисторами.....	22
Лабораторная работа №3. Постоянные источники напряжения (ЭДС)....	29
Лабораторная работа №4. Электрическая мощность.....	39
Лабораторная работа №5. Делитель напряжения и добавочное сопротивление.....	46
Список литературы.....	50
Приложение.....	51

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.

Методика безопасного проведения работ

1. К работе не допускаются студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, не ознакомившиеся с описанием работы и не имеющие предварительно заготовленного бланка протокола исследований.
2. Работа студентов разрешается только на исправном оборудовании.
3. Выполнение работы разрешается только бригадой, состоящей не менее чем из двух человек.
4. Подготовка приборов к работе осуществляется при отключенном питании кроме случаев, оговоренных в указаниях к работе.
5. Сборка электрической цепи и изменение схемы измерения производится при отключенном напряжении кроме случаев, оговоренных в указаниях к работе. Сборку электрической цепи осуществляет один из членов бригады, второй его контролирует.
6. Собрав и проверив схему измерения, необходимо установить ручку регулирования напряжения в положение с минимальным значением, измерительные приборы – на наибольший предел и доложить лаборанту о готовности.

сти к работе.

7. Разрешение на подачу напряжения дает лаборант после проверки схемы.

8. Производится включение только тех приборов, которые непосредственно задействованы в проведении эксперимента.

9. Выполнив тот или иной этап работы, необходимо снять напряжение и, сделав изменения в схеме, вновь показать ее лаборанту для получения разрешения на подачу напряжения для дальнейших исследований.

10. При обнаружении неисправности, появлении признаков перегрузки или перегрева оборудования, при возникновении неясности в проведении работы необходимо немедленно снять напряжение и обратиться к лаборанту.

11. По окончании работы необходимо выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать схему и сдать оборудование лаборанту.

Запрещается:

1. Приступать к выполнению работ без ознакомления с правилами техники безопасности.
2. Работать на неисправном оборудовании.
3. Выполнять работу одному человеку.
4. Самостоятельно включать главный щит электрического питания.
5. Включать оборудование без предварительной проверки его лаборантом и без разрешения лаборанта.
6. Включать незадействованные в эксперименте приборы.
7. Производить переключения в схемах, находящихся под напряжением, если этого не допускает инструкция к работе.
8. Касаться оголенных проводников и незаизолированных частей аппаратуры.
9. Оставлять без наблюдения установки, находящиеся под напряжением.
10. Использовать оборудование не по назначению, превышать номинальные параметры его работы.
11. Включать посторонние приборы и аппаратуру.

12. Производить порчу лабораторного оборудования и измерительных приборов, выполнять демонтаж их отдельных частей и блоков, пытаться самостоятельно устранить неисправность.
13. Загромождать рабочее место в лаборатории портфелями, одеждой, книгами, зонтами.
14. Облокачиваться на оборудование и приборы, бесцельно ходить по лаборатории, отвлекать товарищей, громко разговаривать, допускать в лабораторию посторонних.
15. Вмешиваться в работу других бригад.
16. Открывать без разрешения лаборанта форточки и окна.

При несчастном случае необходимо:

1. Обесточить поражающее оборудование, высвободить пострадавшего от действия тока так, чтобы самому не оказаться под напряжением, и сообщить о случившемся лаборанту.
2. Оказать первую помощь пострадавшему под руководством лаборанта, не допуская паники и неорганизованности.
3. При необходимости вызвать скорую помощь по телефону 03 (по мобильному телефону 103 или 112). Искусственное дыхание производить до приема пострадавшего врачом скорой помощи.
4. Доложить заведующему кафедрой.

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 радиоп физики 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 подрисовочные 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 ла-

бораторного 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.

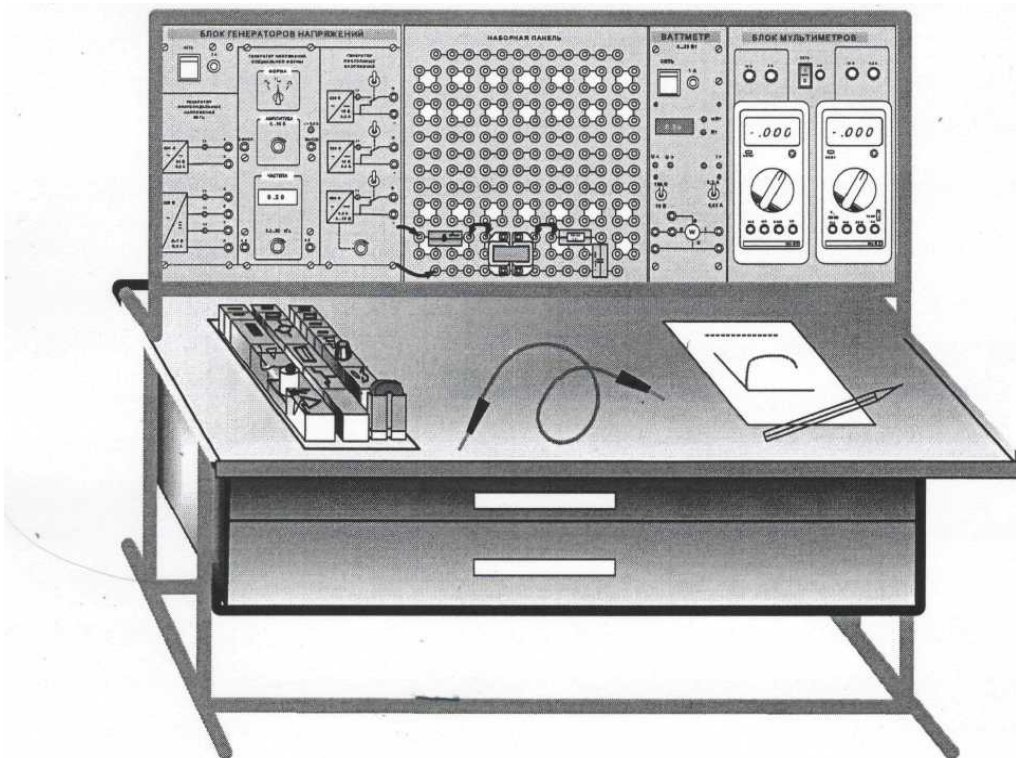


Рис. 1

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.

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.

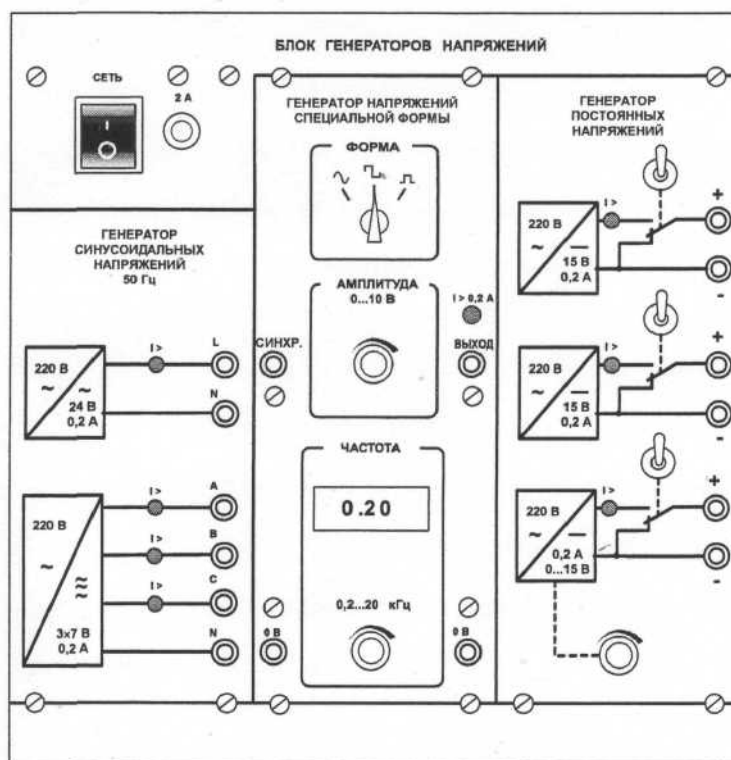


Рис. 2

На лицевой панели блока указаны номинальные 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 трёхфазный стабилизированный по амплитуде выходного напряжения преобразователь однофазного напряжения в трёхфазное. Выходное сопротивление трёхфазного источника в рабочем диапазоне токов близко к нулю.

Генератор напряжений специальной формы вырабатывает на выходе синусоидальный, прямоугольный двухполярный или прямоугольный однополярный сигнал в зависимости от положения переключателя «ФОРМА». Выходное сопротивление генератора в рабочем диапазоне токов также близко к нулю. Между гнездами «СИНХР» и «0 В» генератора при любом положении переключателя «ФОРМА» вырабатываются однополярные прямоугольные импульсы амплитудой 5 В, которые можно использовать для внешней синхронизации осциллографа. Частота сигнала регулируется десятиоборотным потенциометром «ЧАСТОТА» и не зависит как от формы и амплитуды сигнала, так и от тока нагрузки.

Генератор постоянных напряжений содержит три источника стабилизированного напряжения 15 В, гальванически изолированных друг от друга. Выходное напряжение одного из этих источников регулируется от 0 до 15 В десятиоборотным потенциометром. Выходные сопротивления этих источников также близки к нулю и все они допускают режим работы с обратным током (режим потребления энергии). Для получения постоянных напряжений больше 15В они могут соединяться последовательно. Для исключения источников из собранной схемы цепи используются переключатели (тумблеры).

Наборная панель (рис. 3) служит для расположения на ней миниблоков в соответствии со схемой данного опыта.

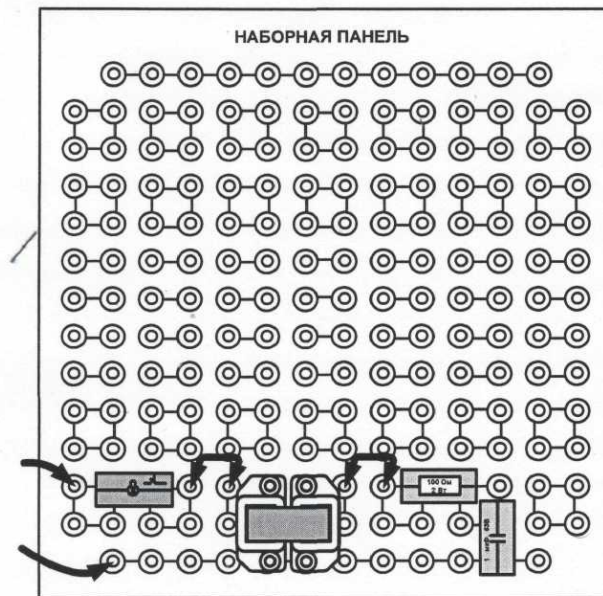


Рис. 3

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 мультиметров 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 предохранителя защиты токовых цепей мультиметров.

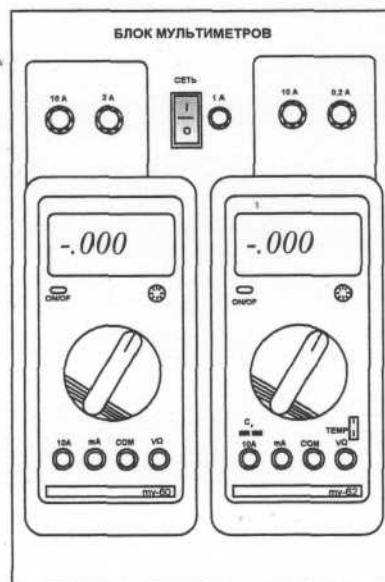


Рис. 4

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 мультиметр от проверяемой цепи (или выключайте источники питания цепи).
- Не измеряйте сопротивление в цепи, к которой подведено напряжение.
- Не измеряйте ёмкость конденсаторов, не убедившись, что они разряжены.

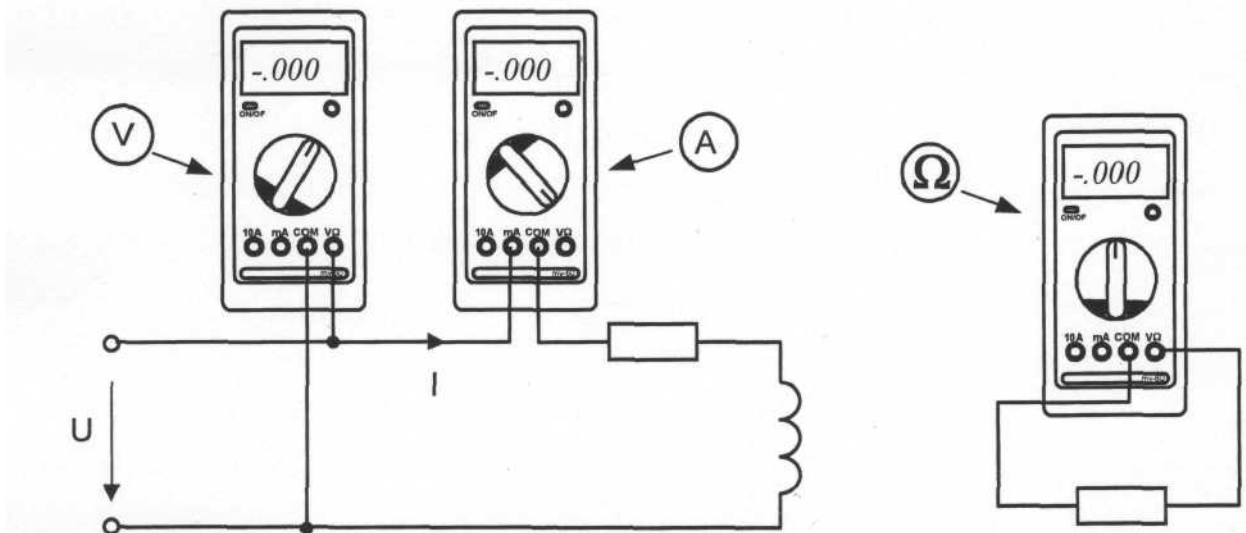


Рис. 5

Будьте внимательны при измерении тока мультиметрами МУ62 и МУ64. Предохранитель 0,2 А этих мультиметров может перегореть от источников напряжения, имеющихся в данном стенде. Мультиметр МУ60 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 Ω ;

- 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

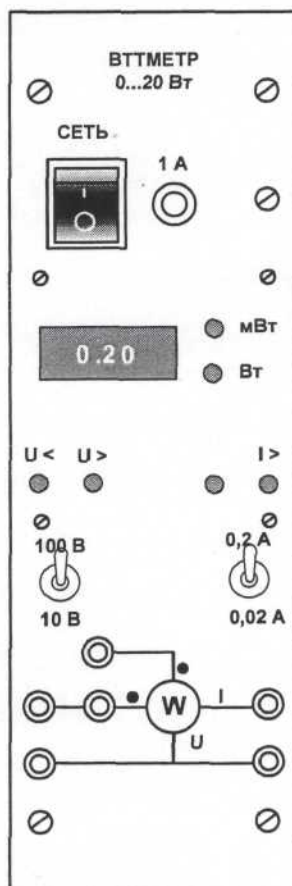


Рис. 6.

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 превышен, 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 закон Ома $I=U/R$ 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».

Электрическим током называют упорядоченное движение электрического заряда. Ток характеризуется величиной и направлением. В качестве условного положительного направления тока принимается направление движе-

ния положительных зарядов. *Силой тока* называется величина $I=dq/dt$, где dq - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за малое время dt . *Постоянный ток* - это ток, неизменный во времени.

Носителями электрического заряда в металлах являются свободные электроны, а в жидкостях – ионы. Упорядоченное движение носителей зарядов в проводниках вызывается электрическим полем, созданным 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. *Электродвижущей силой (ЭДС)* называют работу сторонних (неэлектрических) сил при перемещении единичного положительного заряда от отрицательного полюса источника электрической энергии к положительному. Эта работа совершается против электрической силы внутри источника.

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).

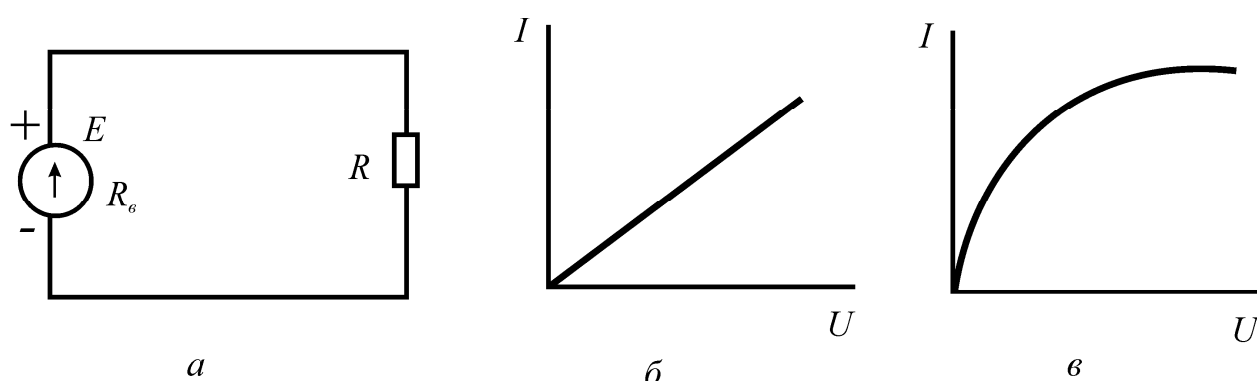


Рис. 1.1

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*, а электрические цепи только с линейными сопротивлениями — *линейными электрическими цепями*.

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

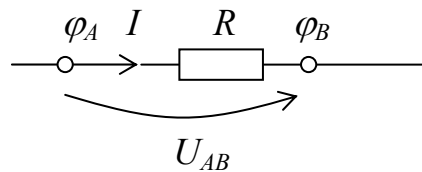


Рис. 1.2.

В цепи, не содержащей ЭДС, положительные заряды движутся от большего потенциала φ_A к меньшему φ_B (рис. 1.2). *Разность потенциалов* $\varphi_A - \varphi_B$ – это работа электрических сил при перемещении единичного положительного заряда из точки А в точку В. *Напряжением (падением напряжения)* U_{AB} на участке АВ называют работу электрических и сторонних сил при перемещении единичного положительного заряда из точки А в точку В. В схеме рис.1.2 ЭДС отсутствует, поэтому разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_B$ совпадает с электрическим напряжением $U_{AB} = U$:

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

Напряжение U на сопротивлении R и ток I через это сопротивление (рис. 1.2) связаны законом Ома:

$$U = IR.$$

Таким образом, в замкнутой цепи, содержащей постоянное сопротивление, ток изменяется пропорционально напряжению:

$$I = U/R.$$

Если при постоянном напряжении изменяется сопротивление, то ток изменя-

ется обратно пропорционально сопротивлению.

Порядок выполнения эксперимента

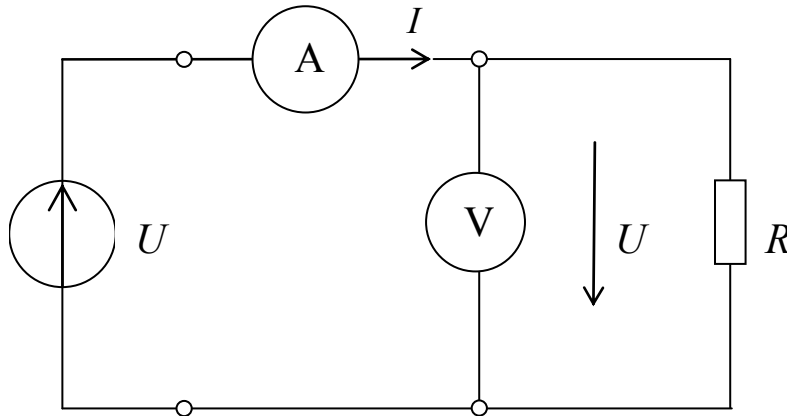


Рис. 1.3

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 сопротивление R_1 , соответствующее 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 $R=150$ 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 $I(R)$ для трёх значений напряжения на одном координатном поле.

Таблица 1.1

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

Таблица 1.2

U , В	0	1	2	3	4	5	6
I , мА, при $R=R_1$							
I , мА, при $R=R_2$							
I , мА, при $R=R_3$							

Таблица 1.3

R , Ом	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. Что такое электрический ток и сила тока?
2. Какое сопротивление называется линейным?
3. Что такое ЭДС, разность потенциалов и напряжение?
4. Как зависит ток I через резистор от его сопротивления R и от напряжения U ? Постройте схематичные графики этих зависимостей.
5. Чем определяется погрешность измерения тока через резистор в схеме, приведенной на рис. 1.3?
6. 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. Провести расчеты. Сравнить результаты расчета и эксперимента.
3. Сделать выводы по работе.

Общие сведения

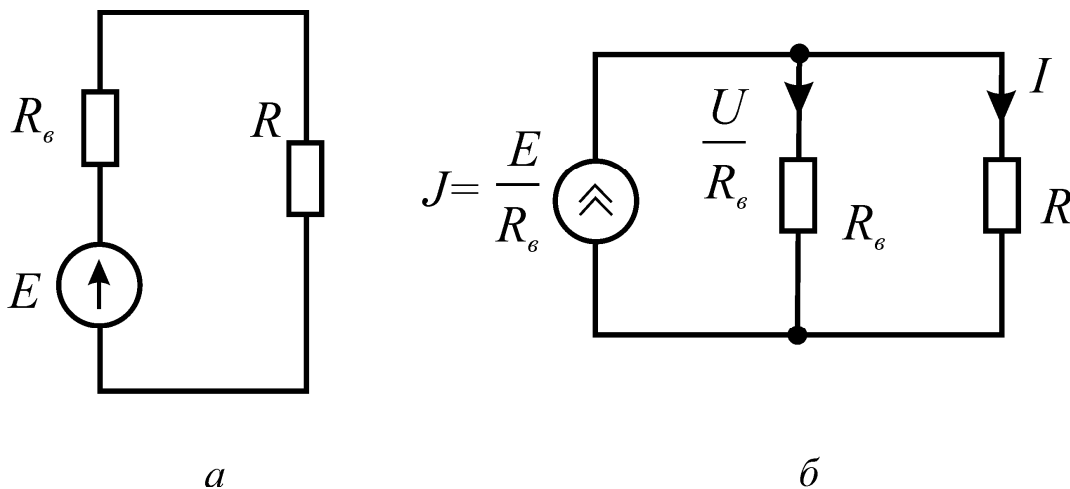


Рис. 2.1

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.

В электрических цепях часто возникает необходимость ограничить величину тока или напряжения. Это реализуется с помощью резисторов, соединяемых последовательно или параллельно (рис. 2.2, а, г).

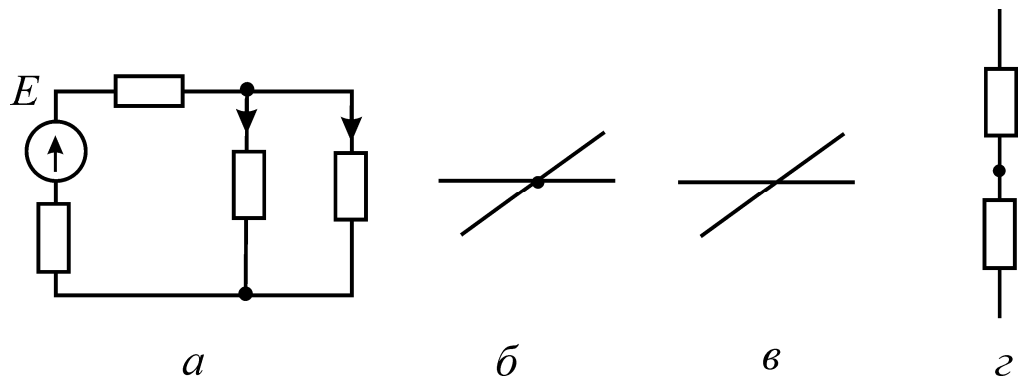


Рис. 2.2

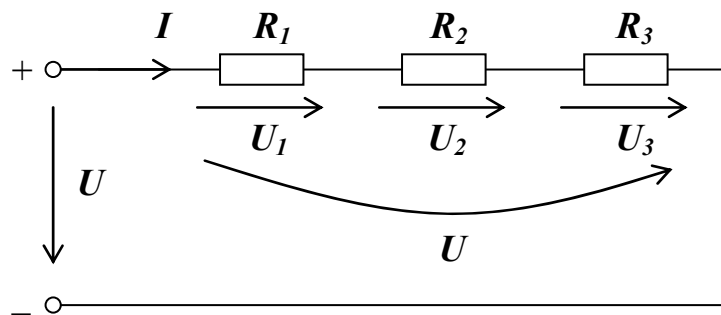


Рис. 2.3

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:

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

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

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

где $R_{ЭКВ}=R_1+R_2+R_3$ – эквивалентное сопротивление. Таким образом, сово-

купная величина последовательно соединенных сопротивлений равна сумме всех сопротивлений. Ток через эти сопротивления определяется приложенным напряжением U и суммарным сопротивлением $R_{\text{ЭКВ}}$:

$$I=U/R_{\text{ЭКВ}}.$$

Последовательное соединение резисторов в электрических цепях 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 $U=U_1=U_2=U_3$.

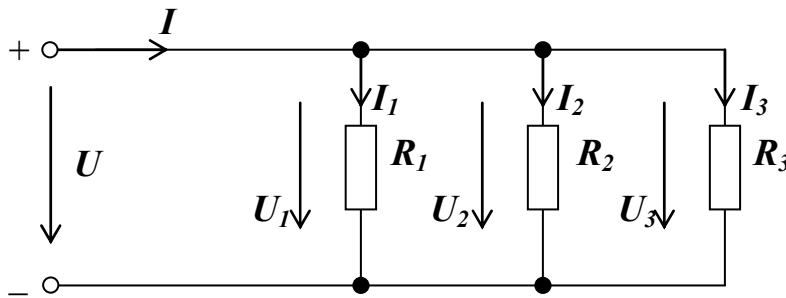


Рис. 2.4

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

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

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

$$I=U/R_{ЭКВ}=UG_{ЭКВ}.$$

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.

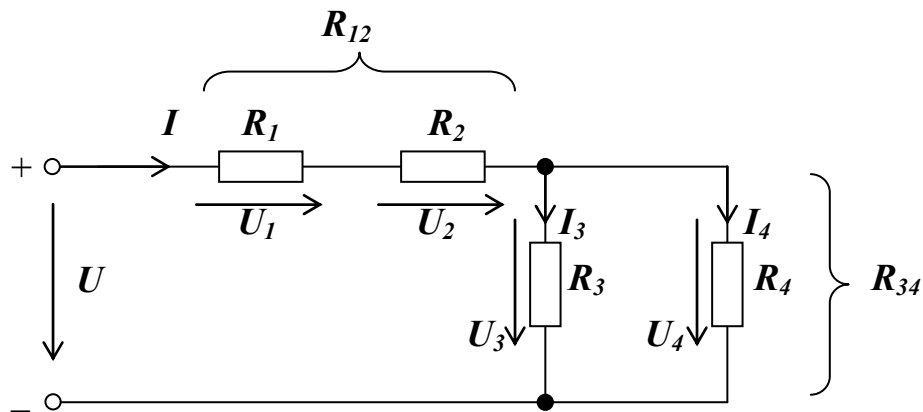


Рис. 2.5

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:

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

Порядок выполнения эксперимента

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, G-Н. Установите постоянное питающее напряжение U на зажимах источника питания (для этого вольтметр V отсоедините от точек D, E и подсоедините к точкам А, Н). Поочередно удаляя перемычки и включая на их место амперметр (мультиметр), измерьте токи вдоль всей последовательной цепи. Результаты занесите в табл. 2.2.

Таблица 2.1

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

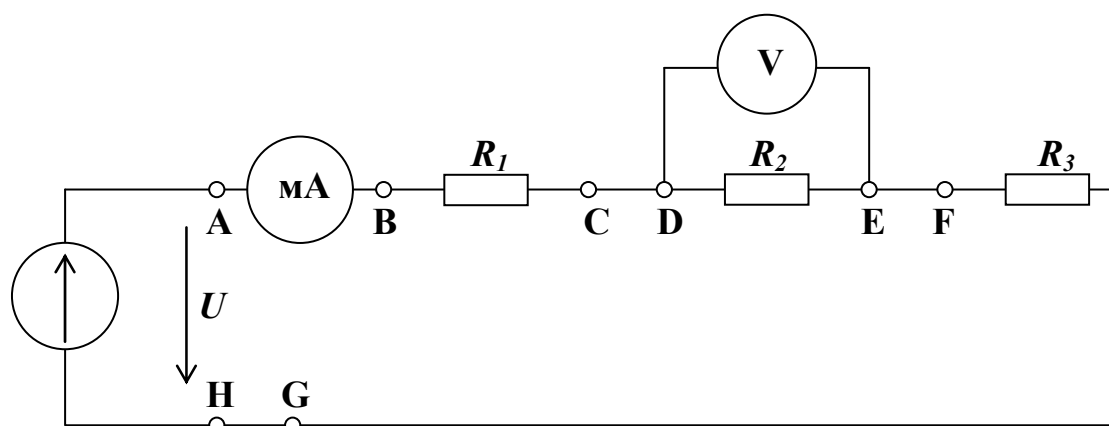


Рис. 2.6

Таблица 2.2

Ток, мА				Напряжение, В			Полное напряжение, В
Точки цепи				Точки цепи			Точки цепи
А-В	С-Д	Е-Ф	Н-Г	В-С	Д-Е	Ф-Г	В-Г

3. Измерьте частичные напряжения на участках В-С, Д-Е, Ф-Г, а также полное напряжение цепи В-Г. Все измеренные величины занесите в табл. 2.2. Проверьте выражение $U=U_1+U_2+U_3$.

4. 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 2.3

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

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

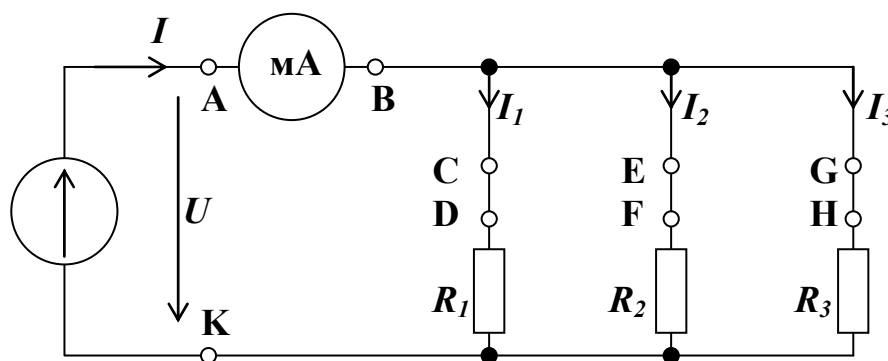


Рис. 2.7

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

6. 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.
7. 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.
8. Рассчитайте сопротивления всех участков цепи и полное сопротивление цепи по закону Ома $R=U/I$ и занесите результаты в табл. 2.5. Про-

верьте равенство $1/R_{ЭКВ}=1/R_1+1/R_2+1/R_3$.

Таблица 2.5

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

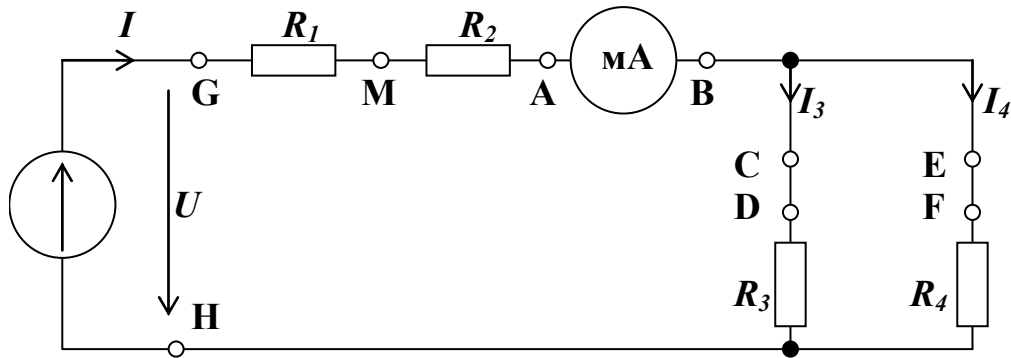


Рис. 2.8

Таблица 2.6

$I_1, \text{ мА}$	$I_2, \text{ мА}$	$I_3, \text{ мА}$	$U_{GH}, \text{ В}$	$U_{GM}, \text{ В}$	$U_{MA}, \text{ В}$	$U_{GA}, \text{ В}$	$U_{BH}, \text{ В}$

Таблица 2.7

	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_{12}, \text{ Ом}$	$R_{34}, \text{ Ом}$	$R_{ЭКВ}, \text{ Ом}$
Измеренные							
Рассчитан-							
Погрешность							

- Соберите цепь согласно схеме (рис. 2.8), вставив переключки между точками А-В, С-Д и Е-Ф. Подайте на вход цепи постоянное напряжение U .
- Измерьте токи во всех ветвях, включая миллиамперметр вместо переключек А-В, С-Д и Е-Ф. Измерьте напряжения на всех элементах. Результаты измерений занесите в табл. 2.6.
- Определите сопротивление каждого участка цепи по закону Ома $R=U/I$ и занесите результаты в строку «Измеренные» табл. 2.7.
- В строку «Рассчитанные» табл. 2.7 запишите сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 из табл. 2.1. 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 «Рассчитанные» табл. 2.7

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

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 определяются эквивалентная проводимость и сопротивление параллельно соединенных резисторов? Почему?
5. Что такое шунтирование?
6. Как определяется эквивалентное сопротивление цепи со смешанным соединением резисторов? Почему?

Лабораторная работа №3

Постоянные источники напряжения (ЭДС)

Цель работы: исследовать нагрузочную характеристику 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

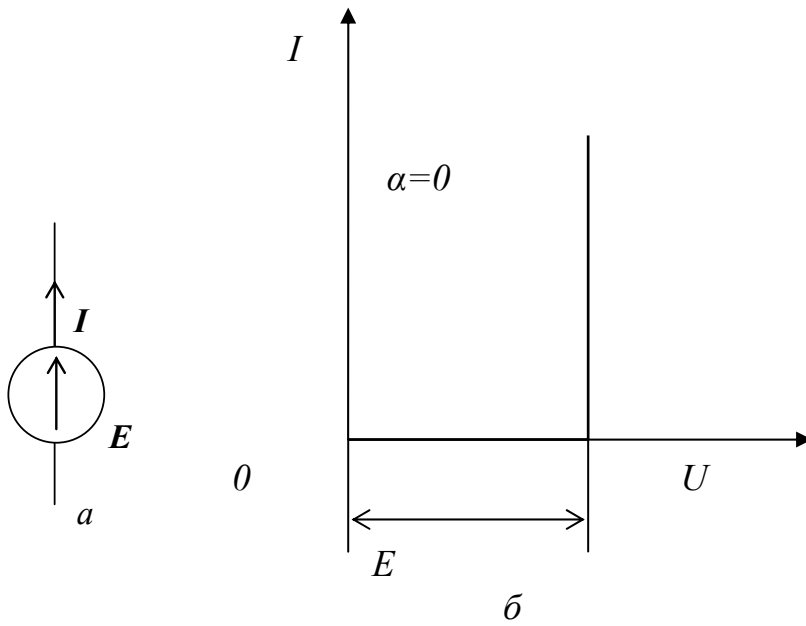


Рис. 3.1

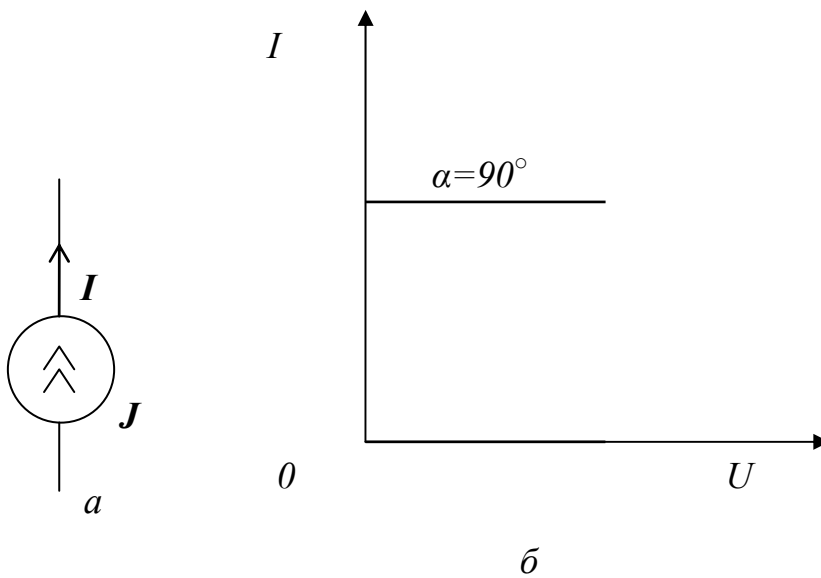


Рис. 3.2

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.

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.

При расчете и анализе электрических цепей *реальный источник* электрической энергии с внутренним сопротивлением 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);

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).

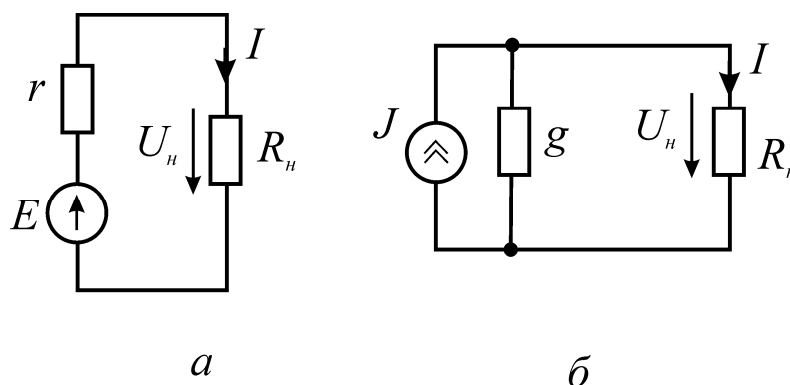


Рис. 3.3

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 эквивалентна схеме рис. 3.3,а в отношении энергии, выделяющейся в сопротивлении нагрузки R_H 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 источников тока и напряжения однозначно связаны соотношениями:

$$g = \frac{1}{r}, \quad J = \frac{E}{r}.$$

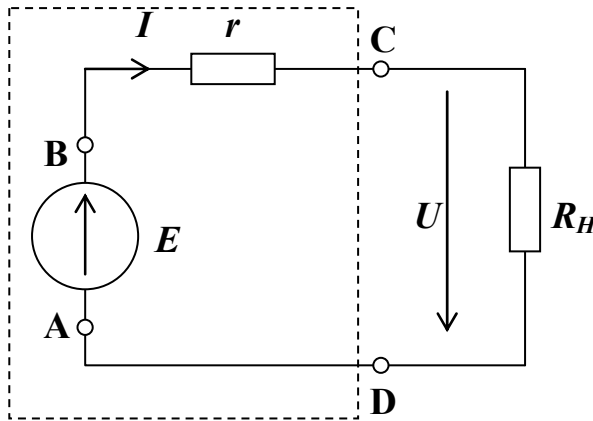


Рис. 3.4

Рассмотрим схему на рис. 3.4, на которой источник напряжения взят в прямоугольник пунктиром. Внешними контактами источника напряжения являются точки **C** и **D**. При подключении нагрузки R_H по замкнутой цепи потечет ток I . Используя второе правило Кирхгоффа, получаем:

$$Ir + U = E.$$

Отсюда находим вольтамперную характеристику источника напряжения:

$$U = E - Ir.$$

Она показывает, что при увеличении выходного тока I выходное напряжение

У источника падает. На рис.3.4 видно, что I и U - это ток и напряжение на нагрузочном сопротивлении R_H . Поэтому зависимость $U=E-Ir$ (или $I=(E-U)/r$) также называют нагрузочной характеристикой источника напряжения.

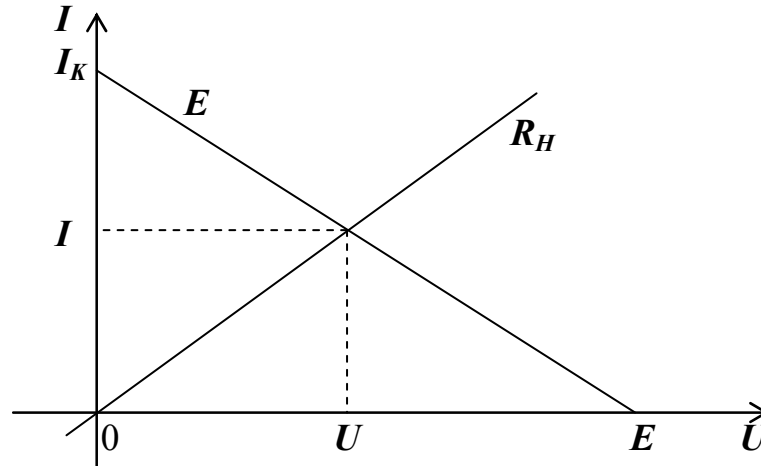


Рис. 3.5

Нагрузочная характеристика $I=(E-U)/r$ показана на рис.3.5. Она представляет собой прямую линию с отрицательным наклоном, проходящую через точки $(U, I) = (E, 0)$, $(0, E/r)$. Точка $(U, I) = (E, 0)$ соответствует режиму холостого хода, когда $R_H=\infty$. Точка $(U, I) = (0, E/r)$ соответствует режиму короткого замыкания, когда $R_H=0$. При этом в цепи протекает ток короткого замыкания:

$$I_K=E/r.$$

Вольтамперная характеристика нагрузки $U=IR_H$ на рис. 3.5 показана в виде прямой линии с положительным наклоном, проходящей через начало координат. Точка пересечения прямых определяет ток I в цепи и напряжение U , падающее на нагрузке.

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

$$\Sigma E=E_1+E_2.$$

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), об-

щее напряжение цепи определяется как разность напряжений (ЭДС) источников:

$$\Sigma E = E_1 - E_2.$$

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

$$\Sigma r = r_1 + r_2.$$

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

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

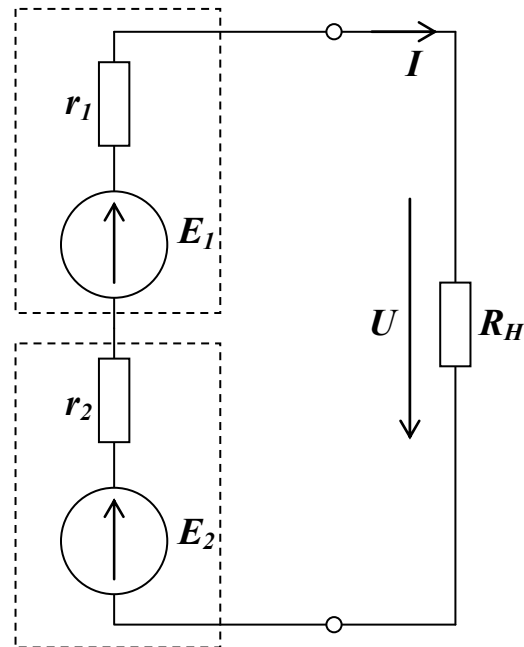


Рис. 3.6

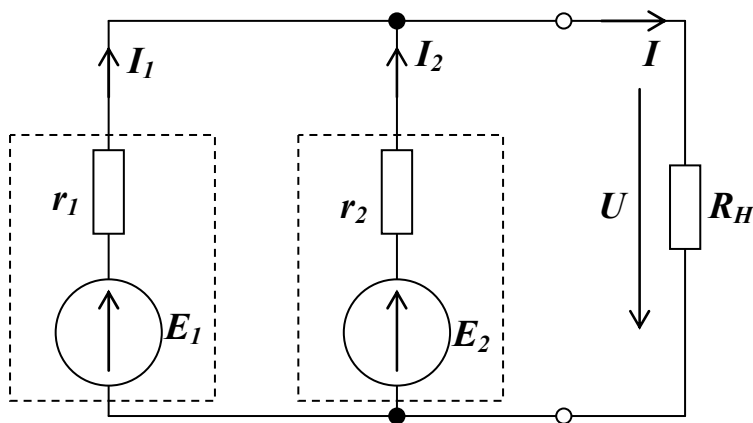


Рис. 3.7

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

$$E_{\text{э}} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2},$$

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	150	150	220	220
r_2 , Ом	220	330	150	330
R_H , Ом	330	470	330	470
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.

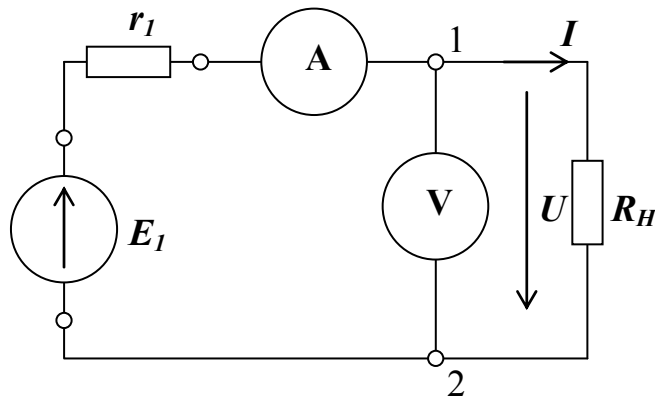


Рис. 3.8

3. Для определения выходного напряжения источника U в режиме холостого хода (х.х.) 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 последовательно устанавливайте различные сопротивления R_H . Показания амперметра и вольтметра заносите в табл. 3.2.
5. Для измерения тока короткого замыкания (к.з.) 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 , Ом	∞ (х.х.)	680	330	100	47	0 (к.з.)
U , В						0
I , 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.

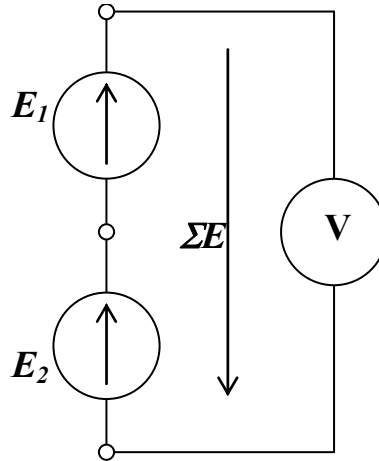


Рис. 3.9

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 ($\Sigma E = E_1 + E_2$) и встречного ($\Sigma E = E_1 - E_2$) включений.

Таблица 3.3

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

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 перемычки для поочередного подключения амперметра.

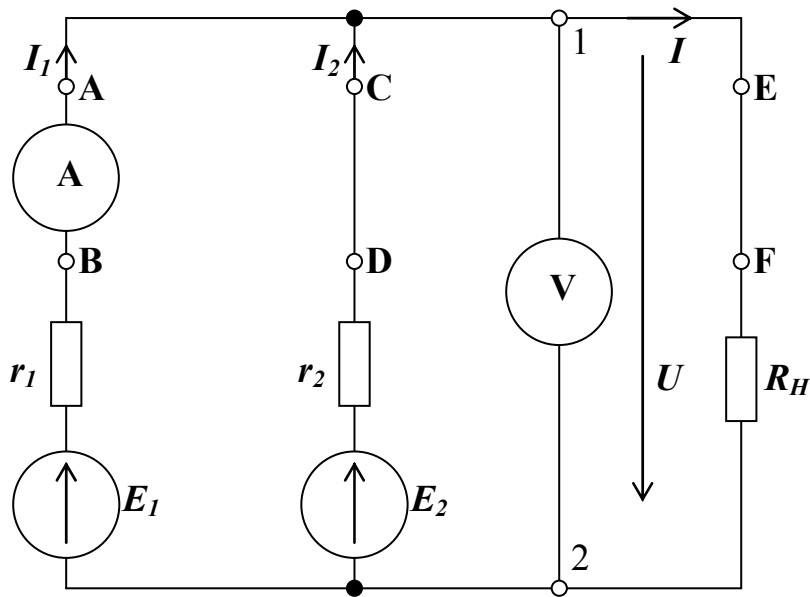


Рис. 3.10

Таблица 3.4

Режим	Параметр	Измерено	Рассчитано
Холостой ход	$E_Э$, В		
	I_0 , мА		
Нагрузка R_H	U , В		
	I , мА		
	I_1 , мА		
	I_2 , мА		

11. Для определения уравнительного тока I_0 в режиме холостого хода разомкните переключку E-F и вместо переключки A-B включите амперметр. Измерьте вольтметром выходное напряжение $E_Э$ между точками 1 и 2. Результаты измерения занесите в табл. 3.4.
12. Подключите нагрузку, замкнув переключку E-F. 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. Что называется идеальным источником напряжения и идеальным источником тока? Нарисуйте их обозначения и вольтамперные характеристики.
2. Как взаимосвязаны параметры эквивалентных источников тока и напряжения? Почему?
3. Что называют нагрузочной характеристикой? Каким уравнением она задается и как выглядит на графике?
4. Что называют режимом холостого хода и режимом короткого замыкания?
5. Как изменится на графике нагрузочная характеристика реального источника ЭДС при уменьшении внутреннего сопротивления?
6. Как изменится на графике нагрузочная характеристика реального источника ЭДС при уменьшении ЭДС?
7. Запишите и обоснуйте выражения для эквивалентных ЭДС и внутреннего сопротивления двух последовательно соединенных источников напряжения.
8. Запишите и обоснуйте выражения для эквивалентных параметров двух параллельно соединенных источников тока.

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 утверждает, что сумма втекающих в узел токов равна сумме вытекающих из этого узла токов.* Применительно к рис. 4.1 этот закон для любого из двух узлов схемы дает уравнение:

$$I_1 + I_2 = I.$$

Физически первый закон Кирхгофа означает, что движение зарядов в цепи происходит так, что ни в одном из узлов они не скапливаются.

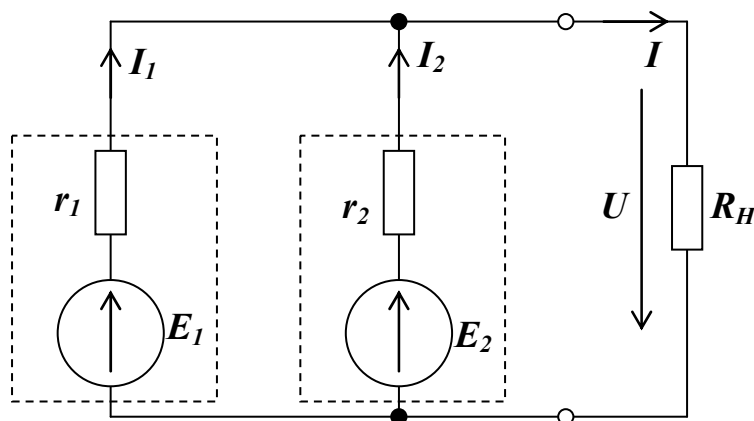


Рис. 4.1

Второй закон Кирхгофа утверждает, что алгебраическая сумма напряжений в контуре равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

$$\sum U = \sum E.$$

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. Второй закон Кирхгофа иногда записывают с учетом за-

кона Ома $U=IR$. Для периферийного (внешнего) контура схемы рис. 4.1 второй закон Кирхгофа дает уравнение:

$$I_1 r_1 + U = E_1 .$$

Для контура (рис. 4.1), содержащего ЭДС E_1 и E_2 второй закон Кирхгофа дает уравнение:

$$I_1 r_1 - I_2 r_2 = E_1 - E_2 .$$

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

Чтобы получить линейно независимые уравнения, по первому закону Кирхгофа составляют уравнения, число которых равно числу узлов минус 1. Уравнение для последнего узла не составляют, так как оно линейно зависит от предыдущих уравнений.

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 условились называть *независимыми*.

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 сопротивлени-

ем R , электрическая энергия необратимо преобразуется в тепловую и может быть выражена через напряжение и электрический ток:

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

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 источника напряжения с ЭДС E и внутренним сопротивлением r к активной нагрузке R через нее потечет ток

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

и будет выделяться мощность

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

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 работе электрической цепи часть мощности бесполезно теряется (рассеивается). Для оценки эффективности работы электрического устройства служит коэффициент полезного действия (КПД) η , который определяется как отношение полезной мощности (или энергии) устройства к полной (затрачиваемой) мощности (или энергии):

$$\eta = P_{\text{полез}} / P_{\text{полн.}}$$

Поскольку полезная мощность из-за потерь меньше, чем затрачиваемая, КПД всегда меньше 1.

Для линии электропередачи полезная мощность – это мощность на выходе линии, а полная (затрачиваемая) мощность – это мощность на входе линии. Поэтому коэффициент полезного действия (КПД) η линии электропередачи

определяется как отношение выходной мощности (или энергии) линии к входной мощности (или энергии):

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

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	1	2	3	4
R , Ом	100	150	220	330
r , Ом	220	330	470	680

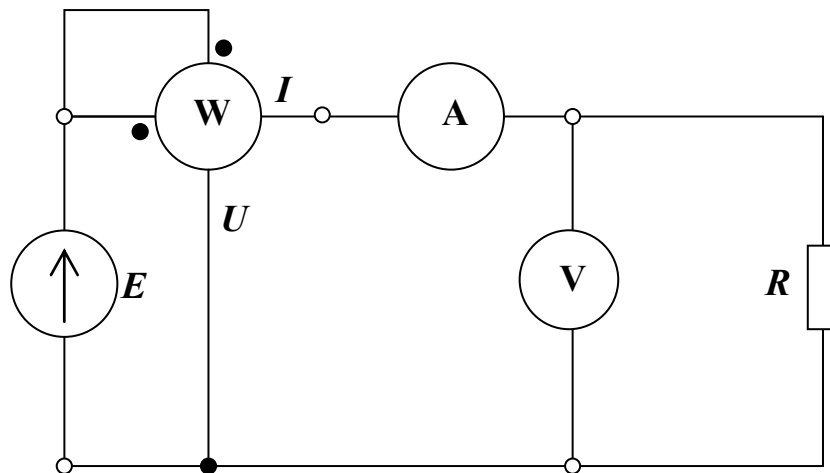


Рис. 4.2

Таблица 4.2

U , В	0	1	2	3	4	5	6	7	8
I , мА									
P , мВт									
$U \cdot I$, мВт									

1. Получите номер варианта у преподавателя. Значения параметров цепи по вариантам находятся в табл. 4.1.

- Соберите цепь согласно схеме на рис. 4.2. Изменяя ЭДС E , измерьте токи и мощности в резисторе при напряжениях, указанных в табл. 4.2.
- Заполните последнюю строку табл.4.2 и постройте график $P(U)$.

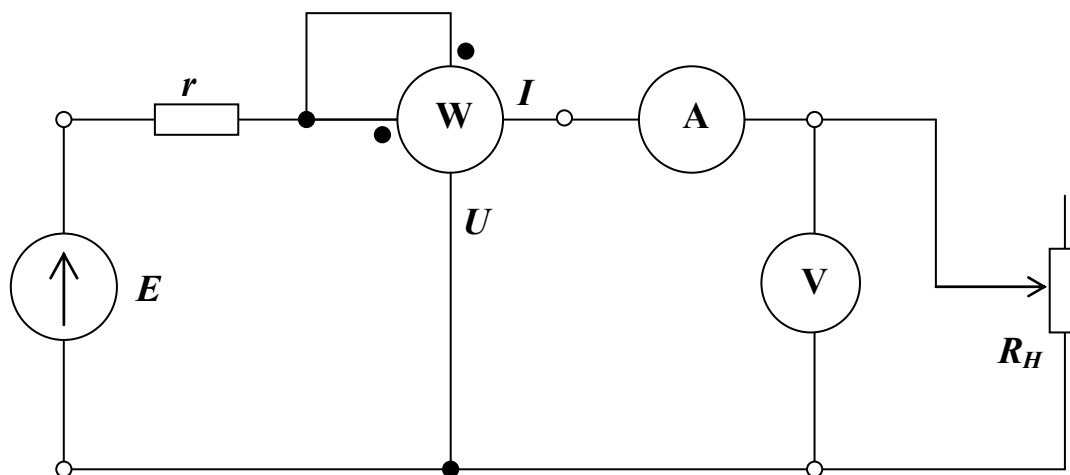


Рис. 4.3

Таблица 4.3

I , мА	U , В	P , мВт	$R_H = U/I$, Ом
...			

- Соберите цепь согласно схеме на рис. 4.3. Резистор r имитирует внутреннее сопротивление источника напряжения. В качестве нагрузки используется переменный резистор (потенциометр).
- 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.
- Рассчитайте значения сопротивления нагрузки для каждого измерения и постройте график $P(R_H)$. Проверьте, достигается ли максимум мощ-

ности P при $R_H = r$.

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.

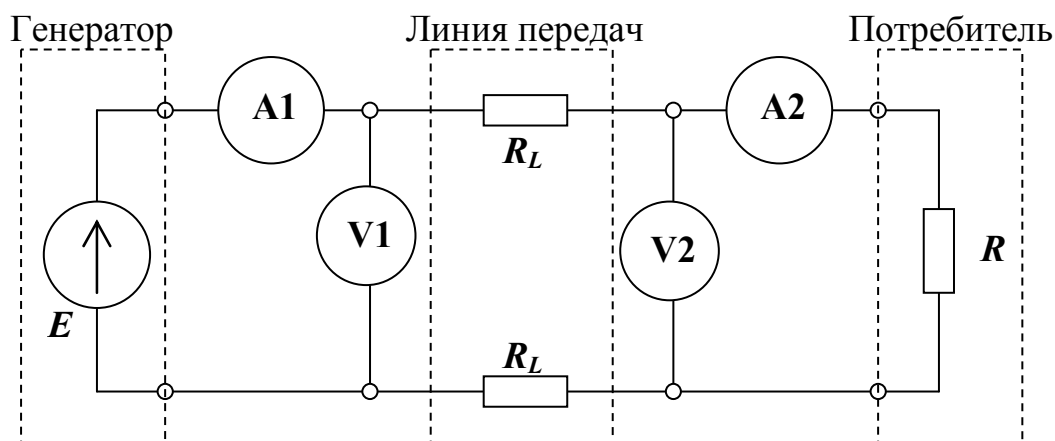


Рис. 4.4

Таблица 4.4

$I_{ВХ}$, мА	$U_{ВХ}$, В	$P_{ВХ}$, мВт	$I_{ВЫХ}$, мА	$U_{ВЫХ}$, В	$P_{ВЫХ}$, мВт	η

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа. Какие более общие законы лежат в основе законов Кирхгофа?
2. Что называют электрической мощностью? Что такое активная мощность? Какова ее природа?
3. Что такое согласованный режим работы цепи?
4. Что называют коэффициентом полезного действия устройства?
5. Чему равен КПД электрической цепи в согласованном режиме нагрузки?
6. Как КПД линии электропередач зависит от сопротивления линии?

Лабораторная работа №5

Делитель напряжения и добавочное сопротивление

Цель работы: исследовать работу делителя напряжения и схемы с добавочным сопротивлением, измерить их выходное напряжение и КПД.

Задачи:

1. Выполнить эксперименты по исследованию электрических цепей, содержащих делитель напряжения или добавочное сопротивление.
2. Построить графики.
3. Сделать выводы по работе.

Общие сведения.

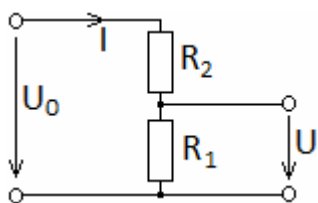


Рис. 5.1

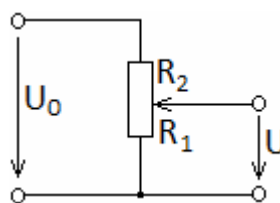


Рис. 5.2

Простейший делитель напряжения состоит из двух последовательно соединенных резисторов (рис. 5.1). Делители применяют в тех случаях, когда нужно снизить имеющееся напряжение. Напряжение U на выходе делителя можно рассчитать, используя закон Ома:

$$U = IR_1 = U_0 R_1 / (R_1 + R_2).$$

Чтобы обеспечить регулирование выходного напряжения U , вместо двух постоянных резисторов используют потенциометр (рис. 5.2). Тогда изменяя положение движка потенциометра (угол поворота α при цилиндрической конструкции потенциометра), можно устанавливать напряжение на выходе делителя в диапазоне от 0 (при $R_1=0$) до U_0 (при $R_2=0$).

Напряжение U , получаемое в результате деления, обычно подается на на-

грузку R (рис. 5.3). Напряжение U на выходе делителя напряжения под нагрузкой можно рассчитать, определив эквивалентное сопротивление R_3 параллельно соединенных резисторов R_1 и R :

$$R_3 = R_1 R / (R_1 + R).$$

Тогда

$$U = IR_3 = U_0 R_3 / (R_3 + R_2).$$

В зависимости от положения движка (угла поворота) потенциометра напряжение U можно менять от 0 (при $R_1=0$) до U_0 (при $R_2=0$).

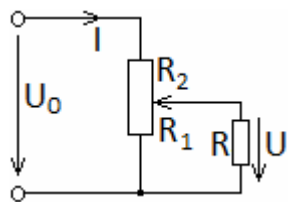


Рис. 5.3

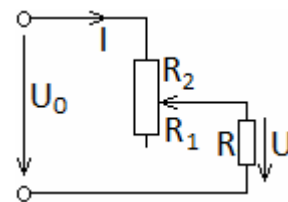


Рис. 5.4

Для снижения напряжения и тока можно также использовать переменное добавочное сопротивление R_2 (рис. 5.4). Ток I и напряжение U на нагрузке определяются по формулам

$$I = U_0 / (R + R_2).$$

$$U = IR = U_0 R / (R + R_2).$$

В зависимости от положения движка (угла поворота) потенциометра напряжение U можно менять от $U_0 R / (R + R_0)$ (при $R_1=0$) до U_0 (при $R_2=0$). Здесь $R_0 = R_1 + R_2$ - полное сопротивление потенциометра.

Коэффициент полезного действия (КПД) η делителя напряжения и схемы с добавочным сопротивлением имеет вид:

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{U^2}{U_0 IR}; \quad (5.1)$$

где $P_0 = U_0 I$ – полная мощность; $P = U^2 / R$ – полезная мощность, выделяемая на нагрузке R . В случае схемы с добавочным сопротивлением $P = UI$. Тогда из соотношения (5.1) получаем:

$$\eta = U / U_0. \quad (5.2)$$

Из уравнений (5.1), (5.2) видно что, КПД делителя напряжения меньше КПД схемы с добавочным сопротивлением.

Порядок выполнения эксперимента

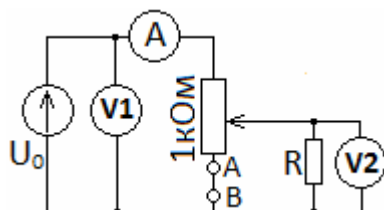


Рис. 5.5

Таблица 5.1

№ варианта	1	2	3	4
R , Ом	100	150	220	330
R , кОм	1	2.2	4.7	10

Таблица 5.2

	Положение потенциометра (угол поворота α)					
	0	2	4	6	8	10
I , мА						
U , В						
η						

1. Получите номер варианта у преподавателя. Значения параметров цепи по вариантам находятся в табл. 5.1.
2. Соберите цепь согласно схеме на рис. 5.5. Установите входное напряжение $U_0=10\text{В}$. Измерьте ток I и выходное напряжение U при каждом из положений потенциометра, заданных в табл. 5.2 значениями угла α . Измеренные величины внесите в таблицу.
3. В схеме рис. 5.5 замените сопротивление R в соответствии с табл. 5.1 и повторите измерения пункта 2. Результаты измерений запишите в табл. 5.3 аналогичную табл. 5.2.
4. В схеме рис. 5.5 уберите перемычку АВ и повторите измерения пунктов 2, 3. Результаты измерений запишите в табл. 5.4, 5.5 аналогичные табл. 5.2.



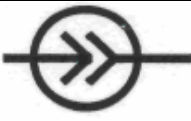
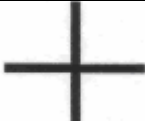





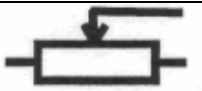








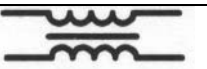
5. Заполните последнюю строку таблиц 5.2 - 5.5, рассчитав КПД η по формулам (5.1) (для табл. 5.2, 5.3) и (5.2) (для табл. 5.4, 5.5).
6. На одном координатном поле постройте графики зависимостей $U(\alpha)$ по данным табл. 5.2 - 5.5.
7. На одном координатном поле постройте графики зависимостей $\eta(\alpha)$ по данным табл. 5.2 - 5.5. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое делитель напряжения? Нарисуйте его схему и выведите формулу для выходного напряжения.
2. Для чего используется добавочное сопротивление? Выведите формулы для тока и напряжения на нагрузке с добавочным сопротивлением.
3. Что такое коэффициент полезного действия? Чему равен КПД делителя напряжения?
4. Чему равен КПД схемы с добавочным сопротивлением?
5. Назовите преимущества и недостатки делителя напряжения по отношению к схеме с добавочным сопротивлением?

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: отдельный	
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			

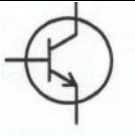


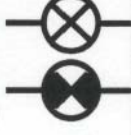
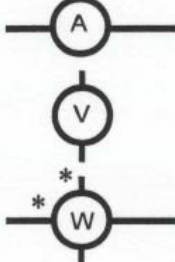
Транзисторы: Биполярный		Диоды	
Униполярный (полевой)			
Лампы накаливания: осветительная сигнальная		Измерительные приборы: амперметр вольтметр	

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 Фарада	мкФ, нФ, пФ

Таблица П.3. 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

Таблица П.4. 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	1
4,7 кОм	1	Варикап КВ 105А, 20 мА	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		