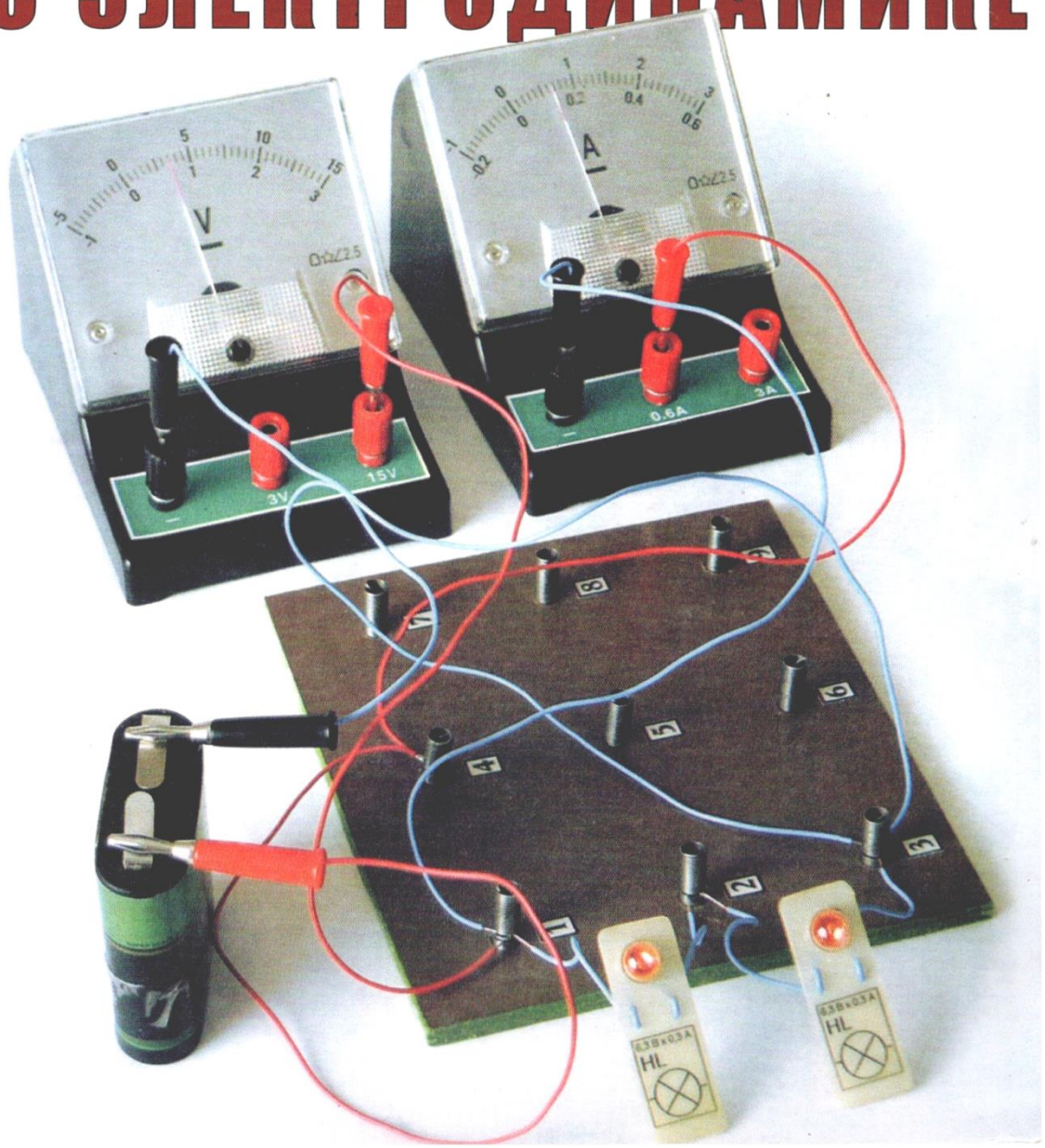
П.П. ГОЛОВИН

ФРОНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ



П.П. ГОЛОВИН

ФРОНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ



Допущено Министерством образования Российской Федерации
для использования при обучении физике
в общеобразовательных учреждениях России

Включено в Федеральный комплект
учебно-методического обеспечения

Издание второе

По инициативе П.П. Головина и школьного физико-технического общества, при содействии органов народного образования Ульяновской области и Министерства образования России на базе Ишеевской средней школы Ульяновского района Ульяновской области в 1990 году была создана ученическая учебно-методическая и производственная фирма «Импульс». В двух классах-цехах с заводским оборудованием на 50 рабочих мест проходят профессиональную подготовку учащиеся 8–11 классов. Программа подготовки: теория, практические занятия по усвоению теоретических знаний и изготовлению продукции, квалификационный экзамен на получение разряда по специальности «монтажник радиоаппаратуры и приборов». Вырученные от деятельности фирмы средства идут на зарплату учащимся, работающим во внеурочное время, на содержание штатных работников, развитие фирмы и школы.



Головин Петр Петрович,
народный учитель СССР,
кандидат педагогических наук

Продукция фирмы «Импульс» пользуется большой популярностью и реализуется через сеть магазинов «Учколлектор», а также высылается по прямому заказу школ.

Опыт использования учителями разработанных П. П. Головиным учебно-наглядных пособий и методики их применения позволяет выделить следующие их достоинства:

– простота и быстрота в проведении экспериментов;
– наглядность и вариантность изучаемых конструкций;
– универсальность применения, независимо от учебной программы;
– тиражируемость технологии обучения и методики использования.

При «Импульсе» работает руководимая П.П. Головиным авторская Всероссийская школа повышения квалификации учителей физики по совершенствованию практической части преподавания электродинамики в школьном курсе и организации внеклассной работы по физико-техническому творчеству. За 1992–2005 годы проведено более 200 занятий в Москве, Санкт-Петербурге, Сыктывкаре, Воркуте, Анадыре, Чебоксарах, Пензе, Саратове, Магадане, Рязани, Смоленске, Йошкар-Оле, Инте, Печоре, Уфе, Казани, Самаре, Челябинске и в других городах.

Оригинальная методика обучения учащихся практическим основам электродинамики Петра Петровича Головина – народного учителя, кандидата педагогических наук – создана на базе результатов исследований проблем развития интересов, склонностей и способностей школьников к физико-техническому творчеству.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ФИРМЫ «ИМПУЛЬС»
ПО ВЫПУСКУ УЧЕБНО-НАГЛЯДНЫХ ПОСОБИЙ И ПОВЫШЕНИЮ КВАЛИФИКАЦИИ УЧИТЕЛЕЙ
ЗАЩИЩЕНА ТОВАРНЫМ ЗНАКОМ И ЗНАКОМ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО КЛАССАМ 9, 16, 41

УДК 537.3
ББК 22.312
Г 61

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. И. Зинковский, заведующий учебно-методической лабораторией физики Московского института открытого образования, кандидат педагогических наук;

В. А. Коровин, заслуженный учитель Российской Федерации, кандидат педагогических наук, заместитель руководителя Департамента экспертизы учебных изданий РЦ ЭМТО Министерства образования Российской Федерации;

Е. С. Объедков, учитель-методист школы № 548 г. Москвы, заслуженный учитель Российской Федерации, кандидат педагогических наук, семикратный стипендиат Фонда Сороса;

В. А. Основина, заместитель начальника Главного управления образования администрации Ульяновской области, кандидат педагогических наук.

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ

А. В. Усова, доктор педагогических наук, академик, заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Г 61 **Головин П. П. Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике:** экспериментальные задания по электродинамике. 2-е изд. – Ульяновск: Издательство «Корпорация технологий продвижения», 2007. – 256 с.

Предлагаемое пособие предназначено для проведения 60 лабораторных работ по основам электродинамики с учащимися 8—11 классов на уроках и факультативных занятиях по любой из действующих в общеобразовательных учреждениях программ. Пособие — составная часть комплекта «Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике», выпускаемого организованной автором ученической учебно-методической и производственной фирмой «Импульс» Ишеевской средней школы Ульяновской области.

Выполнение учащимися работ по данному пособию будет способствовать развитию их творческих способностей, повторению и углублению пройденного на уроках материала, осуществляемого в увлекательной для них форме.

Пособие с успехом может быть использовано учителями физики в процессе подготовки к учебным занятиям и во внеклассной (кружковой) работе с учащимися.

ISBN 978-5-94655-106-9

© Головин П. П., 2007
© Издательство «Корпорация технологий продвижения», 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное пособие является результатом многолетних творческих поисков автора — народного учителя СССР П. П. Головина, направленных на выявление эффективных методов обучения учащихся основам электродинамики и на развитие их творческих способностей.

В пособии представлено описание 60 лабораторных работ по электродинамике для учащихся 8—11 классов. Одни из них предлагаются для фронтального выполнения, другие — для физического практикума. Базой для их выполнения служит комплект деталей, разработанный автором и выпускаемый организованной им ученической учебно-методической и производственной фирмой «Импульс» при Ишеевской средней школе Ульяновской области.

Наряду с этим в работах используется и стандартное оборудование физического кабинета (амперметр, вольтметр, источник питания, осциллограф и др.).

Автором тщательно продумана вся система работ, приводятся рекомендации по технологии выполнения начальных операций, без чего невозможно собрать ни одной (даже простейшей) схемы электрической цепи или конструкции. Большое внимание уделяется вопросам техники безопасности при выполнении работ.

Использовать пособие в практической работе в значительной степени помогут многочисленные иллюстрации: принципиальные схемы, эскизы, поясняющие расположение деталей на плате, рисунки, изображающие способы монтажа деталей, внешний вид деталей (чтобы обучаемый мог сам отыскать в имеющемся наборе нужную деталь).

Автором разработана последовательность выполнения отдельных работ. Учащиеся постепенно знакомятся со схемами электрических цепей, с входящими в них элементами, с их знаковыми обозначениями.

С пособием юные радиолюбители могут работать самостоятельно до начала изучения раздела «Электричество» в курсе физики 8 класса, благодаря тому, что в нем в простой, доступной для любого подростка форме излагаются «азы» строения вещества и электричества.

Имея в виду, что современные школы многопрофильные, а обучение разноуровневое и дифференцированное, автор не счел нужным увязывать предлагаемые работы с какой-то одной конкретной программой обучения физике. Учителю предоставляется возможность самому выбирать нужные работы, содержание и число предлагаемых в них заданий и форму организации деятельности учащихся. Например, одни работы предложить в виде кратковременных опытов, другие — в виде одночасовых лабораторных работ, третьи — в виде индивидуальных многочасовых исследований.

А. В. Усова,
заведующая кафедрой методики преподавания физики Челябинского государственного педагогического университета, доктор педагогических наук, академик РАО, заслуженный деятель науки Российской Федерации

ОТ АВТОРА

Считаю своим долгом выразить благодарность:

— преподавателям школ Ульяновской, Пензенской, Саратовской, Рязанской, Смоленской, Самарской, Омской областей, г. Москвы, республик Коми, Марий Эл, Татарстана, Чувашии, студентам Ульяновского, Челябинского педагогических университетов и многим другим, кто занимался у автора на курсах Всероссийской школы повышения квалификации учителей и своими советами помог сформировать содержание и объем предлагаемых лабораторных работ, предварительно проверив их на уроках в классах разного профиля;

— рецензентам В. А. Коровину, Е. С. Объедкову, В. А. Основиной, В. И. Зинковскому — за ценные советы по улучшению книги, которые с признательностью приняты автором;

— А. В. Усовой, научному руководителю — за научно-методическую помощь, оказанную автору при работе над пособием;

— учащимся старших классов Ишеевской средней школы — за многократную опытно-экспериментальную проверку всех без исключения предлагаемых в книге заданий.

П. П. Головин,
народный учитель СССР, кандидат педагогических наук,
директор ученической учебно-методической
и производственной фирмы «Импульс»,
руководитель Всероссийской авторской школы
повышения квалификации учителей физики

ВВЕДЕНИЕ

О КНИГЕ

Книга «Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике» является составной частью комплекта «Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике», выпускаемого организованной автором ученической учебно-методической и производственной фирмой «Импульс», действующей при Ишеевской средней школе Ульяновской области.

В книге описано 60 работ различной сложности. Базой для их выполнения служит вышеупомянутый комплект совместно с типовым школьным оборудованием (амперметрами, вольтметрами, осциллографом, блоком питания и др.). Большинство работ посвящено изучению явлений и закономерностей, воспроизводимых с помощью деталей комплекта. Но есть и такие, в которых главную роль играет стандартное оборудование физического кабинета: именно оно является предметом изучения. Таких работ немного, но они важны, поскольку знакомят с широко распространенными современными приборами: амперметром, вольтметром, авометром, источником питания, осциллографом и др. и открывают пути их дальнейшего использования.

Работы по смыслу неравноценны: одни можно зачислить в разряд основных — они относятся к классам, изучающим физику на базовом уровне; другие работы — развивающие и углубляющие знания — они могут быть включены в практикум, их целесообразно предлагать в классах, изучающих физику на повышенном уровне. Каждая работа состоит из нескольких заданий, которые могут рассматриваться как самостоятельные, но вместе с тем это связанные между собой исследования.

Все описания работ построены по единому плану и имеют следующие разделы: тема, цель работы, литература, оборудование, краткая теория, вопросы для самоконтроля по теории, практическая часть работы, контрольные вопросы и задания (этот раздел предназначен для проверки усвоения материала, относящегося к экспериментальной части работы; он присутствует не везде). Для удобства пользования описаниями работ каждая из них начинается с новой страницы и имеет свою нумерацию рисунков.

Так как современные школы многопрофильные, а обучение разноуровневое и дифференцированное, автор не счел нужным увязывать предлагаемые работы с какой-то одной конкретной программой обучения физике.

Опыт работы с материалами пособия в течение 1991—2005 годов показал, что лабораторные исследования предпочтительно разделить на задания для того, чтобы в зависимости от профиля класса, используемой программы и ресурса времени преподаватель мог сам выбрать нужные работы, содержание и число предлагаемых из них заданий и форму организации деятельности учащихся. Например, одни работы предложить в виде фронтальных кратковременных опытов, вторые — одно-

часовых лабораторных работ, третьи — индивидуальных многочасовых исследований. И эта идея в пособии осуществлена.

В основу книги положен такой принцип: введение адресовано учителю, описания работ — учащимся. Исходя из этого, в каждую работу включена теоретическая часть, частично повторяющая изученное на уроках физики, а частично развивающая, дополняющая его.

Книга и комплект ориентированы на выполнение нескольких функций:

1. Расширение практической части учебной программы по физике и формирование экспериментальных умений учащихся при обучении предмету.

2. Развитие творческой самостоятельности учащихся.

3. Усиление связи обучения с жизнью; для чего в комплекте использованы детали, применяемые в современных радиоэлектронных устройствах.

4. Расширение возможностей дифференциации обучения, его индивидуализации: каждый ученик на занятии может работать в своем темпе, ему в работах предлагается несколько заданий, которые он может выполнить при изучении темы.

О КОМПЛЕКТЕ

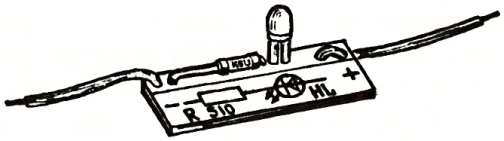
В состав комплекта «Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике» входят:

— данная книга «Фронтальные лабораторные работы и практикум по электродинамике»;

— набор деталей (лампы, постоянные и переменные резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и т. д.), снабженные соединительными выводами и условными графическими обозначениями (рис. 1);



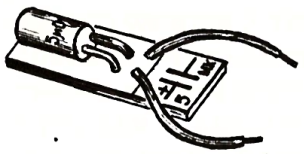
Резистор постоянный

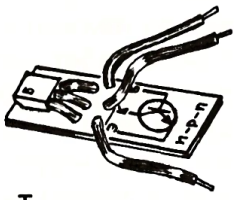


Светодиод



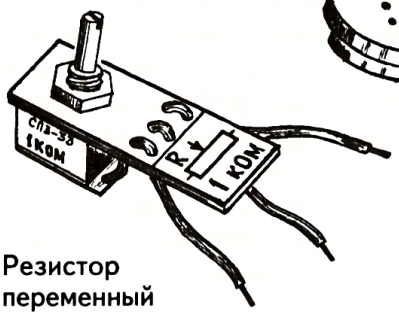
Диод



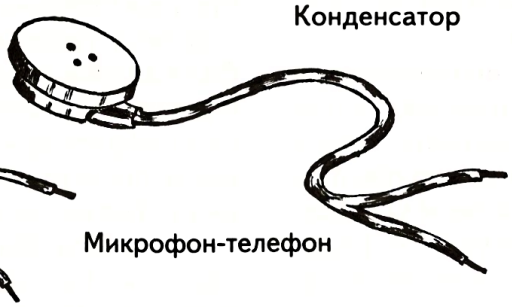


Транзистор

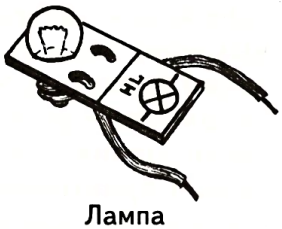
Конденсатор



Резистор переменный



Микрофон-телефон



Лампа накаливания

Рис. 1

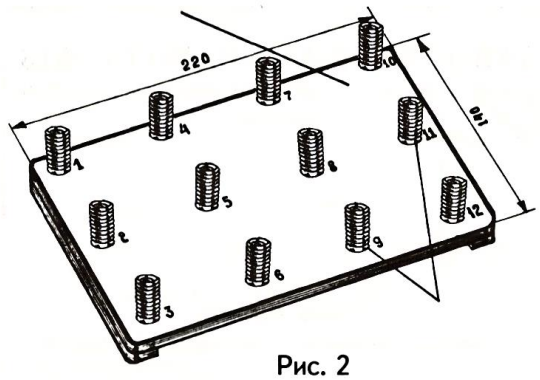


Рис. 2

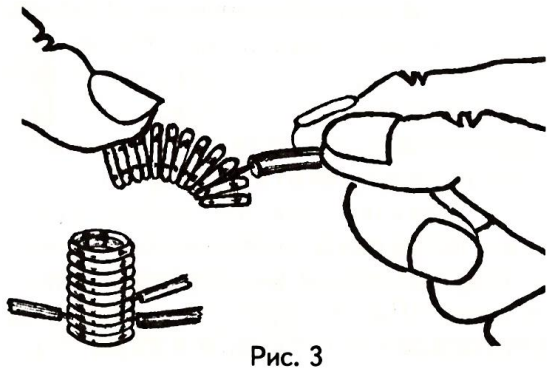
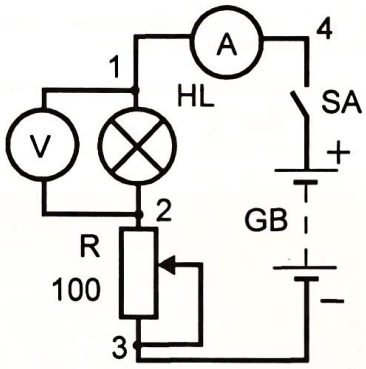


Рис. 3

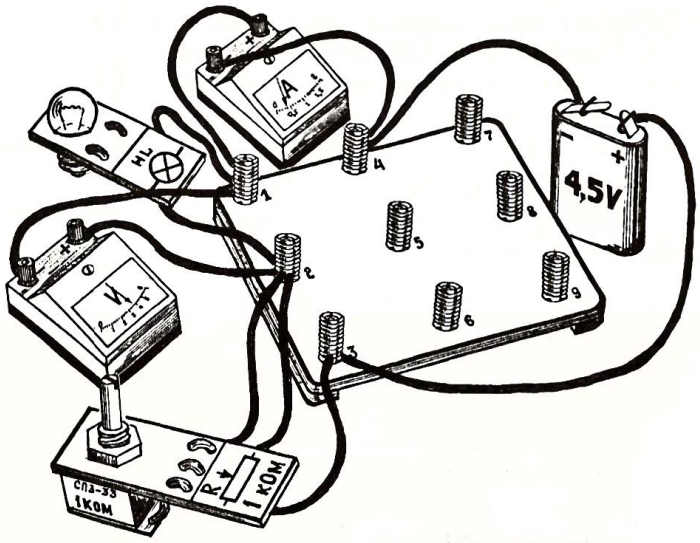
– специальная макетная плата для сборки электрических цепей изучаемых конструкций (рис. 2), представляющая собой пластину из изоляционного материала, на поверхности которой в определенном порядке расположены 9 или 12 пружинных контактов. Они служат опорами при монтаже элементов схемы и обеспечивают электрический контакт между ними.

Способ соединения проводников в пружине показан на рис. 3. Пружину отгибают пальцем в сторону к поверхности платы и в образовавшийся промежуток между витками спирали вставляют оголенный конец соединительного провода. Пружина, выпрямившись, надежно зажимает его.

Цифры на принципиальных схемах соответствуют номерам пружин и упрощают перенос принципиальной схемы на макетную плату (рис. 4 *а, б*).



а



б

Рис. 4.

Методические советы по работе с комплектом

1. Рекомендуем раздавать (в целях сохранности) учащимся из набора только те детали, которые необходимы для выполнения данной работы. Для этого в комплекте предлагается прозрачный полиэтиленовый пакет.

2. Полезно изготовить к работам демонстрационный плакат многоразово-

го пользования, на котором отразить основное их содержание. Это можно сделать на картоне или ватмане размером 60х90 см (рис. 5). Перед началом практических действий учитель должен плакат прокомментировать.

3. В связи с тем, что школы работают по разным программам и учебникам, в описании каждой работы после слова «Литература» учитель должен дать ссылки на страницы и параграфы используемых учебных пособий, где изложен материал, с которым связана тема исследования.

4. Рекомендуем самим разработать и использовать лабораторные работы, положив в основу методику и принцип макетирования, принятые в данном пособии.

5. Предлагаем для использования учителем демонстрационный комплект по электродинамике, выпускаемый ученической фирмой «Импульс» и позволяющий поставить более 100 опытов. Пример использования комплекта показан на рис. 6.

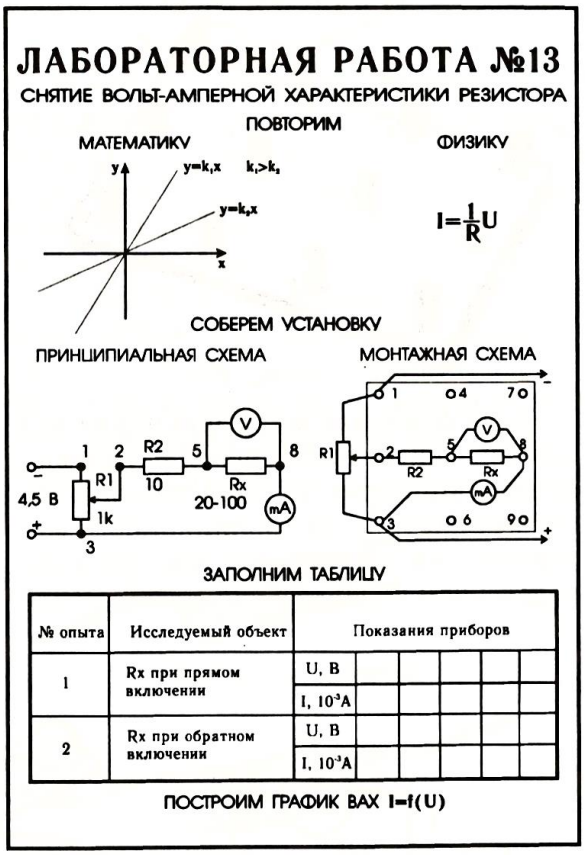


Рис. 5.

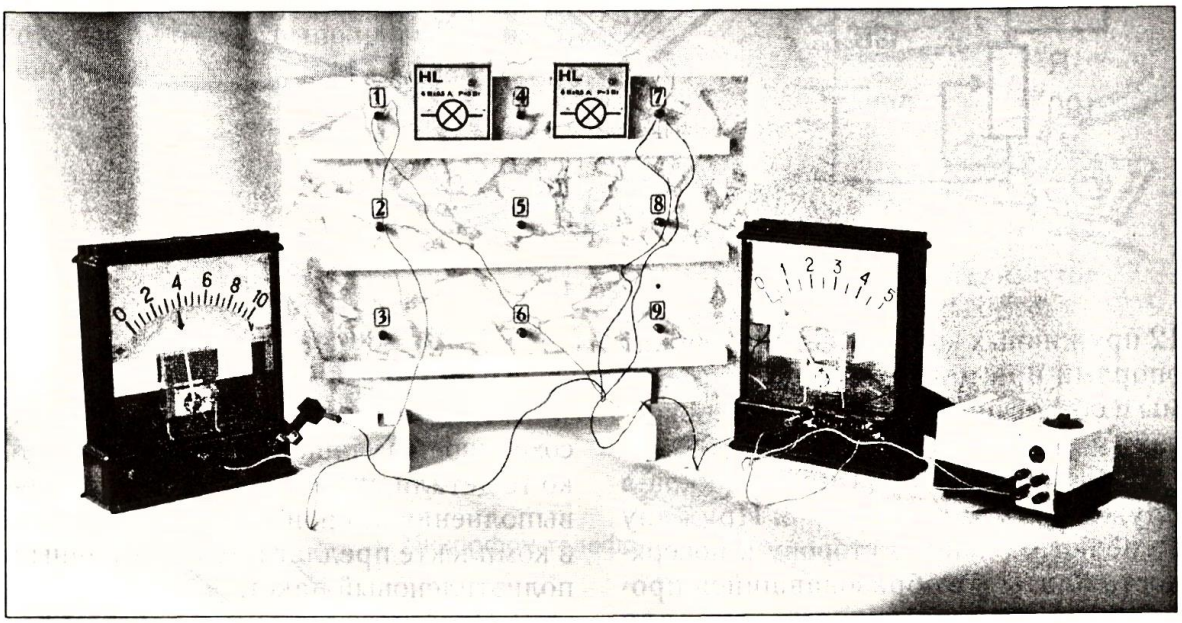


Рис. 6.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ

Цель: наблюдать явление электризации различных тел; изучать закономерности взаимодействия заряженных тел.

Литература: _____

Оборудование: металлическая фольга тонкая (5х6 см); нить шелковая (капроновая); расческа (линейка пластмассовая); стеклянная палочка (трубка); кусок шелковой ткани; полоска полиэтиленовой пленки (3х30 см) — 2 шт.; полоска бумаги (3х30 см) — 2 шт.; лист бумаги; штатив с лапкой.

Краткая теория

Тела при соприкосновении и последующем разделении их приобретают свойство взаимодействовать (притягиваться или отталкиваться) между собой и с другими телами. Это явление называется электризацией. Для увеличения площади соприкасающихся тел при электризации их обычно трут друг о друга.

Несмотря на бесчисленное множество примеров электризации тел, в природе известно существование лишь двух видов электрических зарядов: положительного заряда, обозначаемого знаком «+», и отрицательного — «—».

Оказалось, что эбонитовый (или янтарный) стержень, потертый о мех (шерсть), приобретает отрицательный заряд, а стеклянный стержень, потертый о шелк, приобретает положительный заряд.

В домашних условиях можно получить:

— отрицательный заряд на пластмассовой расческе при расчесывании волос;

— положительный заряд на стеклянной посуде (стакане, банке и т.п.), быстрыми движениями натирая ее большим куском бумаги или шелковой тканью.

Примечание. Электризуемые тела должны быть сухими!

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какими способами можно электризовать тела?
2. Как взаимодействуют друг с другом одноименно и разноименно заряженные тела?
3. Как можно получить положительные и отрицательные заряды?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Изготовьте гильзу из металлической фольги и наблюдайте ее взаимодействие с электризованными телами.

1. Из металлической фольги, используемой для обертки шоколадных конфет, намотав на конец ручки, карандаша или фломастера и скрутив один конец, изготовьте цилиндрическую гильзу (рис. 1). Размеры примерные.

2. Подвесьте гильзу к лапке штатива (рис. 2) на нити (лучше шелковой или капроновой) длиной 30–35 см. В дальнейшем гильза будет служить для определения заряженности тел и знака заряда.

3. Подносите к гильзе наэлектризованные тела и наблюдайте их взаимодействие до соприкосновения и после. Опишите увиденное.

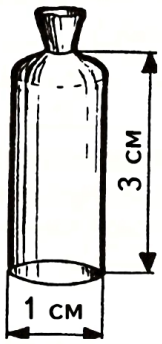


Рис. 1

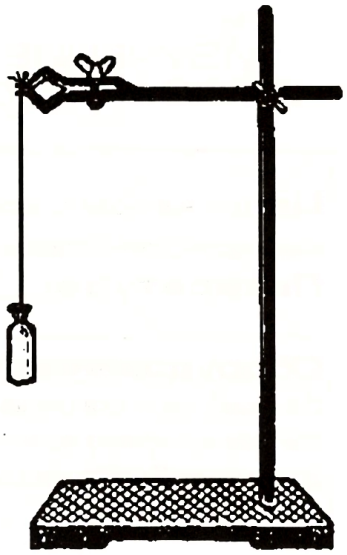


Рис. 2

Задание 2

Изучите электризацию различных тел и исследуйте их взаимодействие.

1. Зарядите гильзу электризованным телом, знак заряда которого известен. Например, расческой, заряженной отрицательно при расчесывании волос. В дальнейшем подзаряжайте гильзу перед каждым опытом.

2. Определите знаки зарядов наэлектризованных тел по их взаимодействию с заряженной гильзой и заполните табл. 1.

3. Электризуйте другие тела, не перечисленные в табл. 1, и определите знак их заряда.

4. Исследуйте и опишите, как сила взаимодействия заряженных тел зависит от степени их электризации и расстояния между ними. Технологию проведения эксперимента продумайте сами.

Таблица 1

Электризованное тело	Знак заряда
Пластмассовая трубка, натертая бумагой	
Стеклянная трубка, натертая шелковой тканью	
Полиэтиленовая пленка, разглаженная рукой	
Полоска бумаги, разглаженная рукой	

Задание 3

Изучите электризацию соприкасаемых (натираемых) тел.

1. Электризуйте гильзу зарядом известного знака.

2. Положите на столе полоску полиэтиленовой пленки на бумажную полоску таких же размеров и разгладьте рукой. Разведите полоски друг от друга и, поднося по очереди к заряженной гильзе, определите знак заряда. Как взаимодействуют полоски между собой? Почему?

3. Зарядите стеклянное тело, натирая шелком. Определите знаки зарядов стекла и шелка.

4. По проделанным опытам сделайте вывод о том, зарядами какого знака электризуются соприкасаемые (натираемые) тела.

5. Положите на столе полиэтиленовые полоски друг на друга и проведите по ним несколько раз ладонью. Теперь разведите их, поднимая за концы. По их взаимодействию при медленном приближении друг к другу определите, одноименно или разноименно они зарядились.

6. Зарядите, натирая ладонью, каждую полиэтиленовую полоску по отдельности. Как взаимодействуют они теперь? Почему?

7. Повторите опыты пунктов 5 и 6 с полосками бумаги.

8. Объясните, почему в опытах пунктов 5–7 электризуемые тела заряжались по-разному.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ НА ДОМ

1. Распушите немного ваты (или шерсти) и положите на электризованную расческу (или пластмассовую линейку). Сдуйте пушинку вверх и под ней поместите наэлектризованную расческу. Добейтесь парения пушинки в воздухе (рис. 3) и объясните наблюдаемое явление.

2. Поднесите заряженную расческу к тонкой струе воды из крана (чайника, самовара) (рис. 4) и объясните наблюдаемое явление.

3. Надутый воздушный шар продолговатой формы электризуйте, натирая о шерстяную кофту или сухие волосы, и приложите его к потолку (рис. 5) или к оконному стеклу. Объясните наблюдаемое явление.

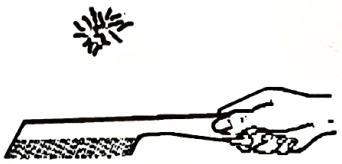


Рис. 3



Рис. 4

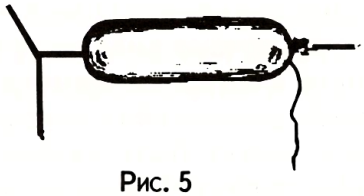


Рис. 5

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№2

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель: научиться пользоваться амперметром для измерения силы тока в цепи.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; амперметр лабораторный; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 2 шт.; лабораторный выключатель (можно обойтись без него); источник питания напряжением 4–6 В; соединительные провода – 5 шт.

Краткая теория

Электрический ток представляет собой упорядоченное движение заряженных частиц; в металле ими являются электроны. Силу тока определяет заряд, проходящий через поперечное сечение проводника в единицу времени. Ее обозначают буквой I; единица измерения силы тока – ампер (А).

Силу тока в цепи измеряют **амперметром.** Его условное обозначение на электрических схемах и внешний вид показаны на рис. 1, *а*. Для измерения малых токов служат миллиамперметр и микроамперметр (рис. 1, *б* и *в*).

Первый из них измеряет ток в миллиамперах (1 мА = 0,001 А), второй – в микроамперах (1 мкА = 0,000 001 А).

Включают амперметр (миллиамперметр и микроамперметр тоже) в цепь последовательно с нагрузкой. Нагрузкой может быть любой потребитель электрической энергии: электрическая лампа, электрозвонок, другие электрические приборы. При этом соблюдают правило: клемму амперметра, около которой стоит знак «+», соединяют с выводом «+» источника тока, а клемму амперметра «–» – с выводом «–» (рис. 2). Через амперметр проходит тот же ток, что и по нагрузке.

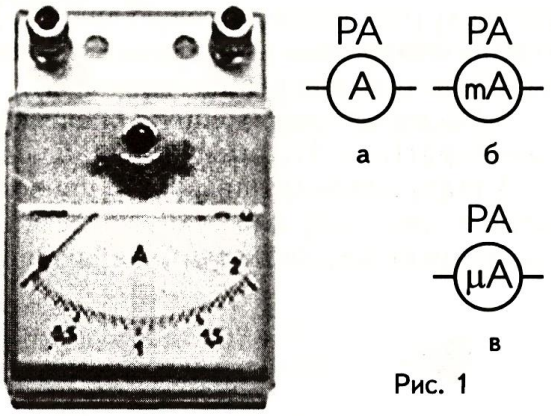


Рис. 1

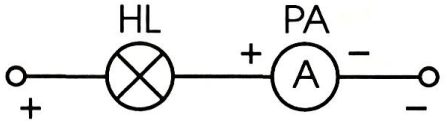
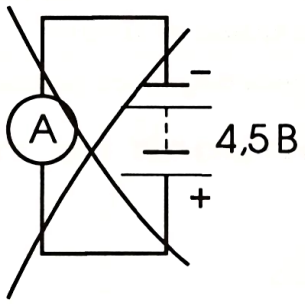


Рис. 2

Помните: амперметр нельзя подключать напрямую к источнику тока, так как при этом через него идет непомерно большой ток, который выводит его из строя (рис. 3)!



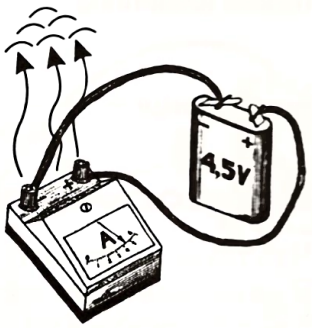


Рис. 3

Условные знаки, нанесенные на амперметре (на других измерительных приборах тоже), содержат важные сведения о нем. Они обозначают:

 – магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой; принцип работы прибора основан на взаимодействии рамки, по которой течет ток, с постоянным магнитом;

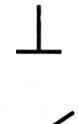
 – электромагнитный прибор с механической противодействующей силой;

— – прибор предназначен для измерения постоянного тока, т.е. тока, текущего по цепи только в одном направлении; например, ток от элемента, батареи, аккумулятора, у которых один электрод всегда заряжен знаком «+», а другой «–».

~ – прибор для измерения переменного тока, беспрерывно меняющего направление своего движения в цепи; например, сетевой ток, применяемый в быту, 50 раз *в секунду течет в одну сторону*, столько же раз в другую;

 – прибор для измерения постоянного и переменного токов;

 – рабочее положение прибора горизонтальное; при других положениях он будет показывать неправильно;

 – рабочее положение прибора вертикальное;



– рабочее положение прибора под углом 30^0;



– между корпусом и магнитоэлектрической системой прибора напряжение не должно превышать значения в киловольтах (1 кВ = 1000 В), указанного в звездочке; у данного прибора 2000 В.

4 – число, показывающее погрешность измеряемой величины в процентах; у данного прибора 4%.

Предел измерения прибора – это наибольшее значение измеряемой им физической величины.

Цена деления прибора – это значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Она измеряется так:

$$\textit{Цена деления} = \frac{\textit{Единица измеряемой величины}}{\textit{Число делений, соответствующее величине}}$$

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое электрический ток?
2. В каких единицах измеряют силу тока?
3. Какими приборами измеряют силу тока?
4. Как на схемах обозначают приборы для измерения тока?
5. Что такое цена деления шкалы прибора? Как ее определяют?
6. Что называется пределом измерения амперметра и как его находят?
7. Как включают амперметр в электрическую цепь? Почему так?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Познакомьтесь с лабораторным амперметром. Заполните табл. 1.

Таблица 1

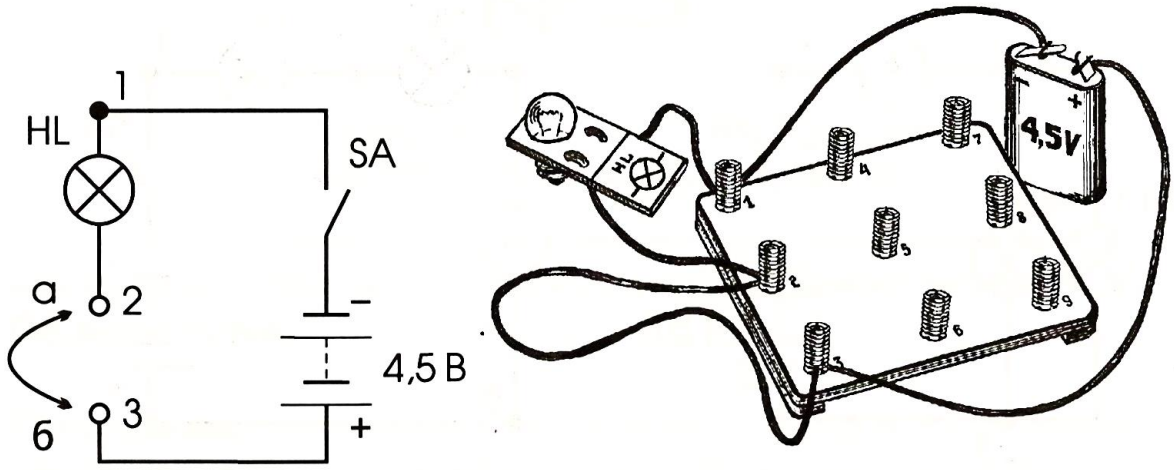
Предел измерения	
Цена деления	
Тип прибора	
Рабочее положение	
Характер измеряемого тока	
Класс точности	
Корпус испытан напряжением	

Задание 2

Измерьте силу тока в цепи амперметром. Заполните табл. 2.

Примечание. В этой и последующих работах в качестве выключателя цепи можно использовать лабораторные однополюсные выключатели.

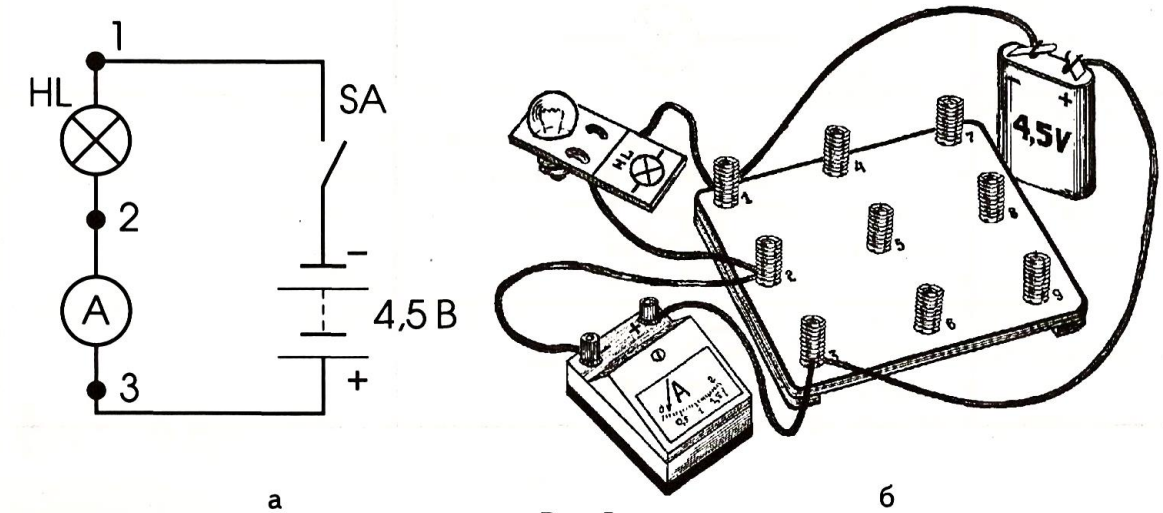
1. Соберите на макетной плате электрическую цепь по рис. 4, *а* и *б* и, включая и выключая провод **аб**, убедитесь, что ток идет только по замкнутой цепи.



а б

Рис. 4.

2. Вместо провода **аб** последовательно соедините амперметр (рис. 5, *а* и *б*) и измерьте силу тока в цепи.



а б

Рис. 5.

3. Измерьте силу тока, текущего по двум параллельно (рядом) соединенным лампам (рис. 6) и по двум последовательно (друг за другом) соединенным лампам (рис. 7).

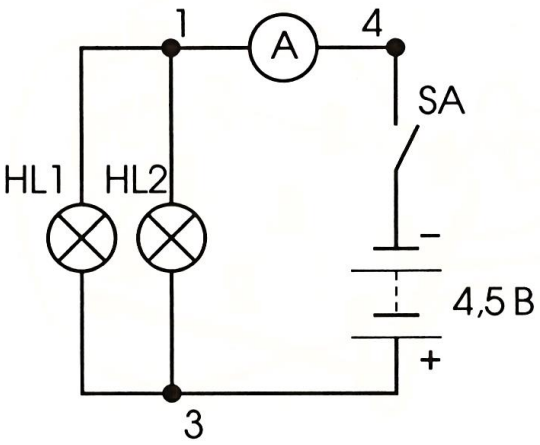


Рис. 6

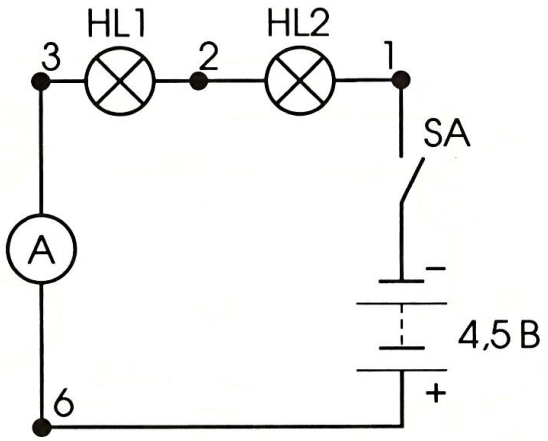
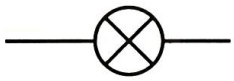
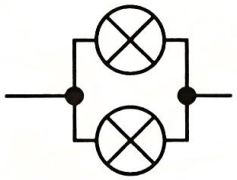
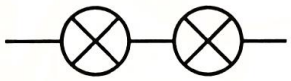


Рис. 7

Таблица 2

№ опыта	Участок цепи	Сила тока I, A
1		
2		
3		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№3

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цели: научиться пользоваться вольтметром; научиться измерять напряжение.

Литература: _____

_____

Оборудование: макетная плата; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 2 шт.; вольтметр лабораторный; источник питания напряжением 4–6 В; соединительные провода – 5 шт.

Краткая теория

Для того чтобы в цепи протекал электрический ток, в ней нужно создать электрическое поле, которое будет совершать работу по упорядоченному перемещению заряженных частиц. Работу, которую нужно совершить для перемещения заряда в 1Кл на данном участке цепи, называют **напряжением** или **падением напряжения** на данном участке. Напряжение обозначают буквой U, измеряют в вольтах (В).

Для измерения напряжения применяют **вольтметр**; его условное обозначение и внешний вид даны на рис. 1, *а*. Для измерения больших (высоких) напряжений применяют киловольтметр, а для малых (низких) – милливольтметр. Условно-графические обозначения этих приборов показаны на рис. 1, *б* и *в*.

Первый измеряет напряжение в киловольтах (1 кВ = 1000 В), второй – в милливольтах (1 мВ = 0,001 В).

Вольтметр имеет тот же принцип действия и конструкцию, что и амперметр, но отличается способом включения в цепь: его подключают тоже с учетом знаков, указанных возле зажимов, но параллельно к тому участку цепи, на котором надо измерить напряжение (рис. 2).

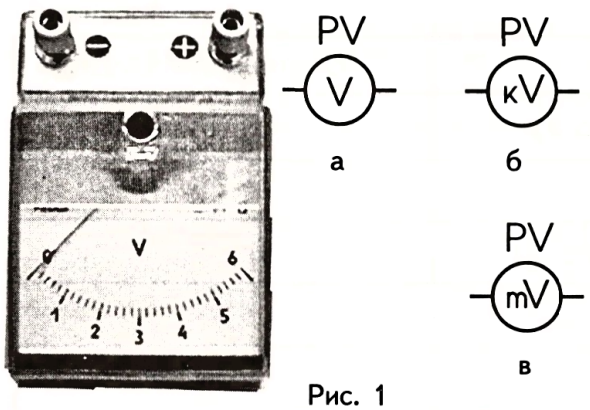


Рис. 1

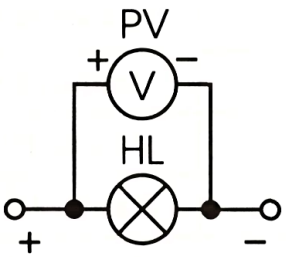


Рис. 2

Прежде чем пользоваться вольтметром, изучают условные обозначения на его шкале; определяют предел измерения и цену деления шкалы (все это делают так, как описано для амперметра в лабораторной работе № 2).

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что характеризует напряжение?
2. В каких единицах оно измеряется?
3. Какое соотношение между единицами измерения 1 В, 1 кВ, 1 мВ?
4. Как на схемах изображают приборы, предназначенные для измерения напряжения?
5. Как включают в электрическую цепь вольтметр?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Ознакомьтесь с лабораторным вольтметром. Заполните табл. 1.

Таблица 1

Предел измерения	
Цена деления	
Тип прибора	
Рабочее положение	
Характер измеряемого напряжения	
Класс точности	
Корпус испытан напряжением	

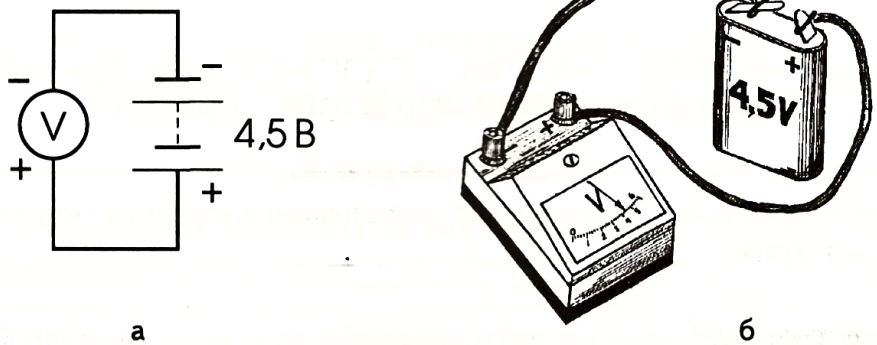
Задание 2

Измерьте напряжение на разных участках цепи вольтметром. Заполните табл. 2.

Таблица 2

№ опыта	Участок цепи	Напряжение U, В
1	Источник питания (рис. 3)	
2	Лампа (рис. 4)	
3	Лампы HL1 и HL2 (рис. 5)	
4	Лампа HL1 (рис. 5)	
5	Лампа HL2 (рис. 5)	

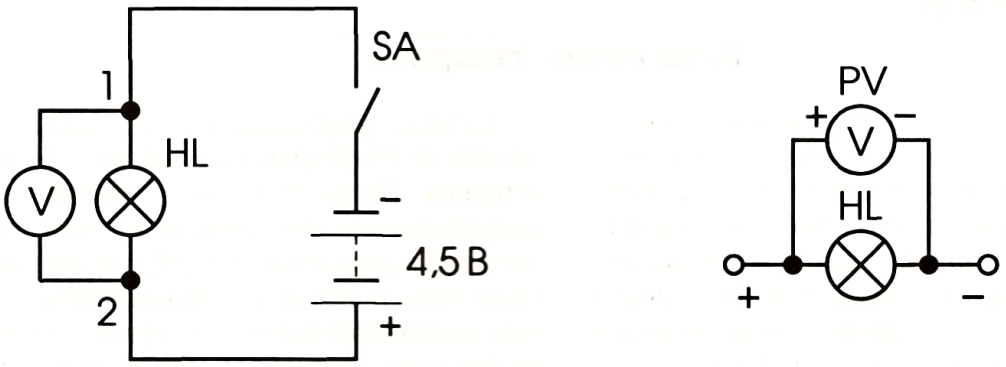
1. Подключите вольтметр непосредственно к клеммам источника питания, как показано на рис. 3, *а* и *б*. Предварительно убедитесь, что напряжение, на которое рассчитан вольтметр, не больше напряжения, даваемого источником питания.



а б

Рис. 3.

2. Соберите цепь по рис. 4 и измерьте напряжение на лампе.



а б

Рис. 4.

Задание 3

1. Соберите электрическую схему из двух последовательно соединенных ламп (рис. 5). Измерьте напряжение на каждой лампе и общее напряжение на них. Результаты измерений занесите в табл. 2.

2. Сравните общее напряжение с суммой напряжений на лампах. Сделайте вывод.

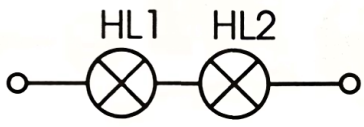


Рис. 5

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№4

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Цель: исследовать, как электрическое сопротивление влияет на силу тока в цепи.

Литература: _____

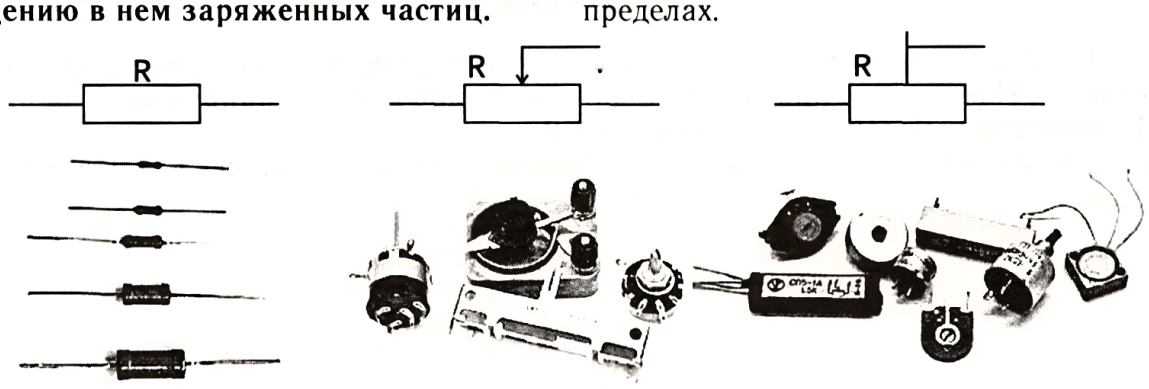
_____

Оборудование: макетная плата; амперметр; вольтметр; лампа МН 6,3 В×0,3 А; резисторы постоянные сопротивлениями 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 51 Ом; переменный резистор сопротивлением 100—1000 Ом; источник питания 4—6 В; соединительные провода — 4 шт.

Краткая теория

Каждый проводник в той или иной степени обладает электрическим сопротивлением, которое является физической величиной и обозначается буквой R. Причиной сопротивления металлических проводников является замедление упорядоченного движения электронов вследствие их взаимодействия с ионами кристаллической решетки вещества, из которого сделан проводник. Можно сказать, что **сопротивление — это мера противодействия проводника перемещению в нем заряженных частиц.**

Существуют специальные радиотехнические приборы, называемые **резисторами**. Их назначение — оказывать сопротивление электрическому току. Резисторы применяют для регулирования силы тока и напряжения в электрических цепях. Резисторы бывают постоянные (рис. 1, *а*), обладающие неизменным сопротивлением, и переменные — регулировочные (рис. 1, *б*) и подстроечные (рис. 1, *в*), сопротивления которых можно изменять в определенных пределах.



а б в

Рис. 1.

Вопросы для самоконтроля по теории

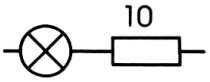
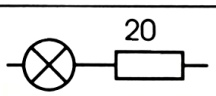
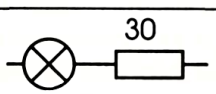
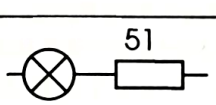
1. Что такое электрическое сопротивление?
2. В каких единицах измеряется сопротивление?
3. Что такое резистор?
4. Какие бывают резисторы?
5. Какую роль играют резисторы в электрических цепях?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Исследуйте влияние резистора на силу тока в цепи. Заполните табл. 1.

Таблица 1

Участок цепи	Сила тока I, А	Накал нити лампы
		
		
		
		
		

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2. Измерьте силу тока и запомните уровень яркости лампы.

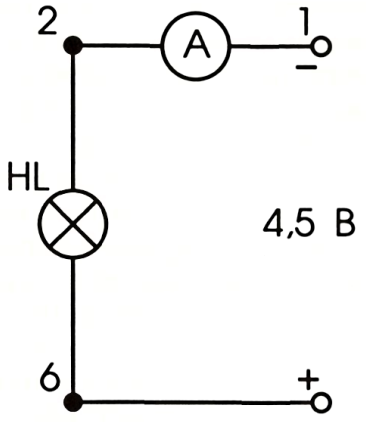


Рис. 2

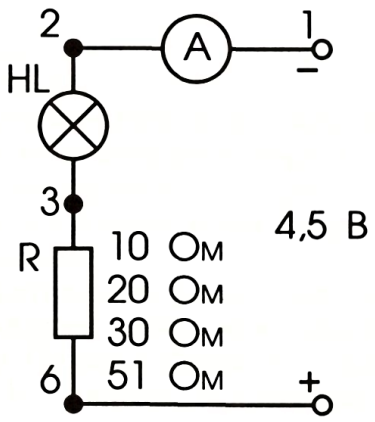


Рис. 3

2. Соберите цепь по рис. 3, где вместо участка R поочередно включите постоянные резисторы сопротивлениями 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 51 Ом. В каждом случае измерьте силу тока и следите за яркостью лампы.

3. Изучая табл. 1, сделайте вывод о том, как сопротивление участка влияет на силу тока в цепи.

Задание 2

Изучите роль резистора с переменным сопротивлением (переменного резистора) в электрической цепи.

1. Соберите цепь по рис. 4.

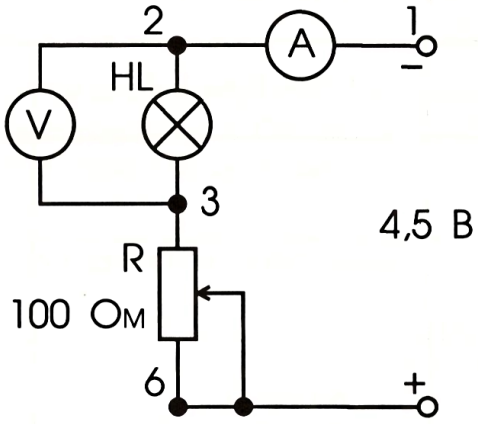


Рис. 4

2. Вращая плавно ручку переменного резистора из одного крайнего положения до другого, следите за показаниями приборов и яркостью лампы.

3. Объясните, как и почему переменный резистор влияет на силу тока в цепи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ЗНАКОМСТВО С РЕЗИСТОРАМИ

Цели: узнать о назначении резисторов; изучить условные графические обозначения и маркировку резисторов; научиться измерять сопротивления резисторов, пользуясь омметром (мультиметром).

Литература: _____

Оборудование: набор из 10—15 постоянных резисторов, сопротивления которых выражены в омах (Ом), килоомах (кОм), мегаомах (МОм); переменный резистор сопротивлением в пределах 100—1000 Ом; разобранный переменный резистор (со снятым корпусом); омметр (мультиметр).

Краткая теория

Резисторы — это специальные радиотехнические приборы, предназначенные для оказывания сопротивления электрическому току. Резисторы применяют для регулирования силы тока и напряжения в электрических цепях. В радиоэлектронных приборах они составляют большую часть всех деталей.

Резисторы бывают постоянными, обладающими неизменным сопротивлением, и переменными, сопротивление которых в процессе работы можно изменять. Их условные обозначения и внешние виды показаны в описании лабораторной работы № 4.

Сопротивления резисторов измеряют в омах — Ом, килоомах — кОм, мегаомах — МОм. Между ними существуют следующие соотношения:

1 МОм = 1000 кОм = 1 000 000 Ом;
1 кОм = 1000 Ом.

На принципиальных схемах рядом с условным обозначением резистора проставляют значение его сопротивления. Сопротивление менее килоома записывают как число без единиц измерения (рис. 1, *а*); сопротивления от одного килоома и выше, но менее одного мегаома, выражают в килоомах и рядом с цифрой ставят букву «к» (рис. 1, *б*); сопротивления от одного мегаома и выше записывают как число, добавляя рядом букву «М» (рис. 1, *в*).

Буквенно-цифровую маркировку наносят на корпус резистора. Она содержит информацию о сопротивлении резистора и о возможном его отклонении — допуске.

Сопротивления резисторов обозначают цифрами с указанием единицы измерения. Принято обозначать буквами: R — ом, К — килоом, М — мегаом. Если значение сопротивления выражается

целым числом, то обозначение единицы измерения ставят после числа. Например: 15R – 15 Ом, 47K – 47 кОм = 47 000 Ом, 10M – 10 МОм = 10 000 кОм = 10 000 000 Ом.

Если сопротивление выражается десятичной дробью, меньшей единицы, то вместо нуля целых и запятой впереди цифры располагают обозначение единицы измерения. Например: R12 – 0,12 Ом; K27 – 0,27 кОм = 270 Ом; M82 – 0,82 МОм = 820 кОм = 820 000 Ом.

Если сопротивление выражается целым числом с десятичной дробью, то после целого числа вместо запятой ставят обозначение единицы измерения. Например: 5R1 – 5,1 Ом; 3K3 – 3,3 кОм = 3300 Ом; 1M5 – 1,5 МОм = 1500 кОм = 1 500 000 Ом.

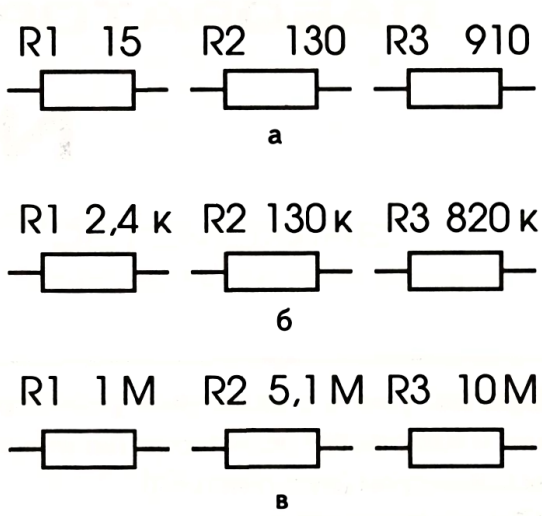


Рис. 1

Допустимые отклонения сопротивления указаны в табл. 1.

Таблица 1

Буквы	B	C	D	F	G	J	K	M	N
Допуск, %	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	30

Примечание. Надо отметить, что в мире единая структура условных буквенно-цифровых и цветовых маркировок резисторов отсутствует, она произвольно устанавливается фирмами-изготовителями.

Цветовая маркировка резисторов представляет собой набор разноцветных круговых полос (знаков), нанесенных на поверхность резистора. Маркировочные знаки, как правило, сдвинуты к одному из торцов резистора. Первым считают знак, нанесенный рядом с торцом. Если длина резистора не позволяет сдвинуть маркировку к одному из торцов, последний знак (иногда первый) рисуют в 1,5–2 раза крупнее остальных, что на практике выдерживается не всегда.

Для расшифровки маркировки служит *табл. 2, в которой указано, каким* именно цифрам соответствует каждый цветовой знак.

Число знаков может быть 5, 4 или 3.

Если знаков 5, то они читаются так (рис. 2, *а*):

первый знак – первая цифра номинального значения сопротивления;

второй знак – вторая цифра номинального значения сопротивления;

третий знак – третья цифра этой величины;

четвертый знак – множитель, на который нужно умножить полученное трехзначное число;

пятый знак – допустимое отклонение.

Если знаков 4, то они означают *(рис. 2, б)*:

первый знак – первую цифру значения сопротивления;

второй знак – вторую цифру;
третий знак – множитель;
четвертый знак – допустимое отклонение сопротивления.

Примечание. **Цифра столбца №4 табл. 2 (третья цифра) не используется.**

Три знака наносят на резисторы с допусками 20% и более, которые не маркируются. Знаки обозначают (рис. 2, *в*):

первый знак – первую цифру значения сопротивления; второй знак – вторую цифру; третий знак – множитель.

Примечание. Не используются 4-й столбец (третья цифра) и 6-й столбец (допуск).

Резисторы, как и любые потребители электрической энергии, тоже рассчитаны на определенную мощность, которую надо учитывать при использовании их в конкретных конструкциях.

Мощность резисторов обычно узнают по их размерам (чем больше размер резистора, тем больше его мощность) или по надписи на корпусах.

На условных обозначениях мощности обозначаются черточками, нарисованными на символах резисторов

Таблица 2

Цвет знака	Значение цвета знака				
	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %
	1-я цифра	2-я цифра	3-я цифра	Множитель	
1	2	3	4	5	6
Серебристый	–	–	–	10^{-2}	±10
Золотистый	–	–	–	10^{-1}	±5
Черный	–	0	–	1	–
Коричневый	1	1	1	10	±1
Красный	2	2	2	10^{2}	±2
Оранжевый	3	3	3	10^{3}	–
Желтый	4	4	4	10^{4}	–
Зеленый	5	5	5	10^{5}	±0,5
Голубой	6	6	6	10^{6}	±0,2
Фиолетовый	7	7	7	10^{7}	±0,1
Серый	8	8	8	10^{8}	±0,05
Белый	9	9	9	10^{9}	–

(рис. 3): две наклонные черты означают мощность 0,125 Вт, одна наклонная – мощность 0,25 Вт, одна черта вдоль продольной оси – 0,5 Вт, одна поперечная черта – 1 Вт, две поперечные черты – 2 Вт.

Кроме резисторов, имеющих неизменное сопротивление, в радиоаппаратуре широко используются ***переменные резисторы*** (лабораторная работа № 4, рис. 1). Ими регулируется громкость и тембр в звуковоспроизводящих устройствах, контрастность и яркость в

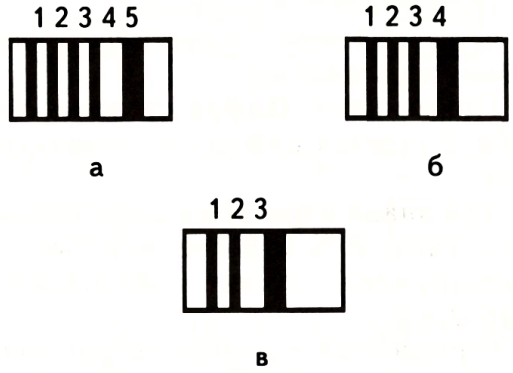


Рис. 2

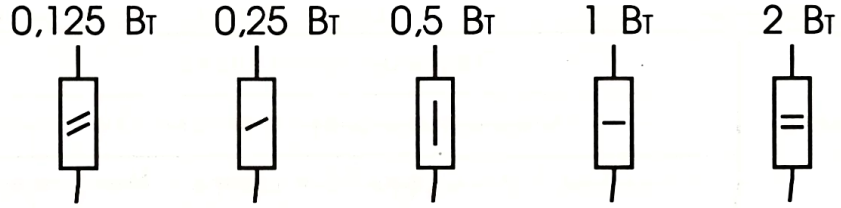


Рис. 3

телевизорах и т. д. Переменные резисторы имеют три вывода, один из которых связан с подвижным контактом, скользящим по поверхности проводящего слоя. Сопротивление между любым крайним выводом переменного резистора и подвижным контактом зависит от положения движка.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое резистор?
2. Какую роль играют резисторы в электрических цепях?
3. Приведите условные графические обозначения постоянных и переменных резисторов.
4. Чем отличаются по назначению постоянные и переменные резисторы?
5. Опишите систему буквенно-цифровой маркировки сопротивления резисторов.
6. Опишите систему цветовой маркировки резисторов.
7. Как узнают о мощности резистора?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

1. По таблице 3 познакомьтесь с примерами расшифровки буквенно-цифровых маркировок.

Таблица 3

Маркировка	Означает	Маркировка	Означает
R24F	0,24 Ом±1%	9M1N	9,1 МОм±30%
K33K	0,33 кОм±10%	24RJ	24 Ом±5%
M91G	0,91 МОм±2%	33KK	33 кОм±10%
2R4C	2,4 Ом±0,2%	91MM	91 МОм±20%
3K3B	3,3 кОм±0,1%	2R0D	2,0 Ом±0,5%

2. Расшифруйте надписи, нанесенные на резисторах (рис. 4).

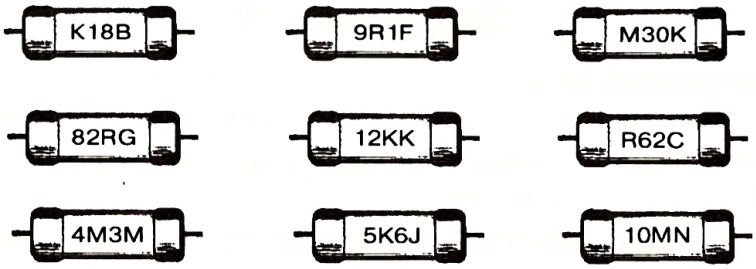


Рис. 4

3. Зашифруйте сопротивления резисторов и их допуск, используя буквенно-цифровую маркировку.

8,2 Ом±0,1%	0,82 Ом±0,2%	0,82 МОм±30%
82 МОм±20%	82 Ом±0,5%	820 кОм±5%
0,82 кОм±10%	820 Ом±1%	8,2 кОм±2%

Задание 2

1. Познакомьтесь с примером расшифровки цветовых кодов (рис. 5).

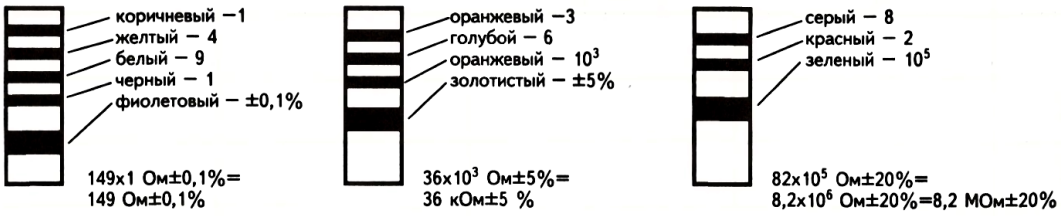


Рис. 5

2. Расшифруйте маркировочные знаки резисторов.

5 знаков:

1. Коричневый	1. Оранжевый	1. Голубой
2. Белый	2. Оранжевый	2. Желтый
3. Серый	3. Зеленый	3. Красный
4. Золотистый	4. Черный	4. Серебристый
5. Фиолетовый	5. Голубой	5. Серый

4 знака:

1. Серый	1. Белый	1. Красный
2. Красный	2. Коричневый	2. Желтый
3. Оранжевый	3. Фиолетовый	3. Красный
4. Золотистый	4. Серебристый	4. Красный

3 знака:

1. Коричневый	1. Зеленый	1. Оранжевый
2. Черный	2. Голубой	2. Белый
3. Желтый	3. Голубой	3. Фиолетовый

3. Зашифруйте номиналы резисторов, приведенных в табл. 3, цветовым кодом.

Задание 3

Изучите постоянные резисторы. Заполните табл. 4.

1. Ознакомьтесь с внешним видом данных Вам постоянных резисторов.

2. Определите по маркировкам на корпусах четырех резисторов их сопротивления и допустимые отклонения.

3. Определите сопротивления этих же резисторов с помощью омметра.

4. Вычислите разность ΔR между маркировочным значением $R_м$ и измеренным $R_и$. Объясните несоответствие значений сопротивлений $R_м$ и $R_и$ одного и того же резистора.

Задание 4

Изучите переменный резистор.

1. Возьмите переменный резистор со снятым корпусом и ознакомьтесь с его внутренним устройством; найдите основные узлы прибора.

Таблица 4

№ опыта	Сопротивление по маркировке $R_м$, Ом	Допуск по маркировке $\pm \Delta R_м$, %	Сопротивление по омметру $R_и$, Ом	$\Delta R = R_м - R_и$, Ом
1				
2				
3				
4				

2. Подключите омметр к переменному резистору так, как показано на рис. 6, *а*.

3. Вращая ручку резистора, следите за показанием омметра. Сделайте вывод.

4. Определите, в каких пределах изменяется сопротивление резистора при вращении ручки от одного крайнего положения до другого.

5. Видоизмените цепь, присоединив щупы омметра к крайним выводам резистора, как указано на рис. 6, *б*. Повторите действия, описанные в пункте 3.



а б

Рис. 6

Что Вы наблюдаете? Почему?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№6

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УЧАСТКА ЦЕПИ ПРИ ПОМОЩИ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Цель: научиться измерять сопротивление участка при помощи амперметра и вольтметра.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; резисторы сопротивлениями 10 Ом и 20 Ом; амперметр; вольтметр; источник питания на 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Между силой тока I, напряжением U и электрическим сопротивлением R существует такая связь: $I=\frac{U}{R}$,

где I – сила тока, А;
U – напряжение, В;
R – сопротивление, Ом.

Эта связь установлена Георгом Омом и называется законом Ома для участка цепи:

Сила тока I прямо пропорциональна напряжению U и обратно пропорциональна сопротивлению участка R.

Условно можно сказать, что напряжение помогает току, а сопротивление мешает.

Из закона Ома выводится формула для вычисления сопротивления:

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

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое сила тока?
2. Что такое напряжение?
3. Что такое сопротивление?
4. Как связаны между собой на участке цепи сила тока, напряжение и сопротивление?
5. Как включается в электрическую цепь амперметр и вольтметр?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание

По показаниям измерительных приборов вычислите сопротивления лампы и двух резисторов. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1

Таблица 1

№ опыта	Сила тока I, A	Напряжение U, B	Сопротивление R, Ом
1			
2			
3			

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1 и вычислите сопротивление лампы.

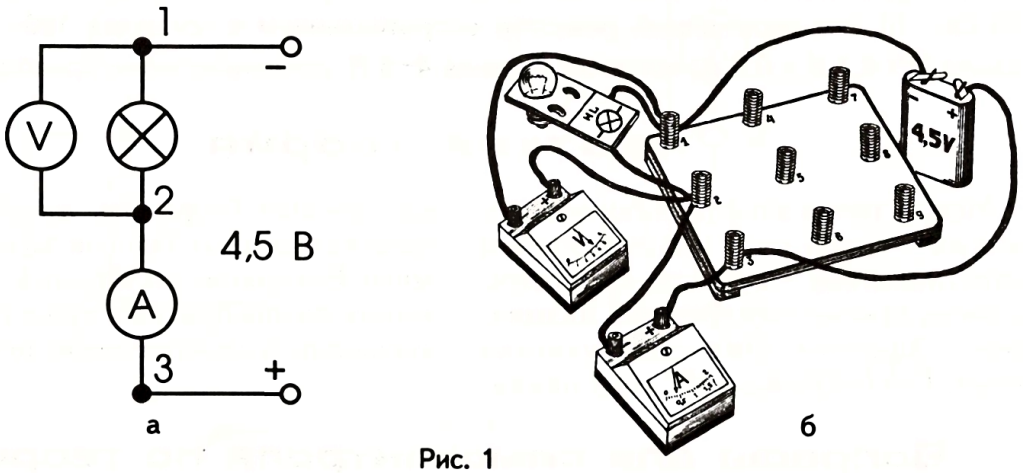


Рис. 1

2. Вместо лампы поочередно включайте в цепь резисторы сопротивлениями 10 Ом и 20 Ом и убедитесь, что по показаниям амперметра и вольтметра их сопротивления получаются примерно такими же.

Примечание. Помните, что в результаты опытов вносят погрешности измерительные приборы и резисторы (напоминаем о допуске, см. лабораторная работа №2).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№ 7

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

Цель: установить зависимость между силой тока, напряжением и сопротивлением участка цепи.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; вольтметр; амперметр; резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом; переменный резистор сопротивлением в пределах 100—1000 Ом; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; источник питания 4—6 В; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Между тремя электрическими величинами — силой тока, напряжением и сопротивлением — существует простое, но очень важное соотношение, называемое «Законом Ома для участка цепи». Его открыл в 1827 году немецкий ученый Георг Ом. Закон Ома — один из основных законов электродинамики. Его знание необходимо для понимания разнообразных процессов, протекающих в электрических цепях.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Дайте краткую характеристику физическим величинам: силе тока, напряжению, сопротивлению.
2. Вспомните:
а) как измерить силу тока в участке цепи;
б) как измерить напряжение на участке цепи;
в) как включают в цепь амперметр и вольтметр.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Установите связь между силой тока, напряжением и сопротивлением на участке цепи. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Сопротивление R, Ом	Напряжение U, В	Сила тока I, А	U/R В/Ом, А
1				
2				
3				

1. Соберите цепь по рис. 1, *а* и *б*, используя резистор R1 сопротивлением 10 Ом.

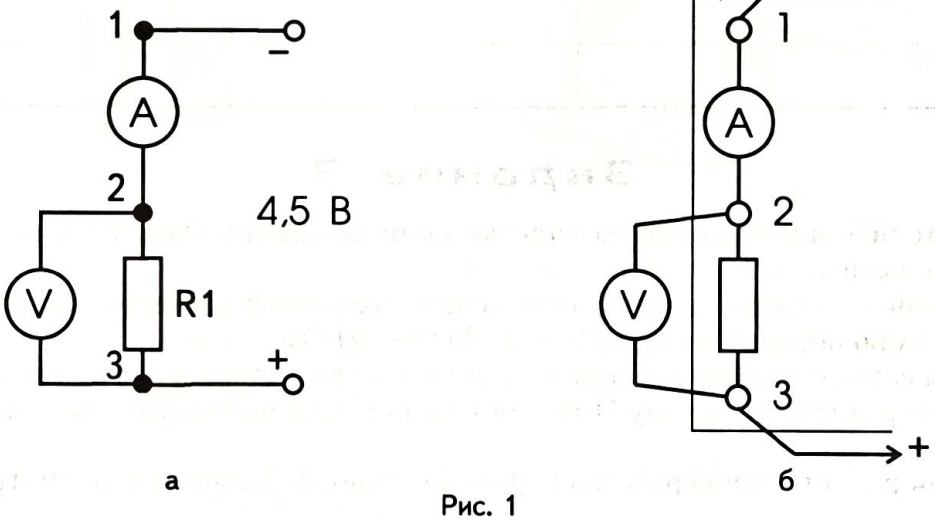


Рис. 1

2. Включите цепь и снимите показания измерительных приборов.

3. Вместо резистора R1 поочередно включите резисторы R2 = 20 Ом и R3 = 30 Ом. Каждый раз снимите показания приборов.

4. Для каждого случая вычислите отношение напряжения к сопротивлению участка цепи $\frac{U}{R}$.

5. Для каждого опыта сравните вычисленное отношение и измеренную силу тока в цепи **I**. Сделайте вывод, запишите его словесно и математически.

6. Сравните Ваш вывод с законом, сформулированным Г. Омом для участка цепи.

Задание 2

Определите сопротивление участка цепи по закону Ома. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 2.

1. Соберите цепь по рис. 1. В качестве участка **R** возьмите поочередно резисторы сопротивлениями 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом (маркировку можно заклеить изолентой).

2. По показаниям приборов вычислите сопротивления этих резисторов.

Таблица 2

№ опыта	Сила тока I, A	Напряжение U, B	Сопротивление R, Ом
1			
2			
3			

Задание 3

Определите напряжение на участке цепи по закону Ома. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 3.

1. В схеме к заданию 1 (рис. 1) отключите вольтметр и вместо участка **R** поочередно включайте резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом.

2. Зная сопротивление участка по надписи на резисторе и силу тока по показанию амперметра, по закону Ома для участка цепи вычислите ожидаемое напряжение.

3. Ваши расчеты проверьте экспериментально, подключив вольтметр к участку **R**.

4. Сделайте вывод о том, как на основании закона Ома можно вычислить напряжение на участке цепи.

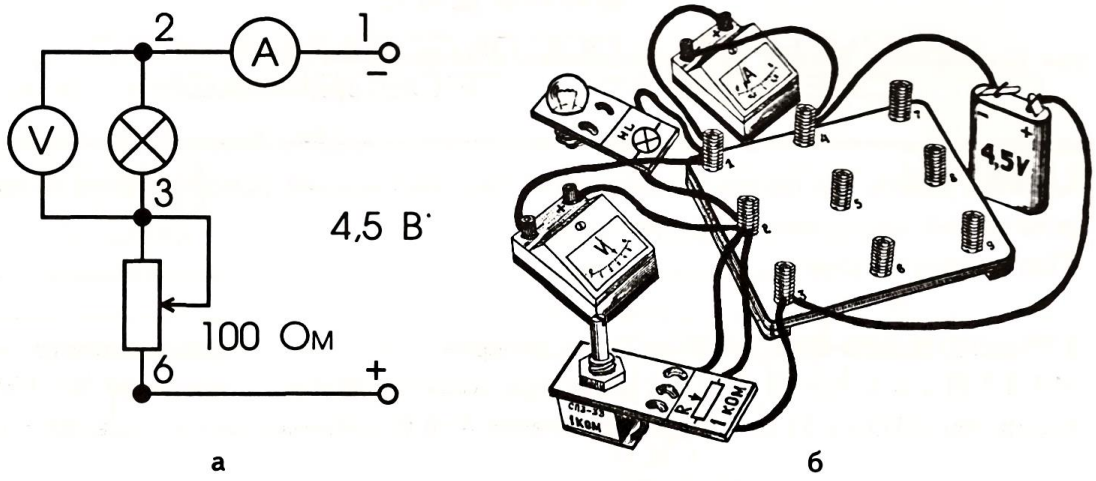
Таблица 3

№ опыта	R, Ом	I, A	U, B
1			
2			
3			

Задание 4

Определите сопротивление нити накала лампы. Результаты измерений и вычислений занесите в составленную Вами таблицу.

1. Соберите цепь по рис. 2.



а б

Рис. 2

2. Регулируя накал лампы переменным резистором, дважды измерьте силу тока в лампе и напряжение на ней: при еле заметном накале и при полном.

3. Пользуясь законом Ома для участка цепи, рассчитайте сопротивление нити накаливания лампы.

4. Вычислите сопротивление нити по указанным на цоколе лампы номинальным значениям напряжения и силы тока.

5. Объясните, почему в этих опытах нить накала имеет различное сопротивление.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№8

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель: узнать, как распределяется сила тока, напряжение, сопротивление на последовательно соединенных участках цепи.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; амперметр; вольтметр; миллиамперметр; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 2 шт.; два резистора сопротивлениями в пределах 30–100 Ом (например, 30 Ом и 51 Ом); источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Последовательным называют такое соединение, когда ток по очереди проходит через друг за другом соединенные участки цепи. Схема таких соединений двух участков дана на рис. 1.

Данное выше определение позволяет предположить, что:

– сила тока в любых частях такой цепи одна и та же, т. е. $I=I_1=I_2$;

– полное напряжение цепи равно сумме напряжений на отдельных участках цепи, т. е. $U=U_1+U_2$;

– общее сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных участков, т. е. $R=R1+R2$.

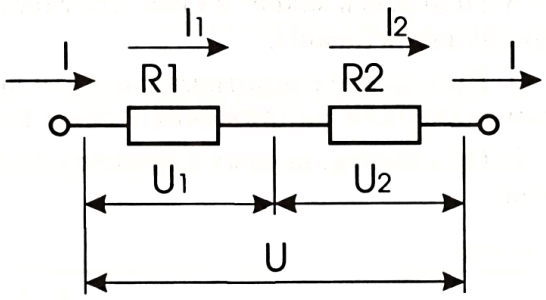


Рис. 1

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какое соединение проводников называют последовательным?
2. Какая из электрических величин: сила тока, напряжение, сопротивление – одинакова для всех проводников, соединенных последовательно?
3. При последовательном соединении потребителей какую связь можно ожидать между:

– полным напряжением на концах цепи и напряжением на отдельных ее участках?

– общим сопротивлением такой цепи и сопротивлением отдельных ее участков?

4. Как объяснить с точки зрения теории, почему $I=I_1=I_2$, $R=R1+R2$?
5. Как записывается закон Ома для участка цепи?
6. Как включают в электрическую цепь амперметр и вольтметр?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Проверьте сделанное выше предположение о силе тока в различных частях последовательной цепи.

1. Соберите цепь по рис. 2, *а* и *б*.
2. Измерьте силу тока I в цепи там, где стоит амперметр и в различных ее частях, отмеченных крестиками.
3. Результаты измерений запишите в первую строку таблицы 1.
4. Сравните полученные данные и сделайте вывод.

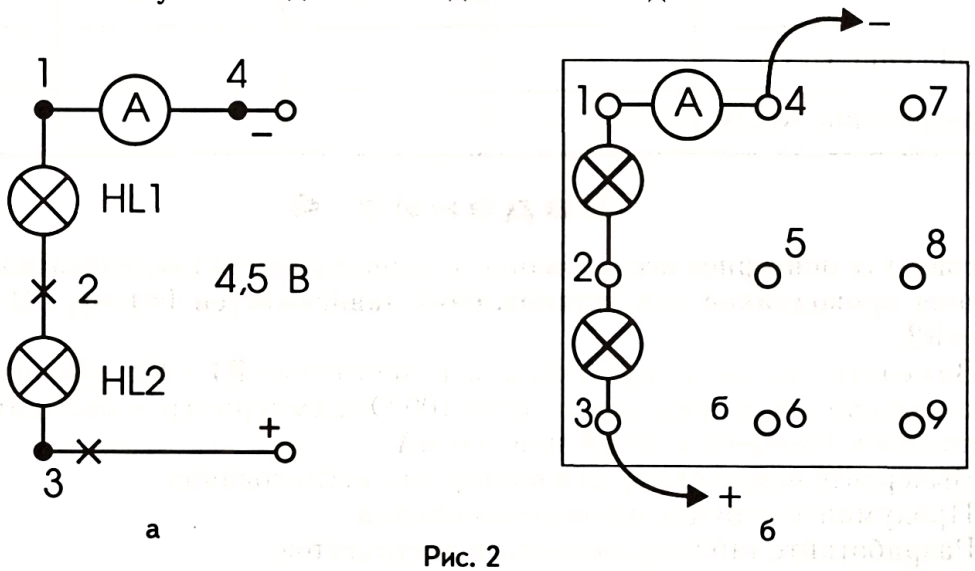


Рис. 2

Задание 2

Проверьте сделанное выше предположение о связи общего напряжения с напряжением на отдельных участках цепи.

1. Соберите цепь по рис. 3.
2. Измерьте напряжение U_1 на лампе HL1, U_2 на лампе HL2 и общее напряжение U на них.
3. Результаты измерений запишите во вторую строку табл. 1.
4. Сравните значения напряжений и сделайте вывод о том, из чего складывается общее напряжение.

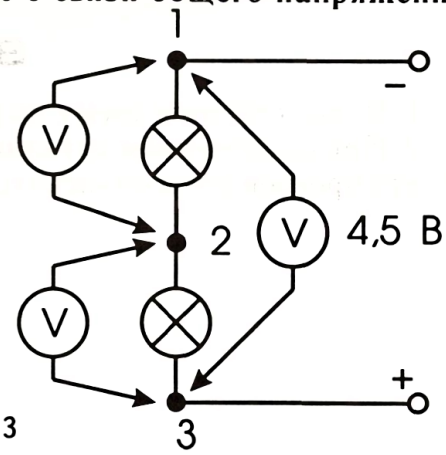


Рис. 3

Задание 3

Установите взаимосвязь между общим сопротивлением всей цепи и сопротивлением ее отдельных участков.

1. Используя закон Ома, вычислите сопротивления R1 лампы HL1, R2 – лампы HL2, R – общей цепи.
2. Результаты вычислений запишите в табл. 1 третьей строкой.
3. Сравните и сделайте вывод о том, как соотносятся общее сопротивление цепи и сопротивления отдельных участков при их последовательном соединении.

Таблица 1

Физическая величина	Лампа HL1	Лампа HL2	Весь участок цепи	Вывод
Сила тока I, A				
Напряжение U, B				
Сопротивление R, Ом				

Задание 4

Проведите повторное исследование закономерностей последовательного соединения проводников для установления зависимостей $I=I_1=I_2$, $U=U_1+U_2$, $R=R1+R2$.

1. Замените в схеме на рис. 2 лампы резисторами **R1** и **R2**, имеющими разные сопротивления в пределах от 30 до 100 Ом, амперметр – миллиамперметром пределом измерения 50 мА или 100 мА.
2. Вычертите новую схему для повторного исследования.
3. Продумайте порядок проведения опытов.
4. Разработайте таблицу для записи результатов.
5. Выполните исследование. Полученные данные занесите в табл. 2, составленную по аналогии с табл. 1.
6. Проанализируйте результаты экспериментов, сформулируйте выводы.

Задание 5

1. Вновь соберите схему по рис. 2.
2. При отключенном питании исключите из нее одну из ламп. Пронаблюдайте, что произойдет, и объясните это.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что можно сказать о силе тока, полном напряжении и общем сопротивлении цепи при последовательном соединении ее участков?

2. Каковы, по Вашему мнению, достоинства и недостатки последовательного соединения потребителей электрической энергии.

3. Приведите примеры последовательного соединения потребителей электрической энергии.

4. Требуется изготовить елочную гирлянду из лампочек, рассчитанных на напряжение 10 В каждая. Сколько надо взять лампочек, чтобы гирлянду можно было включить в сеть напряжением 220 В?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№9

РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ ЦЕПИ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

Цель: изучить закономерность распределения полного напряжения цепи между *ее отдельными участками.*

Литература: _____

_____

Оборудование: макетная плата; амперметр; вольтметр; резисторы сопротивлениями 10 Ом и 20 Ом; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Из закона Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ следует, что напряжение определяется формулой $U=IR$. Из нее и закономерности последовательного соединения проводников

$U=U_1+U_2+U_3+...$ вытекает, что общее напряжение цепи распределяется между отдельными участками в соответствии с их сопротивлениями: чем больше сопротивление участка, тем больше напряжение на нем.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какие закономерности выполняются в электрических цепях с последовательным соединением проводников?
2. Какова формула закона Ома?
3. Как включают в электрическую цепь амперметр? вольтметр?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Докажите справедливость формулы U=IR. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Участок цепи	Сопротивление R, Ом	Сила тока I, А	Напряжение, В		Разность, В $U_{расч.}-U_{изм.}$
			$U_{расч.}$	$U_{изм.}$	
R1					
R2					
R1+R2					

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1.

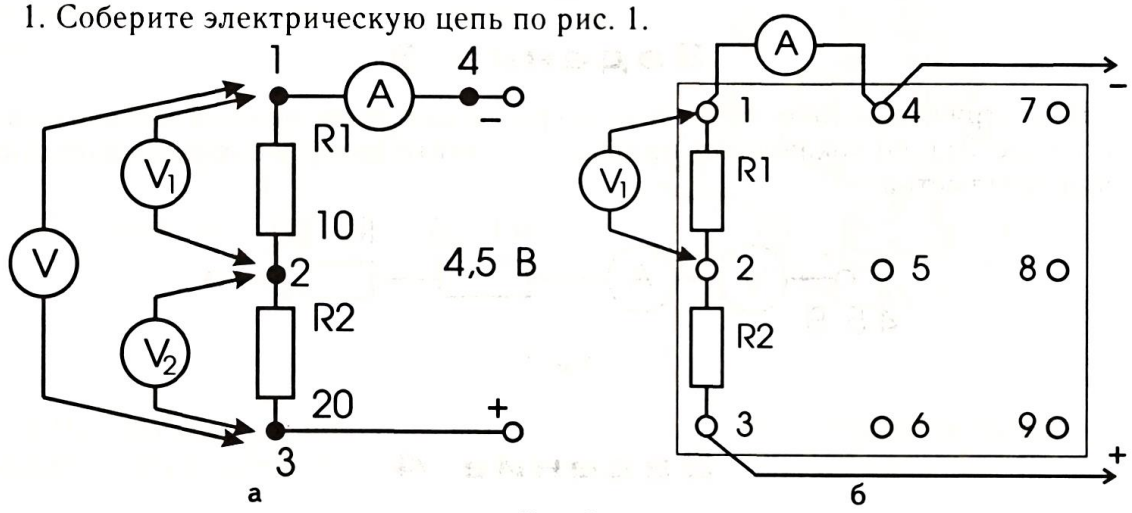


Рис. 1

2. Измерьте силу тока **I** в цепи.

3. Определите сопротивления резисторов **R1** и **R2** по их маркировке и общее сопротивление цепи **R1+R2**.

4. Зная силу тока в цепи и сопротивления резисторов, рассчитайте напряжение $U_{расч}$ на каждом участке и общее напряжение по формуле $U_{расч}=IR$.

5. Измерьте вольтметром напряжение $U_{изм}$ на резисторах и общее напряжение.

6. Сравните расчетные и измеренные напряжения на участках и вычислите разницу **ΔU** между ними; объясните ее происхождение.

Задание 2

Соберите цепь по рис. 2 и измерьте напряжение на всех участках цепи, включая амперметр. Сравнивая напряжения на участках, сделайте вывод о сопротивлении амперметра.

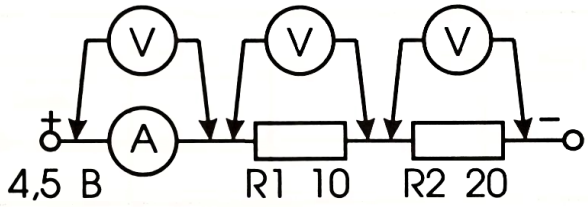


Рис. 2

Задание 3

В электрическую цепь, собранную по рис. 2, включите последовательно вольтметр (рис. 3) и по показаниям приборов сделайте вывод о значении сопротивления вольтметра.

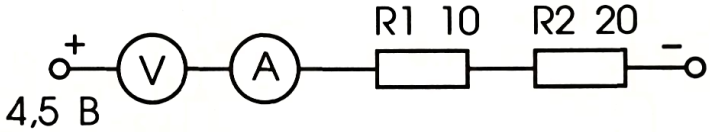


Рис. 3

Задание 4

1. Соберите электрическую цепь по рис. 4 и запомните показания приборов.

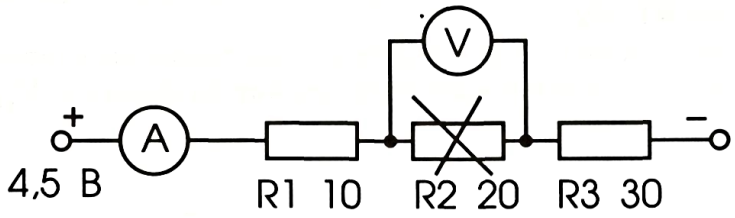
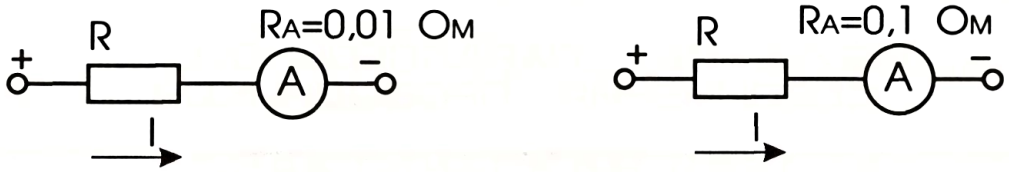


Рис. 4

2. Не отключая питания, удалите из цепи резистор **R2** и объясните изменения в показаниях приборов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

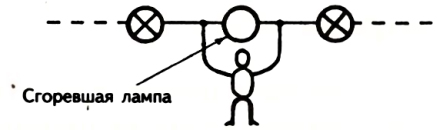
1. На рисунках 5, *а* и *б* для измерения одной и той же силы тока использованы амперметры с разными сопротивлениями. Какой из них точнее покажет силу тока? Почему?



а б

Рис. 5

2. Под каким напряжением оказался бы человек, который коснулся бы выводов перегоревшей лампы елочной гирлянды, включенной в сеть 220 В (рис. 6)?



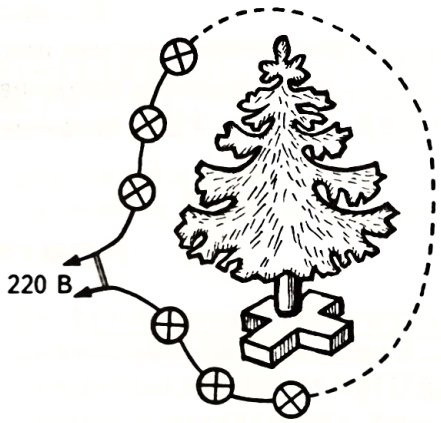


Рис. 6

3. Что показывают приборы, включенные в электрическую цепь, собранную по рис. 7? Ваш вывод проверьте на опыте.

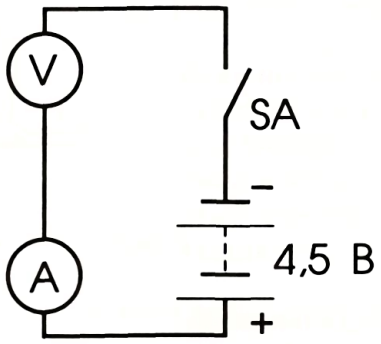


Рис. 7

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель: узнать о закономерностях в цепи, состоящей из параллельно соединенных проводников.

Литература: _____

_____

Оборудование: макетная плата; вольтметр; амперметр; резисторы 10 Ом и 20 Ом (надписи с указанием сопротивлений рекомендуем заклеить изолентой); лампы МН 6,3 В х 0,3 А – 2 шт.; источник питания на 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Электрическую цепь могут образовать параллельно соединенные участки. При таком соединении одни концы всех проводников собирают в один узел, например, в точке А (рис. 1), а вторые концы – в другой узел, например, в точке В. Поэтому напряжение U на всем участке АВ и на концах его параллельных ветвей **R1** и **R2** должно быть одним и тем же: $U = U_1 = U_2$.

Ток же **I** в первой точке соединения А разветвляется на два тока I_1 и I_2, которые вновь сходятся в общий поток в точке В. Поэтому сила тока в неразветвленной части цепи должна быть равна сумме сил токов в отдельных ветвях: $I = I_1 + I_2$.

При параллельном соединении общее сопротивление цепи уменьшается, т. к. у тока появляется несколько путей, что равносильно использованию проводника с большим сечением. Поэтому оно должно становиться меньше сопротивления каждой ветви. Определяют его из формулы: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2}$.

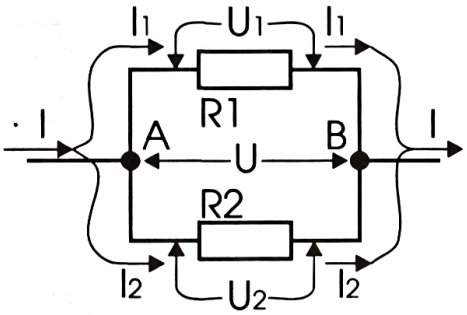


Рис. 1

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какое соединение проводников называют параллельным?
2. Какая электрическая характеристика цепи одинакова для всех проводников, соединенных параллельно?
3. Как найти силу тока в неразветвленной цепи, зная силу тока в каждом из параллельно соединенных проводников?
4. Как рассчитать сопротивление участка цепи, состоящего из двух параллельно соединенных проводников?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Примечание. В работе вместо резисторов 10 Ом и 20 Ом можно использовать лампы МН6,3 В х 0,3 А.

Задание 1

Проверьте справедливость предположения о силе тока в цепи, состоящей из двух параллельно соединенных участков: $I = I_1 + I_2$. Результаты наблюдений запишите в первую строку табл. 1.

1. Соберите схему по рис. 2 и измерьте силу тока **I** в цепи до разветвления.
2. Определите силу тока I_1, текущего через участок **R1**. Включите для этого амперметр, как показано на рис. 3, *а* и *б*.

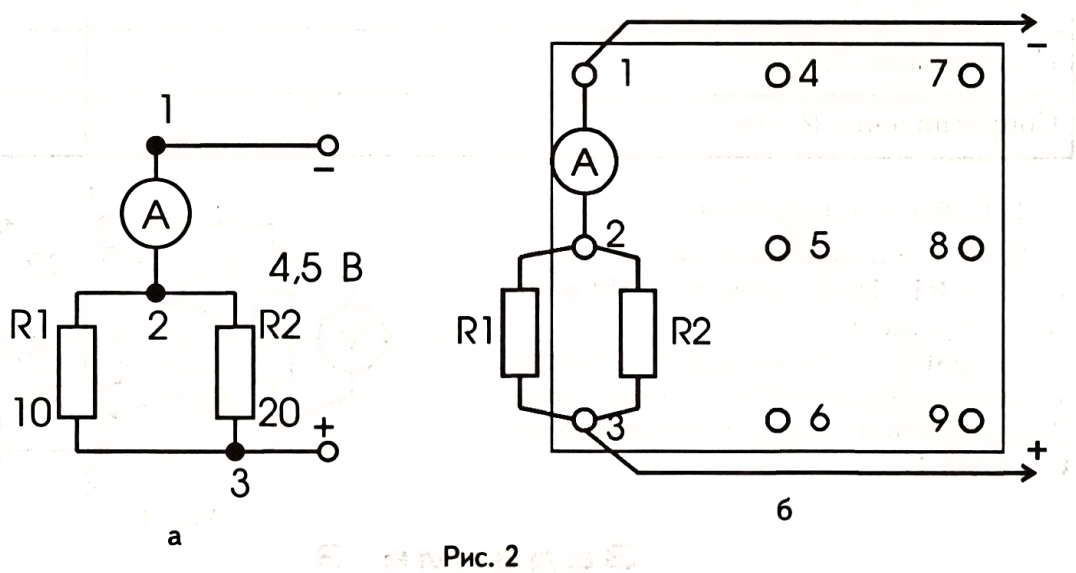


Рис. 2

3. Переключите амперметр во вторую ветвь цепи (рис. 3, *в*). Измерьте силу тока I_2, текущего через участок **R2**.
4. Сравните показания амперметров во всех трех случаях и сделайте вывод о том, какая связь существует между силами токов **I**, I_1 и I_2.

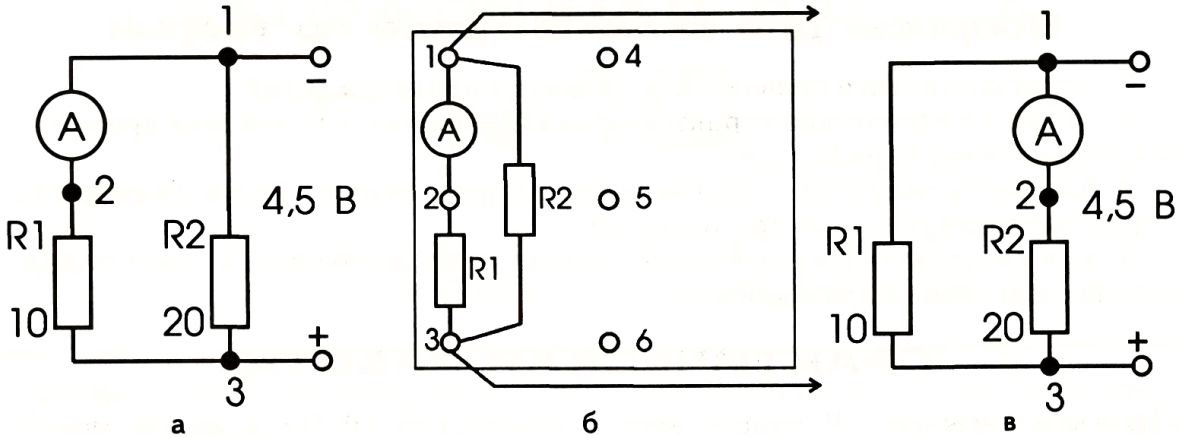


Рис. 3

Задание 2

Проверьте верность предположения о равенстве напряжений на всем участке и его отдельных частях при параллельном соединении проводников: $U = U_1 = U_2$. Показания вольтметра занесите во вторую строку табл. 1.

Таблица 1

Физическая величина	Участок R1	Участок R2	Весь участок цепи	Вывод
Сила тока I, А				
Напряжение U, В				
Сопротивление R, Ом				

1. Соберите цепь по рис. 4.

2. Измерьте напряжение U_1 на резисторе **R1**, U_2 на резисторе **R2** и общее напряжение **U**.

3. Сравните показания вольтметра и сделайте вывод о том, какую связь Вы установили между напряжениями U_1, U_2 и **U**.

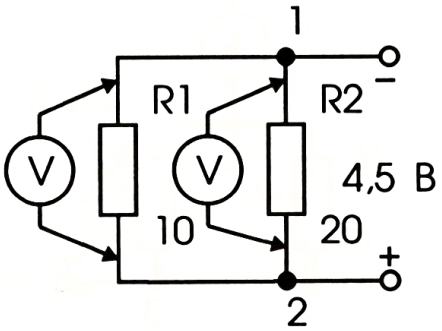


Рис. 4

Задание 3

Установите взаимосвязь между общим сопротивлением цепи и сопротивлениями ее отдельных участков. Результаты вычислений занесите в третью строку табл. 1.

1. Используя результаты измерений токов и напряжений, по закону Ома для участка цепи рассчитайте сопротивления резистора **R1**, резистора **R2**, общей цепи – **R**.

2. Проверьте справедливость:

а) утверждения, что **R<R1** и **R<R2** ; б) равенства $\frac{1}{R}=\frac{1}{R1}+\frac{1}{R2}$.

3. Сформулируйте вывод о том, какая существует связь между общим сопротивлением цепи и сопротивлениями ее отдельных параллельно соединенных участков.

Задание 4

1. Соедините две лампы параллельно и при включенном питании одну из них исключите из цепи. Понаблюдайте, что произойдет. Объясните это.

2. Сравните результат с результатом аналогичного задания 5 из лабораторной работы № 8. Сделайте вывод о достоинствах и недостатках последовательного и параллельного соединений потребителей электроэнергии.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Приведите примеры параллельного соединения потребителей электрической энергии.

2. Как распределяется сила тока в параллельно соединенных участках? Почему?

3. Почему вольтметр, подключаемый к измеряемому участку цепи параллельно, должен иметь большое сопротивление?

4. Соедините три лампы последовательно (рис. 5) и одну из них закоротите проводом. Как изменится яркость ламп?

5. Объясните, почему птиц, сидящих на проводах электропередачи, не поражает электрическим током (рис. 6)?

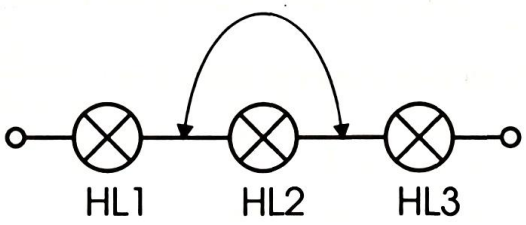


Рис. 5

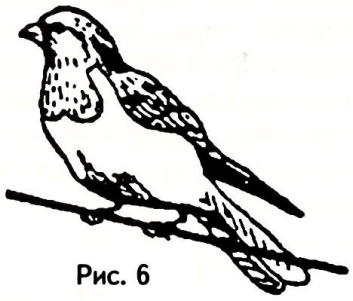


Рис. 6

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

ИЗУЧЕНИЕ СМЕШАННОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель: изучить работу электрических цепей со смешанным соединением потребителей тока.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; амперметр; вольтметр; резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

На практике, особенно в радиоэлектронных устройствах, широко используется смешанное соединение проводников, которое содержит в себе и последовательные, и параллельные участки. Например, на рис. 1 участки АВ и ВС соединены друг с другом последовательно, но участок ВС представляет собой параллельное соединение резисторов **R2** и **R3**. В точке В происходит разветвление тока **I** на токи I_1 и I_2, сходящиеся вновь в точке С. Поэтому и говорят: «Параллельная цепь – делитель тока».

На рис. 2 к последовательно соединенным резисторам **R1** и **R2** параллельно подключен резистор **R3**. Здесь происходит деление общего напряжения **U** на U_1 и U_2 между последовательно соединенными резисторами **R1** и **R2**. Поэтому утверждают: «Последовательная цепь – делитель напряжения».

Для каждого участка смешанной цепи выполняется закон Ома: $I = \frac{U}{R}$.

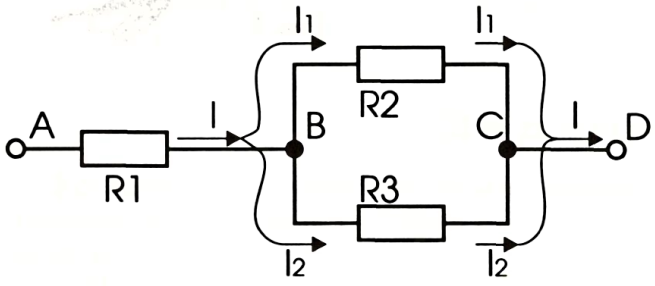


Рис. 1

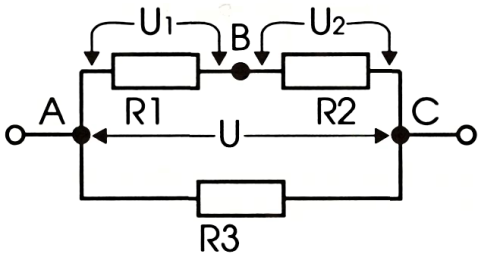


Рис. 2

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какое соединение проводников называется смешанным?
2. Объясните справедливость утверждений:
а) «Последовательная цепь – делитель напряжения»;
б) «Параллельная цепь – делитель тока».
3. Сколько вариантов смешанного соединения четырех ламп Вы предложите?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Примечание. При использовании данной работы в физическом практикуме рекомендуем в схеме использовать резисторы 100 Ом, 200 Ом, 300 Ом и миллиамперметр.

Задание 1

Исследуйте электрическую цепь со смешанным соединением проводников. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

1. К участку цепи (рис. 1), составленному из резисторов **R1** =10 Ом, **R2** = 20 Ом, **R3** = 30 Ом, подключите источник питания 4–6 В.
2. Измерьте напряжение на участках.
3. На основании закона Ома рассчитайте силу тока $\mathbf{I_{расч.}}$ в участках **R1**, **R2**, **R3**, определив их сопротивление по маркировкам.
4. Измерьте амперметром силу тока $\mathbf{I_{изм.}}$ в каждом из трех участков.
5. Вычислите разность $\mathbf{\Delta I}$ между расчетными и измеренными значениями силы тока в участках и объясните причину ее появления.
6. Рассчитайте общее сопротивление цепи $\mathbf{R_{расч.}}$ по маркировкам резисторов.
7. Вычислите общее сопротивление цепи $\mathbf{R_{изм.}}$ по показаниям приборов.
8. Вычислите разность $\mathbf{\Delta R}$ между расчетным и вычисленным значениями общего сопротивления. Объясните причину ее появления.

Таблица 1

Сопротивление участка R, Ом	Напряжение U, В	Сила тока, А		Разность ΔI, А	Общее сопротивление, Ом		Разность ΔR, Ом
		$I_{расч.}$	$I_{изм.}$		$R_{расч.}$	$R_{изм.}$	
R1=10 Ом							
R2=20 Ом							
R3=30 Ом							

Задание 2

Исследуйте электрическую цепь со смешанным соединением участков. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 2.

1. К участку цепи (рис. 2), составленному из резисторов сопротивлениями **R1** = 10 Ом, **R2** = 20 Ом, **R3** = 30 Ом, подключите источник питания 4–6 В.
2. Измерьте силу тока **I** в участках цепи и общую силу тока $\mathbf{I_{общ}}$.
3. Измерьте напряжение **U** на участках цепи.
4. Вычислите по показаниям приборов сопротивления участков $\mathbf{R_{изм1}}$, $\mathbf{R_{изм2}}$, $\mathbf{R_{изм3}}$, не обращая внимания на указанные номиналы резисторов.
5. Рассчитайте общее сопротивление $\mathbf{R_{расч.}}$ цепи по маркировкам резисторов.
6. Вычислите общее сопротивление $\mathbf{R_{изм.}}$ цепи по показаниям приборов.
7. Вычислите разность **ΔR** между расчетным и вычисленным значениями общего сопротивления и объясните причину ее появления.

Таблица 2

Участок цепи	Сила тока I, А	Общая сила тока $I_{общ.}$, А	Напряжение на участках U, В	Сопротивление участка по показаниям приборов $R_{изм.}$, Ом	Общее сопротивление по маркировкам $R_{расч.}$, Ом	Общее сопротивление по показаниям приборов $R_{изм.}$, Ом	Разность, Ом ΔR
R1=10 Ом							
R2=20 Ом							
R3=30 Ом							

КОНТРОЛЬНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Три одинаковые лампы соединены так, как показано на рис. 3 и 4. К участку АВ подведено напряжение, равное напряжению, на которое рассчитана каждая лампа. В каком случае лампы будут гореть: одинаково, различно, какая ярче? Почему?

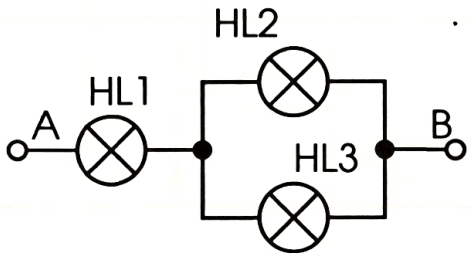


Рис. 3

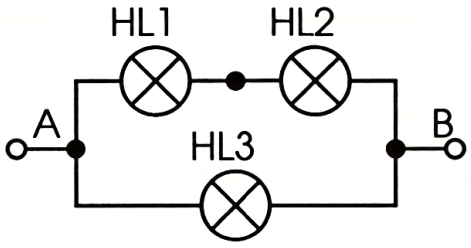


Рис. 4

Проверьте правильность Вашего предположения экспериментом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО РЕЗИСТОРА

Цель: научиться использовать переменный резистор для плавного регулирования силы тока и напряжения.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; переменный резистор сопротивлением в пределах 100—1000 Ом; лампа МН 6,3 В х 0,3 А — 2 шт.; светодиод; вольтметр; источник питания 4—6 В; соединительные провода — 4 шт.

Краткая теория

Кроме резисторов, имеющих неизменное сопротивление, в радиоаппаратуре широко используются переменные резисторы. Ими регулируется громкость и тембр в звуковоспроизводящих устройствах, контрастность и яркость в телевизорах, сила тока в электроприборах, напряжение в блоках электропитания и т. д. Они бывают регулировочные и подстроечные (см. рис. 1, лабораторная работа № 4).

Переменные резисторы (рис. 1), как правило, имеют три вывода (*1, 2, 3*), один из которых (*3*) связан с подвижным контактом, скользящим по поверхности проводящего слоя. Движок регулировочного резистора перемещают рукой посредством поворота выступающей ручки, подстроечного — отверткой, вставленной в прорезь.

Сопротивление между любым крайним выводом переменного резистора и подвижным контактом зависит от положения движка.

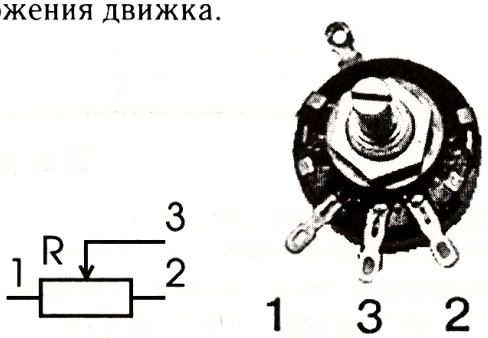


Рис. 1

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Изучите электрическую цепь, где переменный резистор используется как дополнительное сопротивление. Заполните табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2.

2. Меняя сопротивление переменного резистора вращением ручки, следите за изменением яркости лампы (изменением силы тока). Объясните наблюдаемое явление.

3. Измерьте напряжение на различных участках цепи между точками 1–2 (U_1), 2–3 (U_2), 1–3 (U) при разных положениях движка переменного резистора.

4. Установите и объясните закономерную зависимость между общим напряжением **U** и суммой напряжений U_1, U_2 на участках.

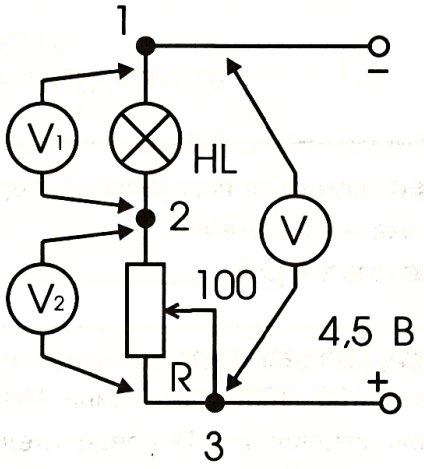


Рис. 2

Таблица 1

№ опыта	U_1, В	U_2, В	U, В	U_1+U_2, В
1				
2				
3				

Задание 2

Изучите схему смешанного соединения с переменным резистором, выполняющим роль шунта (создателя обходного пути). Заполните табл. 2.

1. Смонтируйте электрическую цепь по рис. 3.

2. Назовите, как соединены между собой лампы **HL1**, **HL2** и переменный резистор **R**.

3. Проследите за яркостью горения ламп при движении ручки переменно-

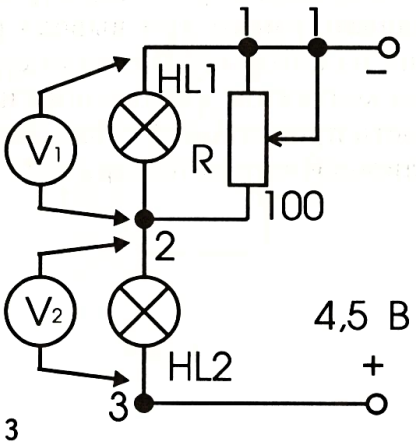


Рис. 3

го резистора из одного крайнего положения в другое. Объясните наблюдаемый факт.

4. Поставьте движок резистора в положение, обеспечивающее максимальное сопротивление (верхнее на рис. 3). Запишите показания вольтметра и яркость горения ламп.

5. Передвиньте движок резистора в положение, обеспечивающее наименьшее сопротивление (нижнее на рис. 3). Запишите показания вольтметра и уровень яркости ламп.

6. Сравните яркость горения ламп и значения напряжений на одних и тех же участках в обоих случаях. Объясните наблюдаемое явление.

Таблица 2

Сопротивление R	Участок HL1		Участок HL2	
	U_1 ,В	Яркость	U_2 ,В	Яркость
Наибольшее				
Наименьшее				

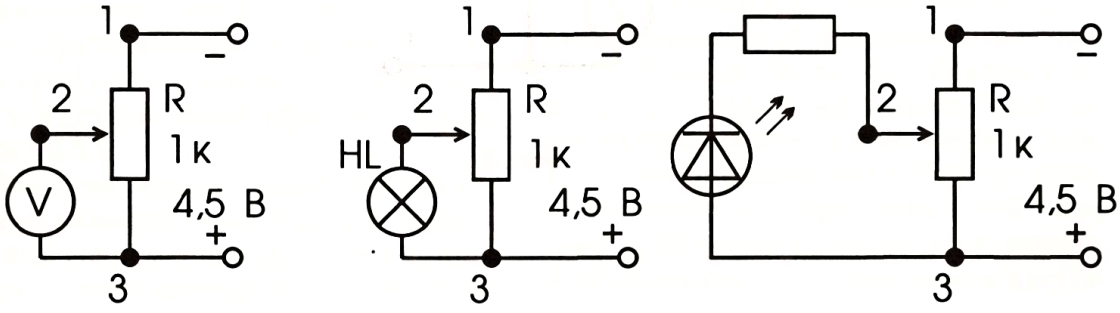
Задание 3

Изучите роль переменного резистора, выполняющего роль делителя напряжения — потенциометра.

1. Соберите поочередно установки по рисункам 4 (*а, б, в*) и, перемещая движок переменного резистора из одного крайнего положения в другое, следите за показанием вольтметра, яркостью свечения лампы и светодиода. Объясните наблюдаемое явление.

2. Соберите схему по рис. 5.

3. Перемещая движок из одного крайнего положения в другое, наблюдайте за изменением яркости ламп. Объясните наблюдаемое явление.



а б в

Рис. 4

4. Измеряя напряжение на лампах и общее напряжение при разных положениях движка резистора, установите закономерную зависимость между ними. Результаты эксперимента занесите в составленную Вами таблицу.

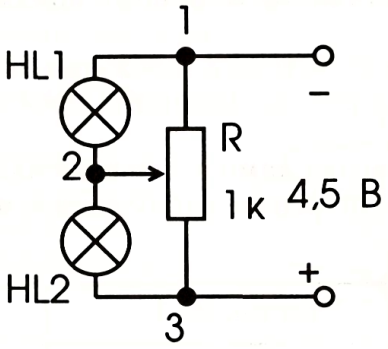


Рис. 5

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Объясните:

а) как будут изменяться показания вольтметров на установке, собранной по рис. 6, при движении ползунка переменного резистора вверх и вниз;

б) какая существует зависимость между общим напряжением U и суммой напряжений $U_1 + U_2$. Почему?

Ваше предположение проверьте экспериментально.

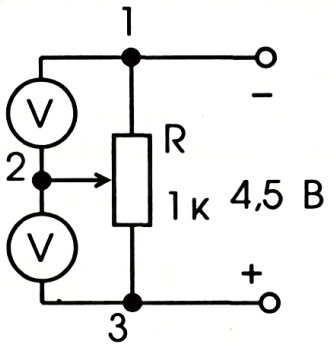


Рис. 6

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№13

ПОСТРОЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗИСТОРА

Цели: получить представление о том, что такое вольт-амперная характеристика физического прибора; научиться строить и читать их на примере резистора.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; миллиамперметр на 50 мА (или 100 мА); вольтметр лабораторный; переменный резистор сопротивлением в пределах 100—1000 Ом; постоянные резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 51 Ом; источник питания 4—6 В; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Зависимость между силой тока **I** в участке цепи и приложенным к нему напряжением **U**, а также сопротивлением этого участка **R** определяется законом Ома: $I=\frac{U}{R}$. Такой способ ее выражения называется аналитическим. Но существует и другой способ — графический. Он более нагляден: показывает, как одна величина — ток **I** — зависит от другой — приложенного напряжения **U**. Этот график называется вольт-амперной характеристикой прибора, сокращенно ВАХ.

Вольт-амперная характеристика — одна из главных характеристик многих важных современных физических приборов — полупроводниковых, вакуумных, ламповых и других. Она дает представление об особенностях этого прибора; с ее помощью можно определять ряд параметров цепей, в которые они включены.

Если закон Ома записать в виде $I=\frac{1}{R}\cdot U$, то нетрудно в такой записи увидеть сходство с линейной зависимостью, выраженной в математике уравнением $y=k\,x$; коэффициент k в нашем случае равен величине, обратно пропорциональной сопротивлению участка, и называется его проводимостью.

Если у электрического прибора зависимость силы тока **I** прямо пропорциональна приложенному напряжению **U**, то она представляет собой прямую, наклонную к горизонтальной оси (рис. 1). Но чаще всего эта зависимость у физических приборов оказывается более сложной.

Для построения ВАХ необходимо фиксировать значения силы тока **I**, соответствующие различным значениям

приложенного напряжения **U**. Обычно последнее меняют на определенную величину – шаг. Для удобства показания измерительных приборов (амперметра и вольтметра) заносят в специальную таблицу, а по ним строят график: в выбранных масштабах по горизонтальной оси (оси абсцисс) откладывают значения напряжений, а по вертикальной оси (оси ординат) – соответствующие им значения силы тока; из полученных точек восстанавливают к осям перпендикуляры до их пересечения; полученные точки соединяют плавной линией – вольт-амперная характеристика прибора готова.

Посмотрите вновь на рис. 1. Если для любой точки графика Вы определите величину абсциссы **U** и разделите ее на величину ординаты **I**, получите по закону Ома значение **R** – сопротивление прибора.

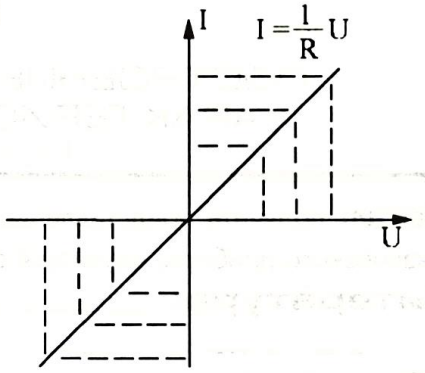


Рис. 1

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое вольт-амперная характеристика прибора?
2. Как можно построить ее?
3. Какой вид могут иметь графики ВАХ?
4. Какие сведения о приборе можно получить из графика ВАХ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

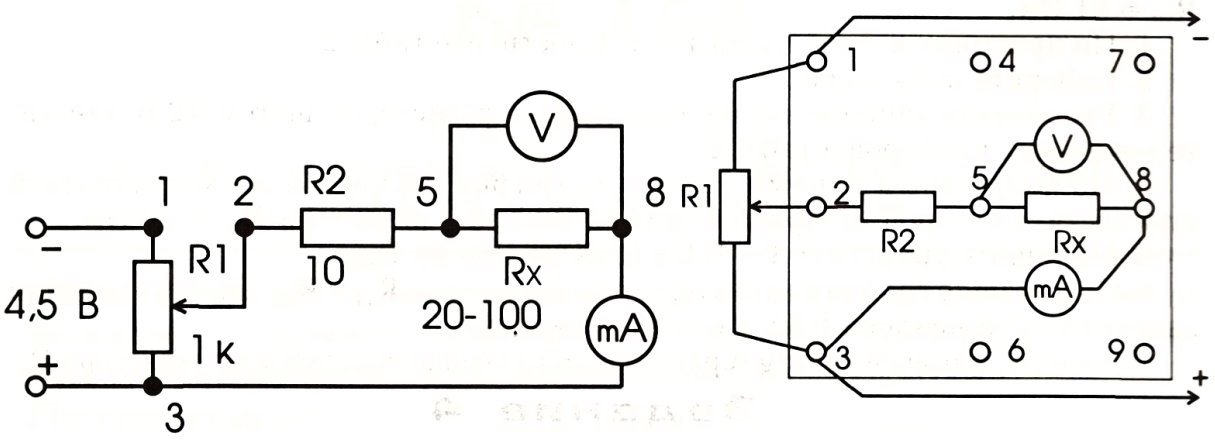
Задание 1

Исследуйте зависимость силы прямого тока от приложенного к резистору напряжения. Показания приборов занесите в первую часть табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Исследуемый объект	Показания приборов					
1	R_x при прямом включении	U, В					
		I, 10^{-3}А					
2	R_x при обратном включении	U, В					
		I, 10^{-3}А					

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2, *а* и *б*. Возьмите резистор R_{x1} сопротивлением 20 Ом. Направление тока в нем условно примем за прямое.



а б

Рис. 2

Примечание. В этой цепи переменный резистор **R1** используется как потенциометр для регулирования напряжения на исследуемом резисторе R_{x1}. Резистор **R2** служит для защиты миллиамперметра от чрезмерно больших токов (зашкаливания). При осторожном обращении с цепью можно обойтись без ограничительного резистора **R2.**

2. Увеличивайте напряжение на резисторе R_{x1} от 0 каждый раз на 0,2 В. Фиксируйте показания приборов (вольтметра и миллиамперметра) и заносите их в таблицу.

3. Постройте вольт-амперную характеристику резистора R_{x1}. При данном направлении тока, условно принятом за прямое, получится прямая ветвь ВАХ.

4. По графику определите несколько значений сопротивления резистора R_{x1} при разных **U**. Напишите уравнение прямой **I=f(U)**.

Задание 2

Исследуйте зависимость силы обратного тока от приложенного к резистору напряжения. Показания приборов занесите во вторую часть табл. 1.

1. Измените направление тока в резисторе R_{x1} на противоположное. Для этого поменяйте полярность включения источника питания и измерительных приборов. Направление тока в резисторе R_{x1} условно будем считать обратным.

2. Увеличивайте напряжение на резисторе R_{x1} каждый раз на 0,2 В. По полученным данным постройте в той же координатной плоскости обратную ветвь ВАХ резистора R_{x1}. График строится в третьей четверти, т. к. значения силы тока и напряжения считаются отрицательными.

3. По полученному графику определите сопротивление резистора при обратном токе и разных значениях напряжения. Сделайте вывод.

4. Сравните обе ветви ВАХ, сделайте вывод.

Задание 3

По аналогии с заданием 1 постройте прямую ветвь ВАХ для резистора R_{x2} = 51 Ом.

1. По принципу первой части табл. 1 постройте табл. 2.
2. Соберите цепь по рис. 2.
3. Увеличивая напряжение на исследуемом резисторе с шагом 0,2 В, занесите показания приборов в табл. 2.
4. По полученным данным вычертите график ВАХ в той же координатной плоскости, в которой изображен график ВАХ для резистора R_{x1} = 20 Ом.
5. Напишите уравнение $I = f(U)$ ВАХ резистора R_{x2}.
6. Сопоставьте графики характеристик резисторов R_{x1} и R_{x2}. Ответьте, от чего зависит угол α наклона ВАХ к оси напряжений?

Докажите, что значение $ctg\,\alpha$ равно сопротивлению исследуемого резистора R_x.

Задание 4

В той же координатной плоскости, где изображены вольт-амперные характеристики резисторов R_{x1} и R_{x2}, теоретическим способом постройте ВАХ $I=f(U)$ для третьего резистора R_{x3} = 30 Ом.

Верность теоретических расчетов и правильность построенного графика ВАХ проверьте экспериментально.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Зависит ли сопротивление резистора от силы тока в нем и напряжения на его концах?
2. Зависит ли сопротивление резистора от направления тока в нем?
3. От чего зависит сопротивление проводника?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

ПОСТРОЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Цели: изучить работу лампы накаливания: узнать, как зависит сила тока в ней от приложенного напряжения; закрепить полученные в лабораторной работе №13 умения строить и анализировать вольт-амперную характеристику прибора.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; лампа МН 6,3 В×0,3 А; переменный резистор (реостат) на 100 Ом; вольтметр лабораторный; миллиамперметр на 500 мА (или амперметр лабораторный); источник тока на 6–8 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

По закону Ома для участка цепи силу тока в лампе определяют формулой $I=U/R$. Однако с повышением температуры нити накала возрастает интенсивность колебательного движения ионов кристаллической решетки металла (вольфрама); при этом увеличивается число соударений электронов с ней, вследствие чего растет электрическое сопротивление. Оно становится функцией температуры: $R=f(t)$. Например, у ламп накаливания при прохождении тока сопротивление увеличивается более чем в 10 раз.

По этой причине зависимость между силой тока в лампе от приложенного напряжения к ней $I=f(U)$ не будет линейной.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Почему растет сопротивление нити накала лампы при увеличении в ней тока?
2. Как, с Вашей точки зрения, должна выглядеть вольт-амперная характеристика лампы накаливания? Почему именно так?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

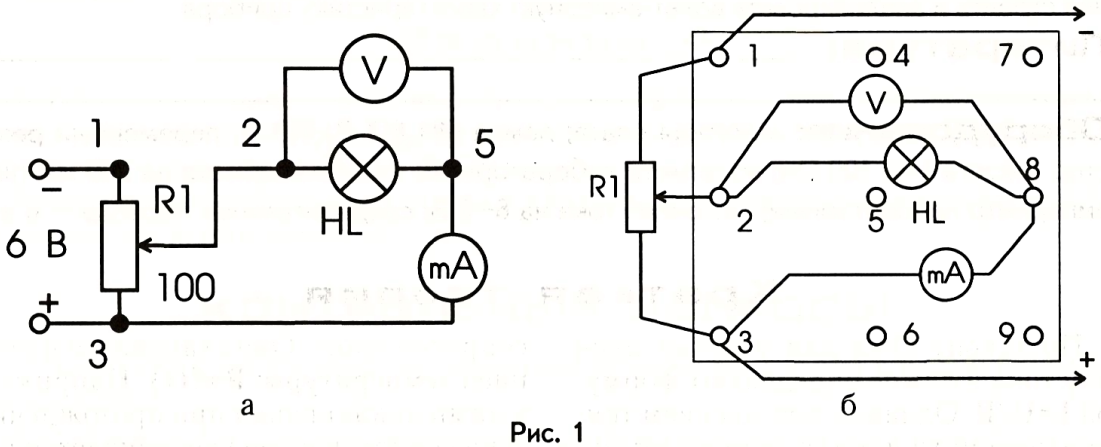
Задание 1

Постройте вольт-амперную характеристику лампы. Показания приборов занесите в табл. 1.

Таблица 1

U, В	0	1	2	3	4	5	6
I, А							
R, Ом							

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1.



а б

Рис. 1

2. Увеличивайте плавно напряжение на лампе от 0 до 6 В с шагом 1 В.
3. Выберите масштаб и постройте вольт-амперную характеристику лампы.
4. Объясните, почему с увеличением силы тока в лампе график ВАХ искривляется в сторону оси **U**.

Задание 2

Определите сопротивление нити накала лампы при разных значениях силы тока и напряжения. Результаты вычислений занесите в третью строку табл. 1.

1. Вычисления произведите по закону Ома для участка цепи, используя: а) данные таблицы; б) график вольт-амперной характеристики.
2. Проанализируйте полученные данные и сделайте вывод о том, от чего зависит сопротивление нити накала лампы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются вольт-амперные характеристики резистора (см. лабораторную работу № 13) и лампы накаливания? Почему?
2. Почему спирали осветительных ламп накаливания чаще всего перегорают в момент включения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№15

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОВОДНИКА ОТ ДЛИНЫ, ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ И МАТЕРИАЛА

Цели: выяснить, какие причины и как влияют на величину сопротивления металлического проводника; определить удельное сопротивление разных проводников.

Литература: _____

Оборудование: набор (самодельный) проводников из высокоомных сплавов на изолирующей подставке; милливольтметр; миллиамперметр; резистор 20 Ом; переменный резистор сопротивлением в пределах 100—1000 Ом; сантиметровая линейка; микрометр; источник питания 4—6 В; соединительные провода — 8 шт.

К сведению

Для изготовления набора проводников предлагаем изготовить самодельный прибор, конструкция которого понятна из рис. 1. Вдоль длины пластины из изолирующего материала (дерева, фанеры, текстолита и др.) размером 320x180x10 мм натянуты девять проводников, концы которых закреплены гайками на болтах, снабженных клеммами. Проводники имеют номера с 1 по 9.

Первые три (№ 1—3) проводника изготовлены из одного материала одинакового сечения, но имеют разные длины: отличаются друг от друга на 6—8 см.

Проводники № 4—6 сделаны из одного материала, имеют одинаковые длины, но разный диаметр.

Последние три проводника (№ 7—9) имеют одинаковые диаметры и длины, но изготовлены из разных веществ.

Для создания прибора подойдут провода из никелина, нихрома, фехраля и других высокоомных сплавов диаметром 0,2—0,5 мм, которые можно взять от старых реостатов, проволочных резисторов или спиралей электронагревательных приборов.

При проведении опытов рекомендуем по проводникам пропускать ток не более 50 мА, так как при большей силе тока возможно увеличение их сопротивлений из-за нагревания протекающим током.

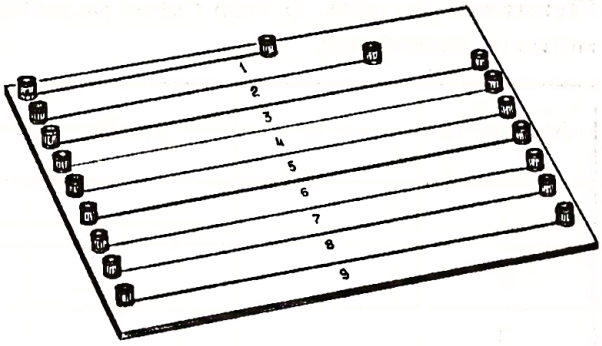


Рис. 1

Краткая теория

Сопротивление проводника характеризует его свойство препятствовать прохождению электрического тока. Причиной электрического сопротивления металлического проводника является взаимодействие электронов с ионами кристаллической решетки.

Сопротивление проводника **R** должно зависеть от его длины l: ведь чем длиннее путь пробега электронов, тем большее сопротивление движению они должны испытать; от площади поперечного сечения **S** сопротивление должно зависеть обратно пропорционально, поскольку чем шире путь для электронов, тем меньше сопротивление движению. Наконец, оно должно зависеть также от рода вещества, из которого проводник изготовлен. Итак, наша теоретическая гипотеза: $R = \rho \frac{l}{S}$.

Величину **ρ** назовем удельным сопротивлением проводника; она характеризует элекропроводные свойства материала. Единица ее измерения – $\frac{1\ \text{Ом} \cdot 1\ \text{м}^2}{1\text{м}}$, или 1 Ом · м.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что является причиной электрического сопротивления металлических проводников?
2. Напишите формулу для расчета сопротивления проводника.
3. В каких единицах измеряется удельное сопротивление проводника?
4. Как вычислить площадь поперечного сечения проводника, зная его сопротивление и длину?
5. Как рассчитать длину проводника, если известны его сопротивление и диаметр?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Исследуйте зависимость сопротивления проводника от его длины. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2 (*а, б, в*); в качестве исследуемого участка цепи R_x поочередно берите один из трех проводников № 1–3.

Примечание. В этой схеме резистор 20 Ом служит для защиты миллиамперметра от перегрузки.

Таблица 1

№ опыта	l, м	U, В	I, А	R, Ом	Вывод
1					
2					
3					

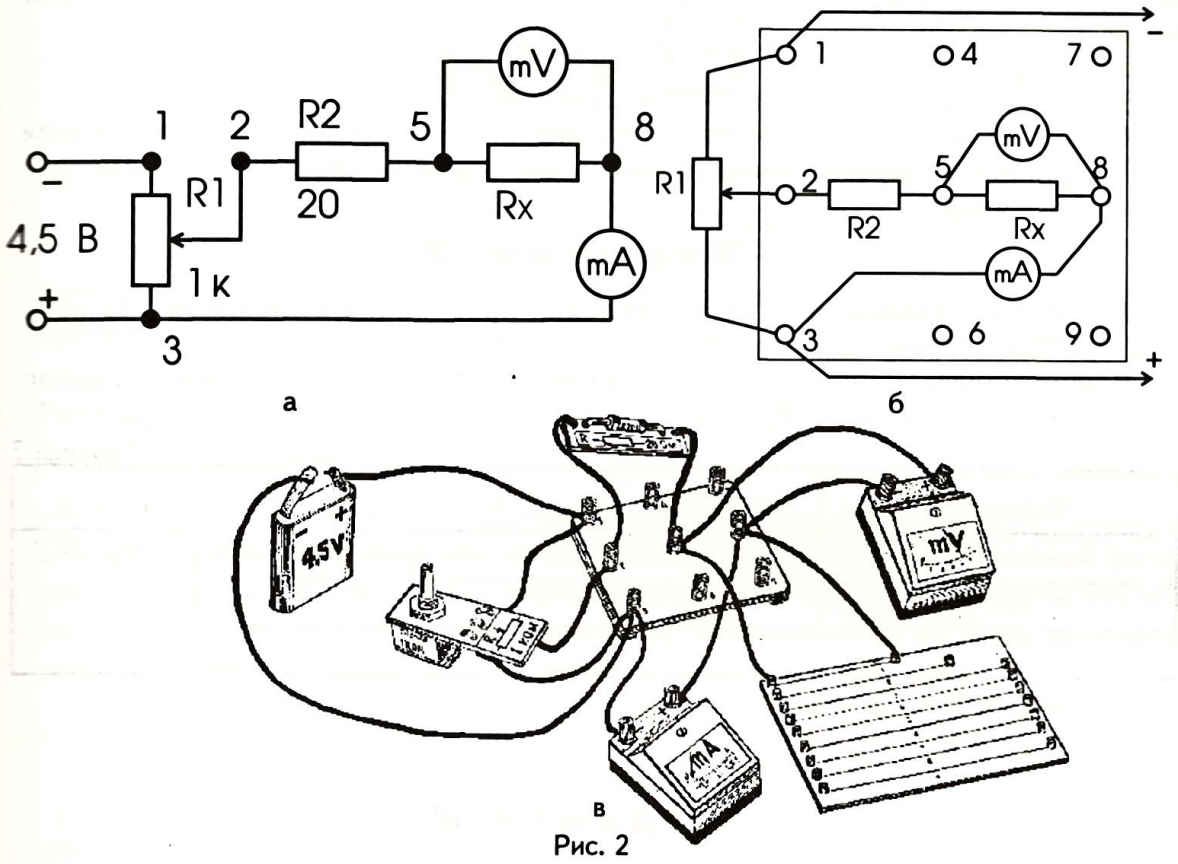


Рис. 2

2. Измерьте длины проводников *l*.

3. Включите цепь и снимите показания приборов — миллиамперметра и милливольтметра.

4. Пользуясь законом Ома для участка цепи, определите сопротивления проводников **R**.

5. Сравните сопротивления проводников и их длины. Сделайте вывод.

Задание 2

Изучите зависимость сопротивления проводника от площади поперечного сечения (диаметра). Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 2.

Таблица 2

№ опыта	*d*, м	U, В	I, А	R, Ом	Вывод
1					
2					
3					

1. В собранной ранее электрической цепи (рис. 2, *а, б, в*) замените исследуемые участки цепи R_x: вместо проводников № 1–3 поочередно берите проводники № 4–6.

2. Измерьте их диаметры ***d***.

3. Снимите показания электроизмерительных приборов.

4. Рассчитайте сопротивления проводников по закону Ома для участка цепи.

5. Сравните сопротивления проводников в зависимости от их диаметров. Сделайте вывод.

Задание 3

Исследуйте зависимость сопротивления проводника от вещества. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 3.

В электрической цепи (рис. 2, *а, б, в*) поочередно используйте в качестве исследуемого участка цепи R_x проводники № 7–9.

Таблица 3

Вещество	U, В	I, А	R, Ом	Вывод

1. Снимите показания электроизмерительных приборов.

2. По закону Ома определите сопротивления проводников.

3. Сравните сопротивления проводников и сделайте вывод.

Задание 4

Определите удельное сопротивление проводника. Показание приборов и результаты вычислений занесите в табл. 4.

Таблица 4

№ опыта	*l*, м	*d*, м	U, В	I, А	ρ, Ом · м	Вещество
1						
2						
3						

1. Возьмите любой проводник из набора и измерьте его длину ***l*** и диаметр ***d***.

2. В электрическую цепь, собранную по рис. 2 (*а, б, в*), в качестве участка R_x включите данный проводник.

3. Измерьте силу тока **I** и напряжение **U** на его концах.

4. Выведите формулу для расчета удельного сопротивления **ρ** материала, из которого сделан проводник.

5. Опыт повторите еще два раза с проводниками из других материалов.

6. Сравните полученный результат с данными, приведенными в справочной таблице удельных сопротивлений, и определите, из какого материала изготовлены исследуемые проводники.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№16

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НИТИ НАКАЛА ЛАМПЫ И ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ЗАВИСИМОСТИ ЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цели: изучить зависимость сопротивления металла от температуры; закрепить навык построения и чтения физических графиков.

Литература:

Оборудование: макетная плата; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; переменный резистор (реостат) на 100 Ом; миллиамперметр на 5/50 мА; миллиамперметр на 500 мА (миллиамперметры можно заменить авометром); милливольтметр на 50 мВ; вольтметр на 10 В; источник питания на 10 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Известно, что величина удельного сопротивления металла зависит от совершенства его кристаллической решетки. В идеально правильной кристаллической решетке (при отсутствии примесей и температуре Т = 0 К) электронные волны, огибая ионы, проходят через кристалл, не испытывая сопротивления.

Повышение температуры металла приводит к увеличению интенсивности теплового колебательного движения ионов относительно узлов решетки. На колеблющихся атомах происходит рассеивание электронных волн, соответствующее соударениям электронов с криталлической решеткой, в результате чего уменьшается длина свободного пробега электронов и, следовательно, увеличивается сопротивление металла электрическому току.

Зависимость электрического сопротивления металла от температуры определяет формула $R_t=R_0(1+\alpha t)$; здесь R_t – сопротивление металла при температуре t, R_0 – сопротивление металла при 0 °С, α – температурный коэффициент сопротивления. Отсюда

$$t=\frac{1}{\alpha}\cdot\left(\frac{R_t}{R_0}-1\right).$$

Эта формула дает возможность рассчитывать, т. е. косвенно измерять, высокие температуры. Что мы знаем о величинах, входящих в эти формулы? Для вольфрама, из которого изготовлена нить накала ламп, α примерно равен $5\cdot10^{-3}$ K^{-1} при комнатной температуре и $6\cdot10^{-3}$ K^{-1} в нагретом состоянии. Сопротивление R_t нити накала лампы в нагретом состоянии можно вычислить

по формуле $R_t = \frac{U}{I}$.

Сопротивление R_0 спирали лампы при 0 °С с незначительной погрешностью можно принять равным ее сопротивлению при комнатной температуре, т. к. их разница мала по сравнению с большим сопротивлением в нагретом состоянии. Его можно определить, пользуясь законом Ома для участка цепи, если пропустить по нити ток, сила которого не превышает одного миллиампера.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Почему электрическое сопротивление зависит от температуры?
2. Как сопротивление металла зависит от температуры?
3. Как определить сопротивление R_0 (при 0 °С) и R_t (при температуре t)?
4. Как рассчитать температуру нити накала лампы? Приведите формулу.
5. Какой физический смысл имеет температурный коэффициент сопротивления α?
6. Где может быть использована зависимость электрического сопротивления проводника от температуры?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Внимание

Вследствие превышения подаваемых на лампу напряжений номинального значения 6,3 В в целях предохранения нити от перегорания рекомендуем измерение силы тока и напряжения производить быстро.

Задание

Постройте график зависимости сопротивления нити накала лампы от ее температуры. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1. Используйте в ней миллиамперметр с пределом измерения до 5 мА и милливольтметр – до 50 мВ.
2. Пропустите по лампе ток силой не более 1 мА и по показаниям приборов рассчитайте сопротивление R_o нити накала.

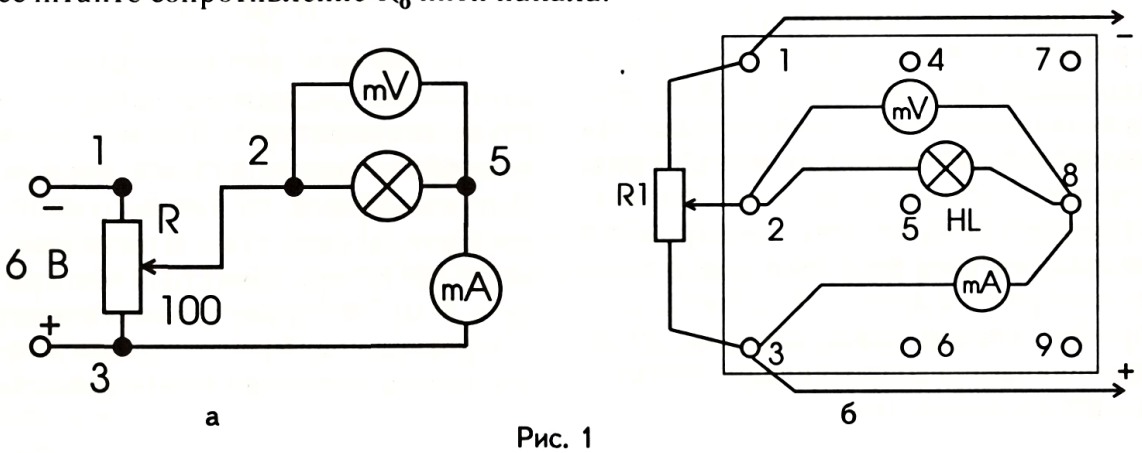


Рис. 1

Таблица 1

U, В							
I, А							
R_t, Ом							
t, °C							

3. Смените в схеме измерительные приборы: возьмите миллиамперметр пределом измерения до 500 мА или лабораторный амперметр; вместо милливольтметра используйте лабораторный вольтметр.

4. Увеличивайте постепенно напряжение на лампе от 0 до 6 В шагом 1 В и фиксируйте в таблице показания приборов.

5. Для каждой пары напряжения и силы тока вычислите сопротивление нити $\mathbf{R_t}$ и ее температуру **t**.

6. По табличным данным на миллиметровой бумаге постройте график зависимости сопротивления $\mathbf{R_t}$ лампы от температуры **t**.

7. Проанализируйте полученный график и сделайте вывод о характере зависимости сопротивления от температуры. Как он соотносится с тем выводом, который следует из анализа формулы $\mathbf{R_t=R_0(1+\alpha t)}$?

К сведению

Использованная установка (рис. 1) при напряжении на лампе 7–9 В позволяет проверить справедливость закона излучения абсолютно черного тела – закона Стефана-Больцмана, согласно которому мощность излучения нагретого тела пропорциональна абсолютной температуре в четвертой степени: $\mathbf{W=\sigma T^4}$.

Целью исследования является доказательство постоянства отношения мощности излучения лампы W, рассматриваемой при высоких температурах нити накала как абсолютно черное тело, к температуре нити **T** в четвертой степени: $\mathbf{W/T^4}$.

Мощность излучения определяется как произведение напряжения на лампе и силы тока в ней: $\mathbf{W = P = UI}$.

Температуру нити накала находят из формулы зависимости сопротивления нити накала от температуры: $T = t+273\ K = \frac{1}{\alpha}\cdot\left(\frac{R_t}{R_0}-1\right) + 273\ K$.

Сопротивление нити $\mathbf{R_0}$ при 0 °C и $\mathbf{R_t}$ при температуре **t** определяют вышеописанным способом. Показания приборов и результаты вычислений записывают в табл. 2.

Таблица 2

U, В	I, А	R_0, Ом	R_t, Ом	t, °C	T, K	T^4, K^4	W, Дж	W/T^4, Дж/K^4
7								
8								
9								

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Цель: научиться вычислять работу и мощность электрического тока, количество теплоты, выделяемое в проводнике током.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; амперметр лабораторный; вольтметр лабораторный, лампа МН 6,3 Вх0,3 А – 2 шт.; резистор 10 Ом номинальной мощностью 2 Вт; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Электрический ток способен совершать работу, которую рассчитывают по формуле $A = IUt$. С понятием работы тесно связано понятие мощности тока. Мощность тока равна работе, совершенной током в единицу времени; рассчитывают ее по формуле $P = \frac{A}{t}$, измеряют в ваттах (Вт).

Проводники, по которым проходит ток, нагреваются. Согласно закону сохранения энергии, в них происходит превращение электрической энергии во внутреннюю **Q**, мерой которого является работа тока, определяемая по формуле $A = Q = IUt$.

Если потребители в схеме соединены последовательно, то сила тока в них одинакова и для расчета совершенной работы **A** и выделенной теплоты **Q** удобно пользоваться формулой $A = Q = I^2Rt$, а для расчета мощности – $P = I^2R$. При параллельном соединении потребителей, когда напряжение на них одинаково, для расчета более удобны формулы: $A = Q = \frac{U^2}{R}t$ и $P = \frac{U^2}{R}$.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как рассчитать работу, совершенную электрическим током?
2. В каких единицах ее измеряют?
3. По какой формуле можно рассчитать количество теплоты, выделяемое током в проводнике?
4. Как вычислить мощность электрического тока?

5. Что принято за единицу мощности электрического тока?

6. Какой формулой удобно пользоваться при расчете работы и мощности электрического тока, если потребители соединены: а) последовательно? б) параллельно?

7. Назовите примерные мощности широко распространенных бытовых потребителей электрической энергии: осветительных ламп; электрического утюга; электроплитки; электропаяльника.

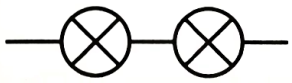
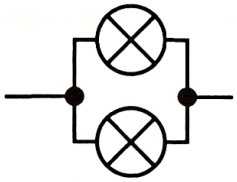
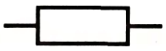
8. Как, зная мощность бытового прибора, вычислить силу тока в нем?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Определите работу и мощность тока в миниатюрной лампе накаливания. Показания приборов и результаты вычислений занесите в первую строку табл. 1.

Таблица 1

Потребители тока	Номинальная мощность $P_н$, Вт	Показания приборов		Вычисления			
		I, A	U, B	P, Вт	A, Q, Дж		
					t=1c	t=1мин	t=1час
							
							
							
							

1. По значениям силы тока и напряжения, указанным на цоколе лампы, определите ту мощность $P_н$, на которую она рассчитана. Эта мощность называется номинальной. Расчет ведите по формуле $P_н = I_н U_н$, где $I_н$ и $U_н$ – максимально допустимые во время длительной работы (номинальные) ток и напряжение.

Примечание. Помните, что превышение номинальной мощности потребителя электрической энергии не допускается — он может выйти из строя!

2. Соберите электрическую цепь по рис. 1.

3. Снимите показания приборов и по ним рассчитайте мощность **P** тока в лампе.

4. Сравните вычисленную мощность **P** лампы с номинальной $\mathbf{P_н}$.

5. Определите работу, которую совершает электрический ток в лампе за 1 секунду, 1 минуту, 1 час.

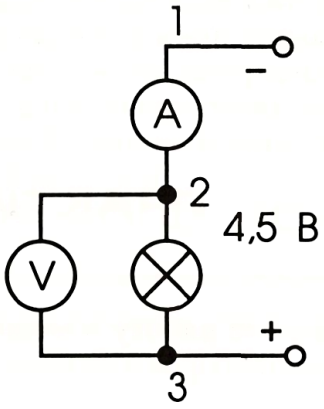


Рис. 1

Задание 2

Определите мощность тока и количество выделившейся теплоты в последовательно и параллельно соединенных лампах. Показания приборов и результаты вычислений занесите во вторую и третью строки табл. 1.

1. Вычислите суммарную номинальную мощность двух ламп.

2. Начертите схему для определения общей мощности: а) двух последовательно соединенных ламп; б) двух параллельно соединенных ламп.

3. Вычислите по показаниям приборов суммарную мощность этих цепей и работу тока в них за 1 секунду, 1 минуту, 1 час.

Задание 3

Повторите исследования задания 1 для резистора сопротивлением 10 Ом и заполните четвертую строку табл. 1. Обратите внимание на то, что во время работы резистор немного нагревается. Почему?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как нужно подключить к источнику питания два одинаковых нагревательных элемента, чтобы они давали наибольшее количество теплоты?

2. Две лампы накаливания МН 3,5 В х 0,3 А и МН 3,5 В х 0,15 А разными сопротивлениями спиралей, но рассчитанные на одинаковое напряжение, соединены сначала последовательно, потом параллельно. Выскажите предположение: одинаковым ли накалом они горят в каждом случае. Свое мнение проверьте экспериментально и объясните наблюдаемый факт.

3. На практике часто приходится включать потребители в цепь с большим напряжением, чем то, на которое они рассчитаны. В таких случаях последовательно с потребителем соединяют ограничительный резистор (рис. 2). На нем падает часть общего напряжения, и этим он предохраняет потребитель от перегрузки (перегорания).

а) Вычислите сопротивление и мощность ограничительного резистора, который нужно включить в цепь последовательно с лампой МН 3,5 В х 0,15 А, если напряжение питания в этой цепи 6 В.

Указание. Для расчета используйте закономерности последовательного соединения потребителей и формулу мощности.

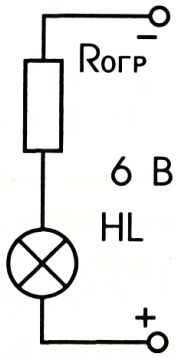


Рис. 2

б) Проверьте Ваши расчеты экспериментом, собрав электрическую цепь по рис. 2.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА

Цель: изучить принцип действия химического источника тока.

Литература: _____

Оборудование: вольтметр лабораторный; пластины металлические размерами 1х3 см из цинка, алюминия, меди, железа; соленый огурец или картофель; соленая вода; лист бумаги; светодиод; соединительные провода — 2 шт.

Краткая теория

В жизни чаще всего используются химические источники тока, называемые гальваническими. Они так названы в честь итальянского анатома Луиджи Гальвани, исследовавшего действие электрического разряда на мышцы и нервы мертвой лягушки.

Однажды он открыл удивительное явление. Ножка лягушки лежала на железной пластине (рис. 1). Гальвани проволочным крючком из меди зацепил за кусок спинного мозга и другим концом провода случайно коснулся железной пластины. При этом мышцы лягушечьей ноги сократились, как от электрического разряда. Он ошибочно подумал, что в мышцах лягушки вырабатывается «животное электричество».

Опытами Гальвани заинтересовался итальянский физик Алессандро Вольта, который обратил внимание на присутствие двух разнородных металлов в опытах Гальвани. В 1800 году после многочисленных экспериментов Вольта изобрел источник тока, названный впоследствии «Вольтов столб». Он состоял из нескольких десятков цинковых и медных кружочков, переложенных смоченными в растворе поваренной соли картонными кружочками. Когда Вольта одной рукой коснулся нижней медной пластины, а другой — верхней цинковой, то испытал сильный электрический удар. Разделение зарядов на положительные и отрицательные в химических элементах происходит за счет химической реакции между разнородными металлами.



Рис. 1

На рис. 2 показан простейший химический элемент. Если в слабый раствор соляной кислоты, налитой в стеклянный стакан, опустить медную и цинковую пластины, то миниатюрная низковольтная лампа накаливания будет светить, сигнализируя о наличии в ней тока.

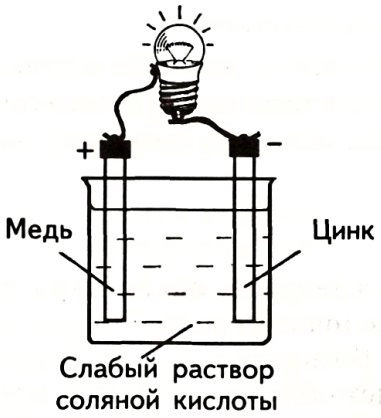


Рис. 2

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Совет по поводу того, где взять разнородные металлы для опытов.

1. Для получения цинковых пластин используйте корпус (стакан) старого гальванического элемента (например, от квадратной батареи), освободив его от содержимого. Для этого распилите его ножовкой по металлу так, как показано на рис. 3 пунктиром. Полученную пластину выпрямите и разрежьте на части размерами 1 х 3 см.

2. Алюминиевые пластины можно получить аналогичным способом из корпусов старых электролитических конденсаторов. В крайнем случае можно использовать куски алюминиевого провода, оголенные от изоляции.

3. Вместо медных пластин можно использовать медьсодержащие монеты или куски медного провода, латунь.

4. Железные пластины можно заменить гвоздями.

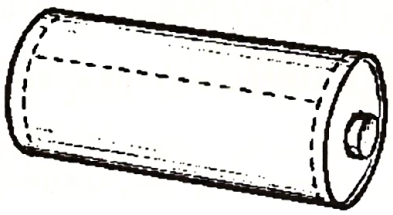


Рис. 3

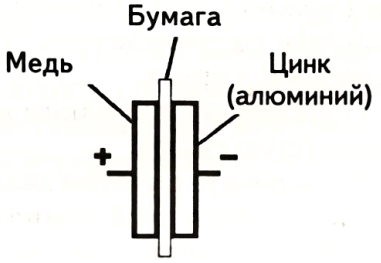


Рис. 4

Задание 1

Изготовьте простейший химический элемент.

1. Кусочек бумаги пропитайте соленой водой (или слюной) и сложите ее между цинковой (или алюминиевой) и медной пластинами (рис. 4).

2. К пластинам подключите выводы вольтметра. Если стрелка вольтметра отклоняется в обратную сторону, смените полярность включения.

3. Измерьте напряжение, даваемое данным источником тока.

4. Определите полярность выводов (где «+», где «–») этого источника тока.

Примечание.

1. Напряжение, даваемое источником тока, Вольта назвал «электродвижущей силой».
2. Демонстрационный гальванометр (на базе амперметра) при подключении вышеописанного источника тока даже «зашкаливает».

Задание 2

Исследуйте, какая пара пластин дает наибольшее напряжение в кислотно-щелочной среде. Результаты опыта занесите в табл. 1.

1. Возьмите соленый огурец (или картофель) и воткните в него пластины (куски) металлов: меди, цинка, алюминия, железа.

2. С помощью вольтметра определите, какая пара пластин дает наибольшее напряжение (электродвижущую силу).

Таблица 1

Металлическая пара	Напряжение, В	Металлическая пара	Напряжение, В
медь – цинк		цинк – алюминий	
медь – алюминий		цинк – железо	
медь – железо		алюминий – железо	

Задание 3

Изготовьте самодельный источник тока типа «Вольтов столб».

1. Возьмите 4 медные пластины (можно медьсодержащие монеты) и 4 цинковые (можно алюминиевые), переложите их листочками бумаги, пропитанными соленым раствором (рис. 5). Проследите, чтобы бумаги разных элементов не касались друг друга.

2. Подключите к крайним выводам вольтметр и измерьте напряжение (электродвижущую силу).

3. Подключите с учетом знаков к крайним пластинам светодиод. Свечение светодиода в затемненной комнате заметно уже при батарее из трех элементов, но лучше всего их число довести до 5–6 шт. .

Примечание. Светодиод может светить непрерывно несколько часов подряд. Помните, что лампа накаливания от этого источника питания светить не будет, так как пропитанная в растворе бумага имеет большое сопротивление.

Задание 4

Составьте батарею из самодельных элементов.

1. Изготовьте элементы из 4-х соленых огурцов (или картофелин), вставив в них медные и цинковые пластины. Медь является положительным «+» электродом, цинк отрицательным «–».

2. Надежно соедините разноименные электроды элементов медными проводами, как показано на рис. 6. Подключите к свободным выводам светодиод и наблюдайте его свечение.

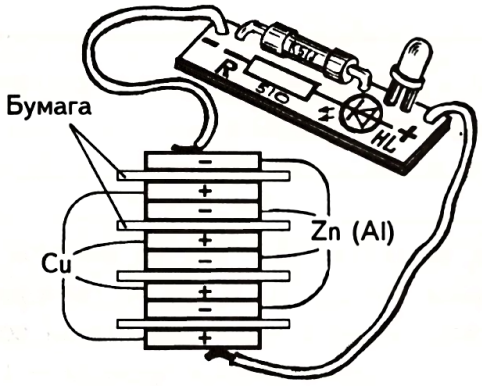


Рис. 5

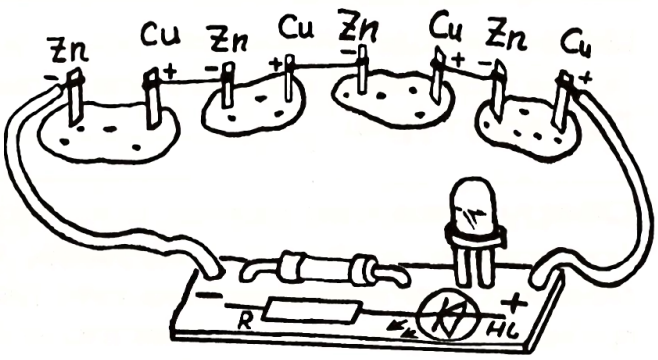


Рис. 6

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните причину появления напряжения на выводах химического источника тока, изображенного на рис. 2.

2. Анализируя опыты Гальвани, Вольта на свой язык положил серебряную монету, а под язык – железную пластину. Когда он соединил монету и пластину куском провода, то ощутил кисловатый вкус. Объясните его происхождение.

3. Возьмите различные овощи и корнеплоды. Вставляя в них медные и цинковые пластины, исследуйте, в каких из них возникает наибольшая электродвижущая сила.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Цель: наблюдать явление электролиза газа и меди; ознакомиться с принципом зарядки аккумулятора; наблюдать явление гальваностегии.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; сосуд емкостью 100—150 мл высотой 6—7 см; угольный электрод — 2 шт.; гвоздь; лампа МН 2,5 В х 0,068 А; светодиод; амперметр; вольтметр; поваренная соль; раствор медного купороса; стакан воды; пробирка; коробка спичек; источник тока на 4—6 В; соединительные провода — 4 шт.

Примечания: 1. Обратите внимание на то, что в работе используется лампа накаливания МН 2,5 В х 0,068 А вместо предлагаемой в других работах лампы МН 6,3 В х 0,3 А.

2. При отсутствии стандартных угольных электродов и держателей для них в работе можно использовать угольные электроды от старых гальванических элементов (например, от квадратной батареи), к наконечникам которых припаивается многожильный монтажный изолированный провод длиной 20—25 см.

3. В качестве сосуда можно использовать отрезанную нижнюю часть литровых синтетических бутылок из-под соков или стеклянную банку высотой около 7 см.

4. Угольные стержни устанавливаются в пластмассовых пластинах, расположенных над сосудом (рис. 1). При использовании в качестве пластины фанеры или ДВП ее нужно покрыть лаком или краской во избежание промокания. Пластина содержит два одинаковых отверстия для установки в них электродов и одно отверстие большего размера для пробирки.

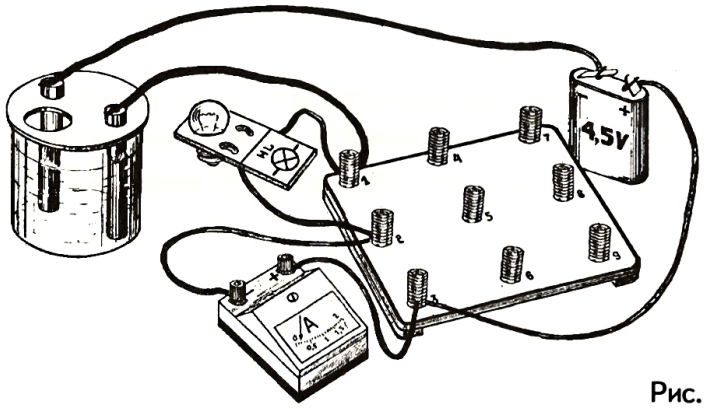


Рис. 1

Краткая теория

В отличие от металлов, где носителями тока являются электроны, прохождение тока в электролитах (растворах солей, кислот и оснований) сопровождается химическими действиями. Это объясняется тем, что в них ток создается атомами или ионами (группой атомов). Поэтому при протекании тока через растворы электролитов происходит перенос вещества к электродам. Это явление называется **электролизом**. В промышленности электролитическим способом получают медь, алюминий, магний, бериллий и т. д.

На явлении электролиза основана **гальваностегия** – покрытие металлов для предохранения от коррозии трудно окисляемыми металлами, например, никелем или хромом. Гальваностегия также применяется для покрытия ювелирных изделий тончайшими слоями серебра и золота.

Для питания разнообразных потребителей электроэнергии используются **аккумуляторы**. Для зарядки аккумулятор подключают к источнику постоянного тока. При этом в результате химических реакций один электрод аккумулятора заряжается положительно, другой – отрицательно. Заряженный аккумулятор некоторое время используется как самостоятельный источник питания. Достоинство аккумуляторов заключается в том, что их можно перезаряжать многократно.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какими действиями сопровождается прохождение тока по проводникам?
2. Какими действиями сопровождается прохождение тока по электролитам?
3. Опишите явление электролиза и приведите примеры его использования в промышленности.
4. Чем отличается принцип работы аккумулятора от принципа работы гальванических элементов?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Наблюдайте выделение газов на электродах.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1, где угольные электроды погружены в чистую воду, лучше всего в дистиллированную.
2. Включите цепь. Ответьте, почему лампа не горит, амперметр не показывает наличие тока.
3. В воду добавьте немного соли (2–3 г) и, помешивая, следите за лампочкой и амперметром. Объясните наблюдаемое явление.
4. Наблюдайте в течение 1–2 мин за выделением пузырьков газа на электродах. На катоде выделяется водород, на аноде – хлор. По интенсивности образования пузырьков определите, какого газа выделяется больше.
5. Выполните задание:

а) убедитесь в выделении хлора по характерному запаху, присутствующему над анодом;

б) водород накопите в пробирке, установленной вверх дном над катодом так, чтобы ее отверстие на 3–5 мм оказалось под водой (рис. 2). Обратите внимание, что легкий водород, накапливаясь в пробирке, вытесняет из него воздух. Через 4–5 минут пробирку, не переворачивая, снимите с катода и поднесите к ней зажженную спичку. Объясните наблюдаемое явление.

Внимание! Выполняя это задание, будьте осторожны при обращении со спичками!

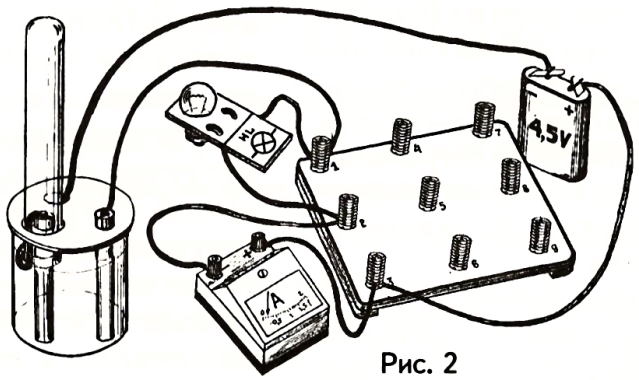


Рис. 2

Задание 2

Изучите принцип работы газового аккумулятора.

1. Не разбирая установку задания 1, при отключенной цепи выводы электродов на 15–20 секунд замкните проводом, не вынимая их из раствора соли.

2. Включите к электродам вольтметр в той или иной полярности и убедитесь в отсутствии напряжения между ними.

3. Включите цепь. При этом на электродах выделяются газы, лампа горит, амперметр показывает наличие тока. Через 1–2 мин выключите цепь и вольтметром измерьте напряжение между электродами. Определите полярность зарядки газового аккумулятора. Убедитесь, что угольный электрод, включенный к положительному полюсу источника тока, заряжается положительно, включенный к отрицательному – отрицательно.

4. Разрядите аккумулятор, подключив непосредственно к угольным электродам лампу. Она вспыхивает на мгновение и гаснет. Кстати, светодиод, включенный с учетом полярности, горит несколько минут. Попробуйте.

5. Повторите опыт пунктов 3 и 4, изменив направление тока (полярность включения источника тока) в цепи.

6. Ответьте: 1) как включается аккумулятор (автомобильный, мотоциклетный и т. д.) к источнику тока при зарядке? 2) в чем заключается преимущество аккумуляторов перед гальваническими источниками тока?

Задание 3

Наблюдайте явление электролиза меди.

1. Угольные электроды, использованные в предыдущих заданиях, выньте из раствора соли, ополосните чистой водой и погрузите в сосуд с раствором медного купороса.

2. Соберите цепь по рис. 1 и включите ее. Следите за лампой и амперметром. Объясните наблюдаемое явление.

3. Через 1–2 мин электроды выньте из раствора и рассмотрите их. Какой электрод (анод или катод) покрылся слоем меди? Какой знак заряда имеют ионы меди?

4. Погрузите электроды снова в раствор медного купороса и пропустите ток в обратном направлении в течение 1–2 мин. При этом, вынимая угольные стержни из раствора, следите за их состоянием. Как изменился результат опыта? Объясните наблюдаемое явление.

Задание 4

Наблюдайте явление гальваностегии.

1. Вместо очищенного от меди угольного электрода опустите в раствор медного купороса металлический стержень, например, железный гвоздь. В качестве анода возьмите угольный стержень, на котором остался слой меди в результате опытов задания 3.

2. Включите электрическую цепь. Через 1–2 мин выключите цепь и рассмотрите электроды, вынув их из раствора. Объясните, как и почему изменились поверхности электродов.

Примечание. После опытов снимите остатки меди с угольных электродов, протирая их тряпкой (бумагой).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №20

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

Цель: научиться находить значения ЭДС; научиться находить значения внутреннего сопротивления источника тока.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; лабораторные амперметр и вольтметр; резисторы 10 Ом и 20 Ом; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; источник тока 4—6 В; соединительные провода — 7 шт.

Краткая теория

Электродвижущая сила — одна из основных характеристик любого источника тока. Ее обозначают ЭДС или буквой $\mathcal{E}$ и измеряют в вольтах. Она численно равна работе, которую могут совершать сторонние силы, перемещая единичный положительный заряд по замкнутой цепи: $\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$, где **q** — заряд в Кл, $A_{ст}$ — работа сторонних сил в Дж. Сторонними силами могут быть любые силы, за исключением кулоновских (электрических).

На рис. 1 показана полная электрическая цепь. Она состоит из источника тока и потребителя тока (лампы). Полная (замкнутая) цепь состоит из двух участков: внутреннего и внешнего. На внутреннем участке цепи неэлектрическая (в данном случае химическая) энергия производит работу по разделению разноименных зарядов. На одном электроде создается положительный (высший) потенциал «+», а на другом — отрицательный (низший) потенциал «—».

Если к источнику питания нагрузка (внешняя цепь) не подключена, то разность потенциалов (по-другому напряжение) между электродами равна электродвижущей силе источника: $U = \mathcal{E}$. Именно это напряжение (ЭДС) наносится на корпусах элементов и батарей: 1,5 В; 4,5 В; 9 В.

При подключении к источнику питания внешней цепи (на рис. 1 лампы, на рис. 2 резистора) в ней возникает электрическое поле, которое создает направленное движение зарядов — электрический ток.

Итак, на внутреннем участке цепи ток течет за счет неэлектрической энергии (в гальванических элементах за счет химической энергии), а на внешнем — за счет электрической энергии.

Обозначим (рис. 2):

R — сопротивление внешнего участка;

r – сопротивление внутреннего участка.

Для любой замкнутой цепи, в том числе изображенных на рисунках 1 и 2, закон Ома связывает силу тока **I** в ней, ЭДС **ε** и полное сопротивление **R + r;**

он имеет вид: $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$.

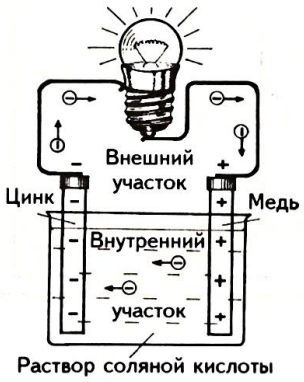


Рис. 1

Из этого выражения следует, что ЭДС источника тока равна **ε = I(R+r)**. Если раскрыть скобки, получим: **ε = IR+Ir**. Так как **U = IR**, то это значит, что ЭДС равна сумме падений напряжений на внешнем (**IR**) и на внутреннем (**Ir**) участках электрической цепи.

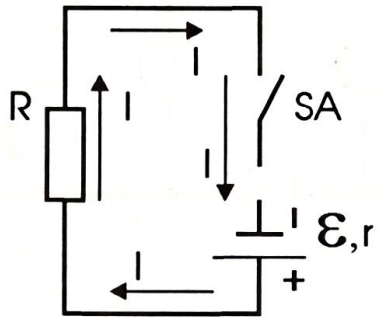


Рис. 2

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Из каких участков состоит замкнутая электрическая цепь?
2. Из чего складывается ее сопротивление?
3. Что характеризует ЭДС? Чему она равна?
4. Сформулируйте закон Ома для замкнутой цепи. Чем он отличается от закона Ома для участка цепи?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Определите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 3, *а, б.*
2. Определите ЭДС **ε** источника тока по показанию вольтметра при отключенной внешней цепи.
3. Включите цепь и измерьте напряжение **U** на внешнем участке.
4. Вычислите внутреннее сопротивление **r** источника тока на основании закона Ома для замкнутой цепи.
5. Вычислите ток короткого замыкания $I_{кз}$ источника тока, когда сопротивление внешней цепи равно 0.
6. Объясните, в чем заключается опасность короткого замыкания для источника питания.

Таблица 1

ε, В	U, В	I, А	r, Ом	$I_{кз}$, А

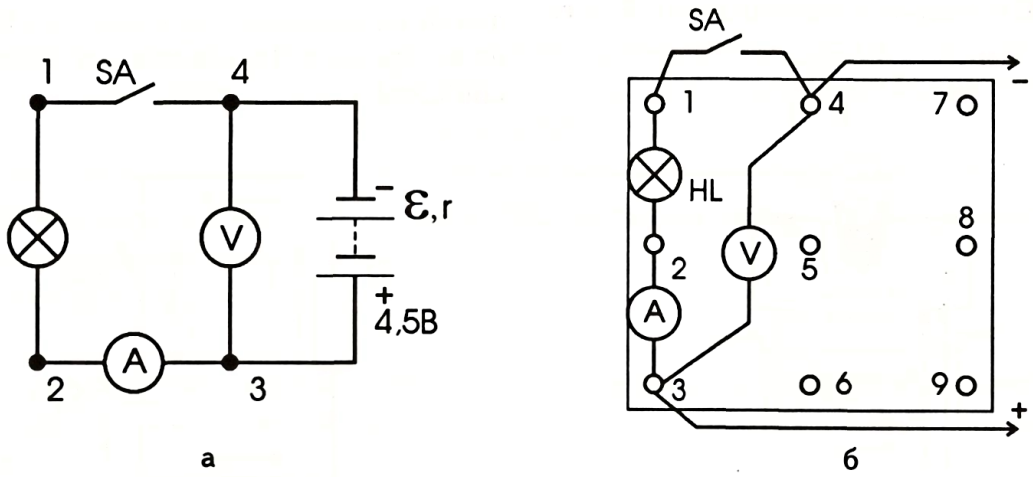


Рис. 3

Задание 2

Определите внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 2.

Таблица 2

Результаты измерений					Результаты вычислений		
I_1, А	U_1, В	I_2, А	U_2, В	$\varepsilon_{изм}$, В	r, Ом	ε, В	$\varepsilon_{изм}$-ε, В

1. Соберите электрическую цепь по рис. 4. Она состоит из последовательно соединенных между собой резистора сопротивлением **R** = 10 Ом и внутреннего участка источника тока сопротивлением **r**.

2. Включите ее и произведите измерения силы тока I_1 и напряжения U_1 на внешнем участке.

3. Включите в цепь вместо резистора 10 Ом резистор сопротивлением 20 Ом и произведите измерения I_2 и U_2.

4. Измерьте ЭДС $\varepsilon_{изм}$, присоединив вольтметр к полюсам источника тока при отключенной внешней цепи.

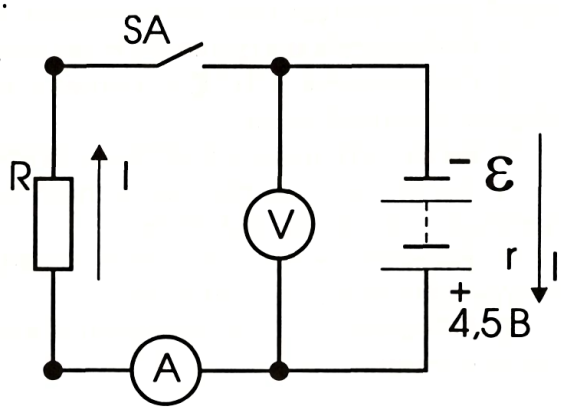


Рис. 4

Примечание. При подключении вольтметра к источнику тока при отключенной внешней цепи его показание будет отличаться от ЭДС источника на величину падения напряжения на самом вольтметре: $U_В = IR_В = \frac{\varepsilon}{R_В + r} R_В$, где $R_в$ – сопротивление вольтметра.

Разница показаний будет тем меньше, чем $R_В > r$.

5. Учитывая, что во время опыта ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление остаются без изменения, используя систему уравнений на основе закона Ома для замкнутой цепи $\varepsilon = U_1 + I_1 r$, $\varepsilon = U_2 + I_2 r$, рассчитайте величины r и ε.

6. Найдите разность $\Delta\varepsilon$ между измеренным и вычисленным значениями ЭДС.

Задание 3

Рассчитайте коэффициент полезного действия замкнутой электрической цепи.

Замкнутая цепь обладает коэффициентом полезного действия (сокращенно КПД, обозначают η), показывающим, какую долю составляет работа электрического тока $A_п$ по перемещению заряда на внешнем участке цепи от полной работы $A_з$ по перемещению этого же заряда по всей замкнутой цепи. КПД можно вычислить по любой из приведенных ниже формул:

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} 100\%; \qquad \eta = \frac{R}{R + r} 100\%; \qquad \eta = \frac{U}{\varepsilon} 100\%.$$

По данным табл. 1 и 2 вычислите КПД электрических цепей, с которыми Вы работали. Они изображены на рис. 3 и 4. Сравните их.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяют на практике ЭДС источника тока?
2. Как ее рассчитывают?
3. Из чего складывается внутреннее сопротивление: а) гальванического элемента? б) сетевого блока питания? в) источника питания, в качестве которого выступает розетка осветительной сети?
4. Как отличаются друг от друга ЭДС и внутреннее сопротивление «свежей» и «севшей» батарей элементов?
5. В чем заключается опасность короткого замыкания для источников питания?

Задание 2

Определите сопротивление амперметра при других параметрах внешней цепи. Результаты занесите во вторую и третью строки табл. 1.

1. Измените нагрузку в цепи: в схемах на рис. 4 и 5 вместо одной лампы включите две параллельно.
2. Повторите операции, указанные в пунктах 2–5 задания 1.
3. Повторите этот же эксперимент, используя в качестве нагрузки две последовательно соединенные лампы.
4. По результатам трех опытов вычислите среднее значение сопротивления амперметра – $R_{a.ср.}$.

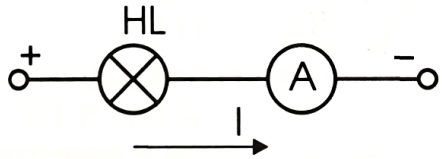


Рис. 4

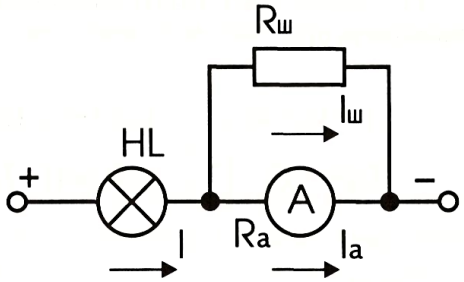


Рис. 5

Таблица 1

№ опыта	Внешняя цепь	I, A	I_a, A	$R_ш$, Ом	R_a, Ом	$R_{a.ср}$, Ом
1	1 лампа					
2	2 лампы параллельно					
3	2 лампы последовательно					

Задание 3

Определите сопротивление неизвестного шунта, в качестве которого возьмите медный провод диаметром 0,15–0,3 мм, длиной 10–20 см.

1. Из формулы (1) выведите формулу для расчета сопротивления шунта.
2. Воспользуйтесь в качестве известной величины ранее найденным сопротивлением амперметра $R_{a.ср.}$.
3. Недостающие величины найдите путем измерения на установках, собранных по схемам на рис. 4 и 5.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменяет амперметр параметры электрической цепи (сопротивление, силу тока), в которую он включен?
2. Даны два амперметра. Сопротивление первого R_1, второго R_2, причем $R_2 > R_1$. Какой из приборов предпочтительнее? Почему?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
№22

РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА

Цели: научиться использовать амперметр для измерения большей силы тока, чем предел его измерения; вычислить коэффициент расширения предела измерения; рассчитать сопротивление внешнего шунта к амперметру.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; амперметр лабораторный; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 3 шт.; шунт с известным сопротивлением (0,01–0,03) Ом; шунт с неизвестным сопротивлением (медный провод диаметром 0,1–0,3 мм, длиной 10–20 см); источник питания на 4–6 В; соединительные провода – 4 шт.

Краткая теория

Некоторые сведения об устройстве и принципе действия амперметра изложены в краткой теории к лабораторной работе № 21. Напоминаем, что шунт, т. е. небольшое сопротивление, включенное параллельно амперметру, расширяет предел измерения прибора. Число, показывающее, во сколько раз предел измерения амперметра с внешним шунтом больше его предела измерения без шунта, называют коэффициентом расширения предела измерения амперметра; он обозначается **n**. Его также можно определить как отношение силы тока **I**, измеренной амперметром без шунта, к показанию амперметра с шунтом I_A при измерении этого же тока: $n = \frac{I}{I_A}$.

Для вывода этой формулы рассмотрим схему, показанную на рис. 1. В ней к амперметру подключен шунт $R_ш$.

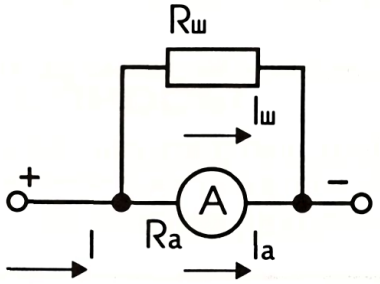


Рис. 1

Введем следующие обозначения:
I – полная сила тока в цепи;
I_A – сила тока через амперметр;
$I_ш$ – сила тока через шунт;
U_A – напряжение на амперметре;
$U_ш$ – напряжение на шунте;
R_A – сопротивление амперметра;
$R_ш$ – сопротивление шунта.

На основании закономерностей параллельного соединения проводников можно записать:

$$\left.\begin{array}{l} I = I_A + I_Ш \\ U_A = U_Ш \end{array}\right| \rightarrow \left.\begin{array}{l} I_Ш = I - I_A \\ I_A R_A = I_Ш R_Ш \end{array}\right| \rightarrow I_A R_A = (I - I_A)\cdot R_Ш,$$

откуда $\dfrac{I}{I_A} = \dfrac{R_A}{R_Ш} + 1 = n$

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какую роль играет встроенный вовнутрь амперметра шунт?
2. Что такое цена деления прибора? Как ее можно увеличить?
3. Для чего иногда к амперметру подключают внешний шунт?
4. Что такое коэффициент расширения предела измерения амперметра, и по каким формулам его рассчитывают?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Найдите коэффициент расширения предела измерения амперметра. Результаты опытов и вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2 и определите силу тока I в цепи.
2. Подключите параллельно к амперметру шунт с известным сопротивлением (рис. 3) и измерьте по показанию амперметра силу тока I_A, протекающего через прибор.
3. Определите, во сколько раз увеличился предел измерения амперметра: $n = \dfrac{I}{I_A}$.
4. Опыт повторите еще два раза при различных силах тока I и I_A, изменив для этого нагрузку включением двух параллельно и двух последовательно соединенных ламп вместо одной.

Таблица 1

№ опыта	I, A	I_A, A	n	$n_{ср}$
1				
2				
3				

5. По результатам трех опытов вычислите среднее значение коэффициента расширения предела измерения амперметра $n_{ср}$.

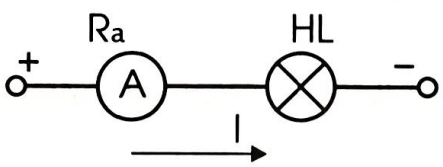


Рис. 2

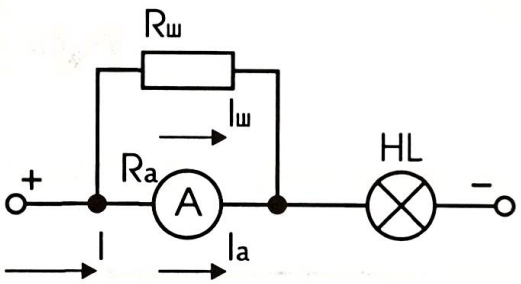


Рис. 3

Задание 2

Проградуируйте шкалу амперметра с внешним шунтом и измерьте полученным прибором силу тока.

1. Наложите на защитное стекло шкалы амперметра бумагу, вырезанную так, чтобы были видны ее деления и цифры около них. Рядом с делениями проставьте новые цифры, соответствующие показаниям прибора – амперметра с шунтом.

2. Соберите электрическую цепь из трех параллельно соединенных ламп и измерьте силу тока в ней амперметром с шунтом, пользуясь изготовленной Вами шкалой.

Задание 3

Определите сопротивление шунта к амперметру.

1. Выведите формулу для расчета сопротивления шунта.

2. В качестве шунта с неизвестным сопротивлением используйте медный провод диаметром 0,15–0,3 мм, длиной 10–20 см.

3. Составьте план эксперимента и Ваших действий. Выполните их.

4. Значение сопротивления амперметра R_a, если оно потребуется, возьмите из предыдущей лабораторной работы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как из лабораторного амперметра сделать двухпредельный амперметр, цены делений которых отличаются в два раза?

2. Чем отличаются электрические схемы амперметра, миллиамперметра и микроамперметра друг от друга?

3. Как сделать амперметр из вольтметра магнитоэлектрической системы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №23

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЛЬТМЕТРА

Цель: изучить устройство вольтметра магнитоэлектрической системы и определить его сопротивление.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; вольтметр лабораторный; резистор добавочный на 10 кОм; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 2 шт.; источник питания на 4–6 В; соединительные провода - 4 шт.

Краткая теория

Вольтметр магнитоэлектрической системы похож на амперметр той же конструкции. Отличие от амперметра заключается в том, что дополнительный резистор $r_д$ обладает большим сопротивлением и включается внутри корпуса последовательно с катушкой. В общем виде устройство вольтметра показано на рис. 1. Сопротивление катушки $R_К$ и добавочного резистора $r_д$, складываясь, образуют сопротивление вольтметра $R_В = R_К + r_д$.

Вольтметр включают параллельно участку цепи сопротивлением R, на котором нужно измерить напряжение (рис. 2). Поэтому чем больше сопротивление вольтметра $R_в$ сопротивления измеряемого участка R, тем точнее показание вольтметра и тем меньше искажений он вносит в работу цепи. Если к вольтметру подключить последовательно добавочное внешнее сопротивление $R_д$ (рис. 3), то на основании закономерностей параллельного и последовательного соединений можно рассчитать его сопротивление $R_в$. Покажем, как это делается. Рассмотрим схему на рис. 3.

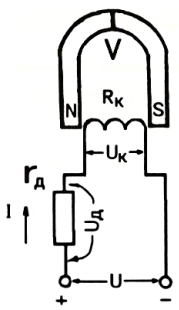


Рис. 1

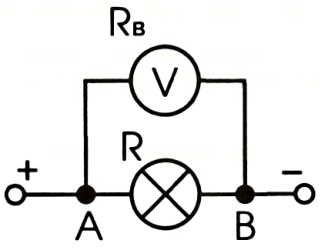


Рис. 2

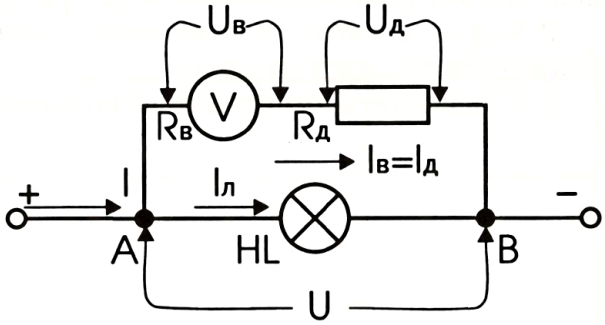


Рис. 3

Введем следующие условные обозначения:

$I_в$ – сила тока через вольтметр;

$I_д$ – сила тока через добавочное сопротивление;

U – напряжение на участке АВ;

$U_в$ – показание вольтметра с добавочным сопротивлением;

$U_д$ – напряжение на добавочном сопротивлении;

$R_в$ – сопротивление вольтметра;

$R_д$ – сопротивление внешнего добавочного резистора.

$$\left.\begin{array}{l} U = U_в + U_д \\ I_в = I_д \end{array}\right| \rightarrow \left.\begin{array}{l} U_д = U - U_в \\ \dfrac{U_в}{R_в} = \dfrac{U_д}{R_д}. \end{array}\right| \rightarrow \frac{U_в}{R_в} = \frac{U - U_в}{R_д}$$

откуда $R_в = R_д \dfrac{U_в}{U - U_в}$

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как устроен вольтметр магнитоэлектрической системы?
2. Чем вольтметр отличается от амперметра?
3. По какой формуле можно вычислить сопротивление вольтметра? Выведите ее.
4. Как включают вольтметр в электрическую цепь постоянного тока?
5. Как влияет включение вольтметра на параметры электрической цепи, в которую он включен?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Определите сопротивление вольтметра. Результаты измерений и вычислений занесите в первую строку табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Внешняя цепь	U, В	$R_д$, Ом	$U_в$, В	$R_в$, Ом	$R_{в.ср}$, Ом
1	1 лампа					
2	2 лампы параллельно					
3	2 лампы последовательно					

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2. В ней лампа играет роль нагрузки исследуемого участка АВ.
2. Измерьте напряжение U на этом участке АВ.

3. Возьмите добавочный резистор и по маркировке на корпусе определите его сопротивление $R_д$.

4. Измерьте напряжение $U_в$ на прежнем участке АВ, включив последовательно с вольтметром добавочный резистор $R_д$ (рис. 3).

5. Рассчитайте сопротивление вольтметра $R_в$.

Задание 2

Определите сопротивление вольтметра при других сопротивлениях участка АВ. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

1. Измените нагрузку: вместо одной лампы в схемах на рис. 2 и 3 включите две параллельно.

2. Повторите действия, указанные в пунктах 2–5 задания 1.

3. Проведите этот же эксперимент, используя в качестве нагрузки две последовательно соединенные лампы.

4. По трем полученным результатам $R_в$ вычислите среднее значение сопротивления вольтметра $R_{в\,ср}$.

Задание 3

Рассчитайте относительное входное сопротивление вольтметра $R_{отн.\,вх.}$.

Эта величина характеризует качество вольтметра и равна сопротивлению прибора, приходящемуся на 1 В измеряемого вольтметром напряжения. Ее вычисляют по формуле $R_{отн\,вх} = \frac{R_{в\,ср}}{U_{пред}}$, где $U_{пред}$ – предел измерения вольтметра. Чем больше относительное входное сопротивление вольтметра, тем точнее производимые им измерения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Имеется два вольтметра. Входное сопротивление первого R_1, второго R_2; причем $R_1 > R_2$. Какой из них предпочтительнее для измерения напряжения?

2. Что показывают на рис. 4 амперметр и вольтметр?

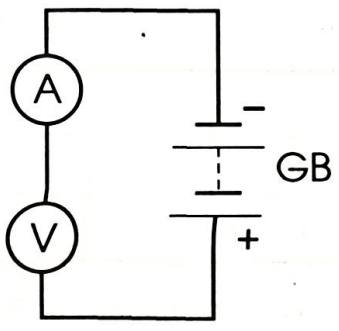


Рис. 4

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№24

РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛА ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТМЕТРА

Цели: научиться использовать вольтметр для измерения большего напряжения, чем предел его измерения; вычислить коэффициент расширения предела его измерения; рассчитать значение добавочного сопротивления к вольтметру.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; вольтметр лабораторный; добавочный резистор сопротивлением 10 кОм; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 2 шт.; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 4 шт.

Краткая теория

Некоторые сведения об устройстве и принципе действия вольтметра изложены в описании к предыдущей лабораторной работе. Напоминаем, что для расширения предела измерения вольтметра последовательно с ним включают внешнее добавочное сопротивление. Число, показывающее, во сколько раз предел измерения вольтметра с добавочным сопротивлением больше его предела измерения без него, называют коэффициентом расширения предела измерения вольтметра. Его также можно определить как отношение напряжения **U**, измеряемого вольтметром без добавочного сопротивления, к показанию вольтметра $\mathbf{U_в}$ с добавочным сопротивлением при измерении этого же напряжения: $n = \frac{U}{U_в}$.

Выведем эту формулу. Для этого составим схему, в которой последовательно с вольтметром включен добавочный резистор $\mathbf{R_д}$, а нагрузкой является лампа (рис. 1).

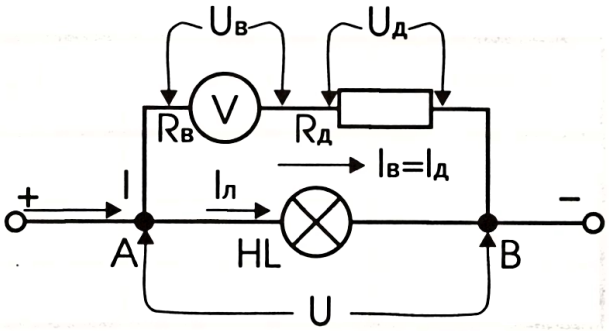


Рис. 1

Введем следующие обозначения:

U – напряжение на участке АВ;

$U_в$ – показание вольтметра с добавочным сопротивлением $R_д$;

$I_в$ – сила тока, протекающего через вольтметр;

$I_д$ – сила тока, протекающего через добавочное сопротивление $R_д$;

$R_в$ – сопротивление вольтметра.

На основании закономерностей последовательного и параллельного соединений проводников можно записать:

$$\left.\begin{array}{l} U = U_в + U_д \\ I_в = I_д \end{array}\right| \rightarrow \left.\begin{array}{l} U_д = U - U_в \\ \dfrac{U_в}{R_в} = \dfrac{U_д}{R_д} \end{array}\right| \rightarrow \frac{U_в}{R_в} = \frac{U}{R_д} - \frac{U_в}{R_д} \rightarrow \frac{1}{R_в} = \frac{U}{R_д U_в} - \frac{1}{R_д},$$

откуда $n = \dfrac{U}{U_в} = \dfrac{R_д}{R_в} + 1$

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как устроен вольтметр магнитоэлектрической системы?
2. Какую роль играет встроенный вовнутрь вольтметра резистор $r_д$?
3. Как расширить предел измерения вольтметра?
4. Что такое коэффициент расширения предела измерения вольтметра?
5. По какой формуле его можно рассчитать?
6. Как вывести эту формулу?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Определите коэффициент расширения предела измерения вольтметра. Показания вольтметра и результаты вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	U, А	$U_В$, А	n	$n_{ср}$
1				
2				
3				

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2 и измерьте напряжение U на участке АВ.
2. Измерьте напряжение $U_в$ на этом же участке, включив последовательно с вольтметром добавочное сопротивление $R_д$ (см. рис. 1).
3. Определите коэффициент расширения предела измерения вольтметра.

4. Опыт повторите еще два раза, изменяя сопротивление внешней цепи включением двух параллельно соединенных и двух последовательно соединенных ламп вместо одной (рис. 1 и 2).

5. По результатам трех опытов вычислите среднее значение коэффициента расширения предела измерения вольтметра $n_{ср}$.

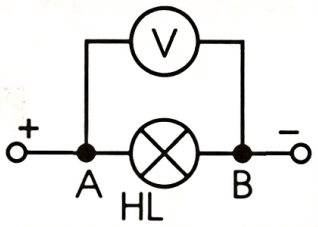


Рис. 2

Задание 2

Проградуируйте шкалу вольтметра с внешним добавочным сопротивлением и измерьте полученным прибором напряжение.

1. Положите на защитное стекло шкалы вольтметра бумагу, вырезанную так, чтобы были видны ее деления и цифры возле них. Рядом с делениями проставьте новые цифры, соответствующие новым показаниям прибора — вольтметра с добавочным сопротивлением.

2. Измерьте вольтметром с новой шкалой напряжение между полюсами источника тока.

Задание 3

Определите сопротивление добавочного резистора к лабораторному вольтметру, необходимого для увеличения предела его измерения до 20 В.

1. Выведите формулу для расчета сопротивления добавочного резистора.

2. Составьте план опыта и Ваших действий. Осуществите их.

3. Если понадобится значение $R_в$ — сопротивления вольтметра — возьмите его из предыдущей лабораторной работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№25

СБОРКА И ИСПЫТАНИЕ МОДЕЛИ ОММЕТРА

Цели: изучить устройство и принцип работы омметра; собрать и испытать модель омметра.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; омметр школьный; миллиамперметр на 5/50 мА; резисторы: 100 Ом – 2 шт.; 200 Ом – 2 шт.; 300 Ом – 2 шт.; переменный резистор 1 кОм; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Омметр – это электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения электрического сопротивления. Условное обозначение омметра приведено на рис. 1. Модель омметра можно составить по принципиальной схеме, показанной на рис. 2, *а*. Он состоит из источника тока **GB**, электроизмерительного прибора **PA** и последовательно соединенных резисторов: постоянного **R1** и переменного **R2**.

Суммарное сопротивление резисторов **R1** и **R2** определяет максимальное отклонение стрелки измерительного прибора. «Нуль» омметра находится у крайнего правого деления шкалы прибора. Сопротивление омметра можно вычислить по закону Ома:

$$R1+R2=\frac{U_{ПИТ}}{I_{ПРЕД}},$$ где $U_{пит}$ – напряжение источника питания, $I_{пред}$ – предельно допустимый ток, который может идти по прибору.

От величины резистора **R1** зависит предел измерения омметра; переменный резистор **R2** корректирует установку стрелки прибора на нуль.

Омметр имеет щупы (штекеры и зажимы типа «крокодил») ***а*** и ***б*** для подключения к исследуемым участкам. При подключении ко входу омметра участка R_x (рис. 2) полное сопротивление цепи увеличится на сопротивление этого участка. Сила тока в цепи прибора уменьшится, и стрелка уже не отклонится до конца шкалы. Она остановится около какого-то деления.

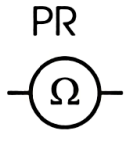


Рис. 1

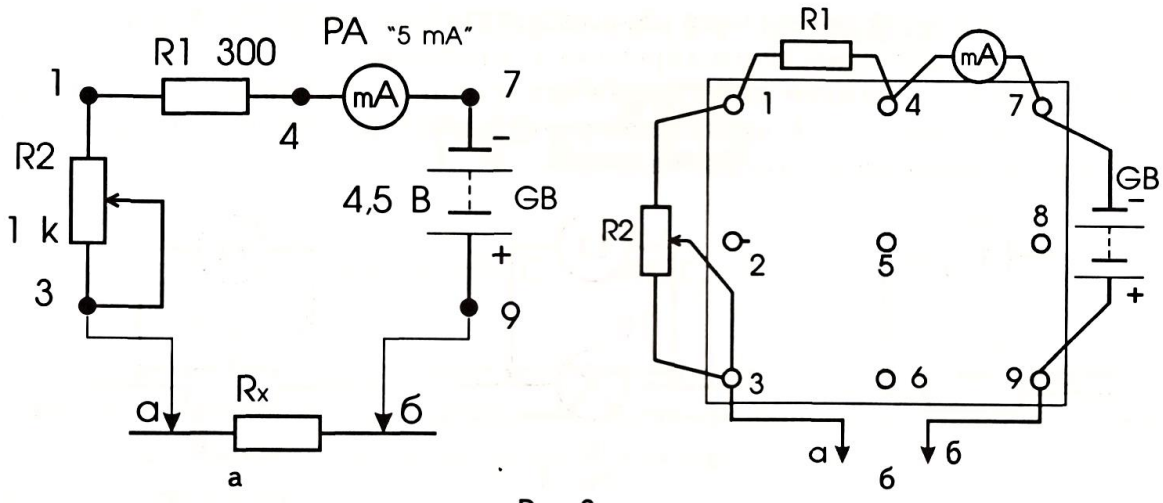


Рис. 2

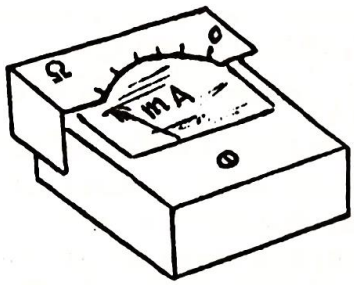


Рис. 3

Подключая к прибору по очереди несколько резисторов, сопротивления которых известны, можно проградуировать шкалу прибора в единицах сопротивления, например, в омах, килоомах или мегаомах. Для этого около делений, где каждый раз останавливается стрелка, ставят цифры, равные значениям сопротивлений включенных резисторов (рис. 3).

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Каково назначение омметра?
2. Как устроен омметр?
3. Почему «нуль» омметра на шкале прибора находится справа?
4. Какую роль играет переменный резистор **R2** в электрической схеме омметра?
5. Как градуируют шкалу омметра?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Ознакомьтесь с омметром.

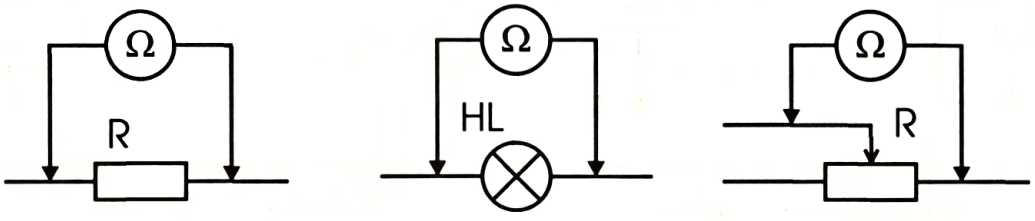
1. Возьмите омметр и ознакомьтесь с ним. Обратите внимание, что он имеет источник питания из одного или нескольких гальванических элементов.
2. Выберите предел измерения и, замкнув щупы друг с другом, установите стрелку прибора на нулевое положение.
3. Используйте омметр для:

а) измерения сопротивления разных резисторов (рис. 4, *а*);

б) проверки целостности нити накала лампы (рис. 4, *б*);

в) проверки целостности изолированных проводов.

4. Подключите омметр между движком и одним из крайних выводов переменного резистора (рис. 4, *в*). Вращая ручку резистора, следите за показанием омметра. Опишите наблюдаемое явление.



а б в

Рис. 4

Задание 2

Соберите конструкцию омметра и проградуируйте его шкалу.

1. Соберите электрическую цепь омметра по рис. 2 (*а, б*). Лабораторный миллиамперметр включите на предел измерения «5 мА».

2. На защитное стекло прибора наложите вырезанную из бумаги заготовку новой шкалы; сделайте ее такой, чтобы сверху виднелся конец стрелки (рис. 3, *в*).

3. Замкните накоротко свободные концы щупов, соединив их между собой. Переменным резистором **R2** установите предельное (максимальное) отклонение стрелки измерительного прибора. На заготовке шкалы против этого положения стрелки отметьте «0» шкалы прибора.

4. Подключайте к щупам поочередно резисторы сопротивлениями 100 Ом, 200 Ом, 300 Ом и отмечайте на шкале каждый раз положение стрелки; рядом ставьте значение сопротивления. Таким образом проградуируйте шкалу омметра до 1 кОм.

Примечание. Сопротивления больше 300 Ом составьте последовательным соединением других резисторов из данного Вам набора.

Задание 3

Выполните пункты задания 1 сконструированным Вами омметром.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№26

ИЗУЧЕНИЕ АВОМЕТРА

Цели: познакомиться с универсальным электроизмерительным прибором; научиться использовать авометр для измерения силы тока, напряжения, сопротивления.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; авометр АВО–63; набор из 5–10 резисторов, сопротивления которых выражены в омах, килоомах, мегаомах; набор проводов с обрывом внутри изоляции и без; лампа МН 6,3 Вх0,3 А; источники постоянного и переменного напряжений на 4–12 В.

Краткая теория

Авометр – это комбинированный многофункциональный прибор, предназначенный для измерения силы тока, напряжения и сопротивления. Он называется ампервольтомметром, сокращенно – по первым буквам этих слов – **АВОметром**. Этот прибор удобен тем, что компактно совмещает в себе три измерительных прибора, вследствие чего получил широкое распространение на практике.

Упрощенная принципиальная схема прибора приведена на рис. 1. Она содержит миллиамперметр постоянного тока PA, постоянные резисторы **R1** и **R3**, переменный резистор **R2**, два диода **VD1** и **VD2** источник питания **GB**, гнезда (клеммы): «~U», «~I», «Ω», «-U», «-I», «Общ».

Назначение цепей следующее:

«Общ, PA, -I» – миллиамперметр, служит для измерения силы постоянного тока;

«Общ, PA, R3, -U» – вольтметр постоянного тока, служит для измерения постоянного напряжения;

«Общ, PA, R3, GB, Ω» – омметр, служит для измерения сопротивления;

«Общ, PA, VD1, VD2, ~I» – миллиамперметр переменного тока, служит для измерения силы переменного тока;

«Общ, PA, VD1, VD2, R1, ~U» – вольтметр переменного тока, служит для измерения переменного напряжения.

Как видно из принципиальной схемы, резисторы **R1** и **R3** обеспечивают дополнительные сопротивления к миллиамперметру для образования вольтметра переменного и постоянного тока; переменный резистор **R2** служит для установки стрелки омметра на нуль; диоды **VD1** и **VD2** позволяют использовать измерительный прибор постоянного тока для измерения переменного тока и напряжения.

На практике используют более сложные авометры; в них каждый измерительный прибор — амперметр, вольтметр, омметр — имеет несколько пределов измерений, что обеспечивается включением разных шунтов или добавочных резисторов. Поэтому на лицевой панели для каждого рода работ (измерения тока, напряжения, сопротивления) имеется свой ряд гнезд; для каждого рода измерений одно гнездо «общее», а второе выбирают из ряда в зависимости от того, на какой предел измерения нужен прибор.

На рис. 2 показан внешний вид авометра марки АВО-63, широко используемого в школах.

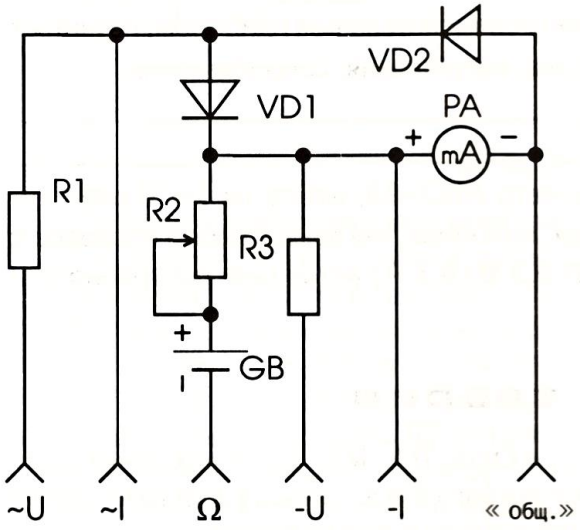


Рис. 1

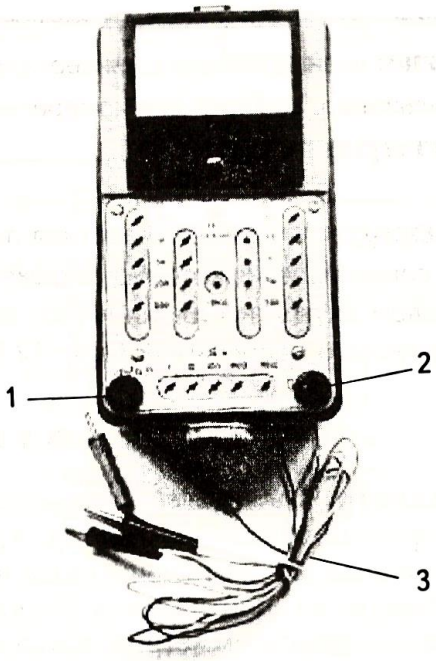


Рис. 2 Авометр марки АВО-63:
1 — ручка установки стрелки омметра на нуль;
2 — переключатель режима работы;
3 — щупы для включения прибора к испытываемому участку

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое авометр и для чего его используют?
2. Как устроен авометр?
3. Каким образом в авометре для измерения электрических величин оказалось возможным использовать один и тот же измерительный прибор?
4. Каким способом в авометре для измерения одной и той же электрической величины создают несколько пределов измерения?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Подготовьте авометр к работе.

1. Отверткой откройте крышку ящика для хранения элементов.

2. При необходимости ножом (шкуркой) зачистите контакты. Помните, что контакты имеют склонность к окислению с течением времени.

3. Установите элементы с учетом полярности и закройте крышку.

Задание 2

Используйте авометр как омметр для измерения сопротивления проводников (рис. 3).

1. Установите переключатель рода работы в положение «Ω».

2. Найдите шкалу омметра. Это верхняя шкала, обозначенная знаком «Ω». Ее оцифровка дана под делениями шкалы; нуль расположен справа. Определите цену деления шкалы на разных ее участках.

3. Найдите ряд гнезд для измерения сопротивлений.

4. Убедитесь в работоспособности омметра. Для этого замкните накоротко щупы, один из которых включен в гнездо «Общ», а другой – в любое другое гнездо ряда «Ω». У исправного омметра стрелка отклонится вправо. Если это не произойдет, надо проверить наличие и качество источника питания.

Имейте в виду следующую информацию:

а) источником тока для питания цепи омметра при измерениях на множителях ×1, ×10, ×100 служит один элемент типа 332, а на множителе ×1000 – три таких последовательно соединенных элемента;

б) гнездо «Общ» соединено с положительным полюсом элемента.

5. Замкните свободные концы щупов между собой и ручкой установки нуля стрелку прибора приведите в крайнее правое положение против знака «0».

6. Возьмите из данного Вам набора резисторов один, выберите для него предел измерения из ×1, ×10, ×100, ×1000. Определяют его методом прикидки: если Вы ожидаете, что измеряемая величина относится, например, к сотням ом, возьмите множитель ×100, если к килоомам – ×1000 и т. д.

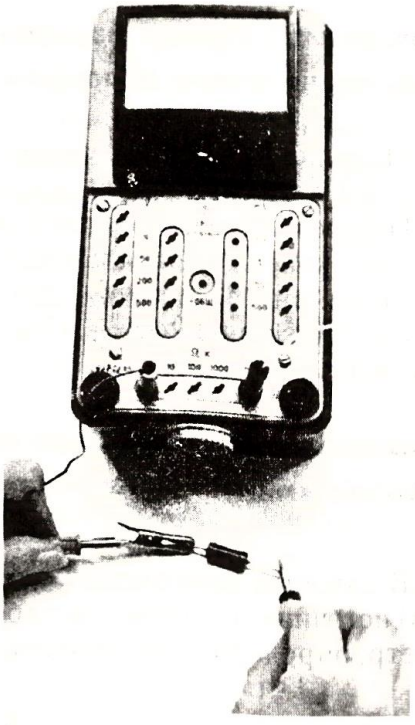


Рис. 3

7. Включите щупы в нужные гнезда: один – в «Общ», другой – в гнездо выбранного множителя. Вторые концы присоедините к резистору (рис. 3) и определите его сопротивление: оно равно показанию стрелки на шкале, умноженному на множитель используемого гнезда.

8. Действия, описанные в пунктах 5 и 6, повторите с другими резисторами. Не забудьте при изменении предела измерения каждый раз установить стрелку на нуль шкалы, замкнув щупы и вращая ручку 1 (рис. 2).

9. Проверьте с помощью омметра целостность нити накала лампы и проводников. Подумайте, каковы будут сопротивления исследуемых образцов (большие, малые, нулевые), когда они исправны и когда имеют обрыв.

10. Установите омметр на измерение сопротивления в килоомах и измерьте сопротивление Вашего тела между левой и правой руками, когда они: а) сухие; б) влажные.

Анализируя результаты опытов, объясните, почему человек с влажным телом более подвержен поражению электрическим током?

Задание 3

Используйте авометр как вольтметр для измерения постоянного напряжения (рис. 4).

1. Переключатель режима работы поставьте в положение «Ω».

2. Найдите шкалу вольтметра постоянного тока – нижняя со знаком «–».

3. Определите нужный Вам предел измерения из 2 В, 10 В, 50 В, 200 В, 500 В, т. е. выберите соответствующее ему гнездо.

Внимание! Предел измерения должен быть больше измеряемого напряжения, иначе можно испортить прибор.

4. Поделив предел измерения на число делений (их 50) нижней шкалы, определите цену деления шкалы на данном пределе измерения.

5. Подсоедините прибор параллельно измеряемому участку электрической цепи. Для этого конец одного проводника включите в гнездо «-Общ» (оно в середине панели, см. рис. 4), а конец другого – в выбранное гнездо первого левого ряда, где стоит обозначение «–». Свободные концы щупов соедините с концами исследуемого участка цепи.

Внимание! Гнездо «-Общ» соединяют с той точкой цепи, которая связана с выводом «минус» источника тока.

6. В качестве измеряемого участка возьмите: а) элемент; б) батарею элементов; в) источник питания для лабораторных работ. Поочередно подключая к ним авометр, определите напряжение на них, повторяя действия пунктов 3–5.

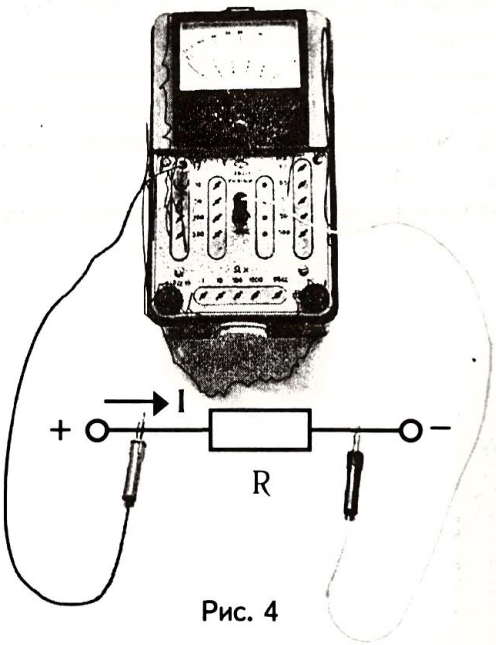


Рис. 4

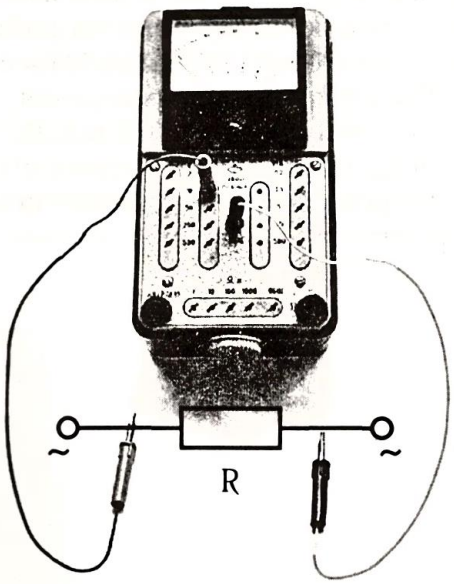


Рис. 5

Задание 4

Используйте авометр для измерения переменного напряжения (рис. 5).

Примечание. Источники тока, у которых полярность выводов периодически чередуется, имеют переменную ЭДС. Они в цепи создают переменное напряжение и переменный ток, направление которого периодически изменяется с течением времени. Например, между выводами сетевой розетки в квартире существует переменное напряжение 220 В. Полярность выводов розетки чередуется быстротой (частотой) 50 раз в секунду.

1. Переключатель рода работы поставьте в положение «~».
2. Найдите нужную шкалу – она средняя, там стоит знак «~».
3. Изучите имеющиеся в приборе четыре предела измерения переменного напряжения: 10 В, 50 В, 200 В, 500 В.
4. Определите цену деления прибора на каждом пределе измерения напряжения.
5. Подготовьте прибор к работе: один конец щупа включите в гнездо «-Общ», другой – в выбранное гнездо предела измерения во втором левом вертикальном ряду. Свободные концы щупов соедините параллельно с концами исследуемого участка (рис. 5).
6. Измерьте:

а) переменное напряжение источника питания в пределах 6–12 В;

б) напряжение на лампе МН 6,3 В х 0,3 А, питаемой от источника переменного тока.

Задание 5

Используйте авометр для измерения силы постоянного тока (рис. 6).

1. Переключатель режима работы поставьте в положение «Ω».
2. Найдите шкалу для работы с постоянным током — нижняя со знаком «—».
3. Выберите предел измерения (нужное гнездо). В Вашем распоряжении следующие пять пределов: 0,2 мА, 0,5 мА, 5 мА, 50 мА, 500 мА — смотрите правый ряд гнезд, около которых стоит обозначение «-мА».
4. Определите цену деления шкалы миллиамперметра для данного предела измерения.

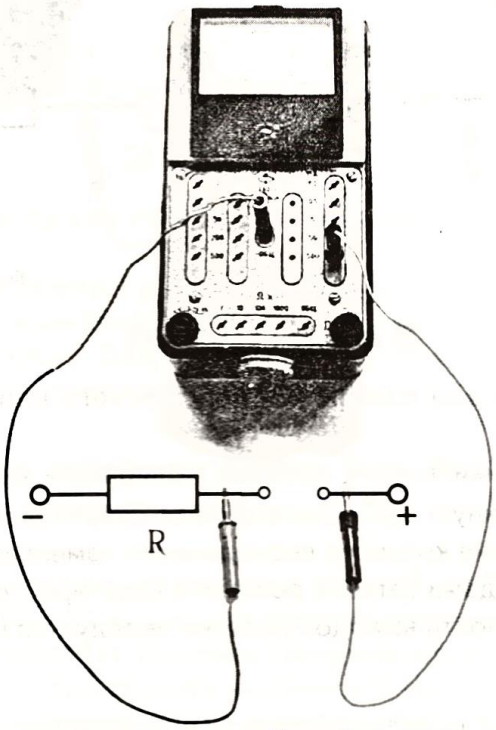


Рис. 6

5. Соедините авометр с исследуемым участком электрической цепи. Для этого конец одного щупа вставьте в гнездо «-Общ», другой — в гнездо выбранного предела измерения; свободные концы присоедините к точкам разрыва изучаемой цепи R так, чтобы прибор оказался включенным последовательно (рис. 6).

Внимание! Гнездо «-Общ» подключают в цепь со стороны знака «минус» источника тока.

Задание 6

Используйте авометр для измерения силы переменного тока (рис. 7).

1. Переключатель режима работы поставьте в положение «~».

2. Найдите шкалу для измерения переменного тока (средняя шкала со знаком «~»).

3. Определите цену деления шкалы на всех его пределах: 0,5 мА, 5 мА, 50 мА, 500 мА.

4. Измерьте силу переменного тока в цепи миниатюрной лампы накаливания, подключенной к источнику переменного тока, выбрав предел измерения (рис. 7).

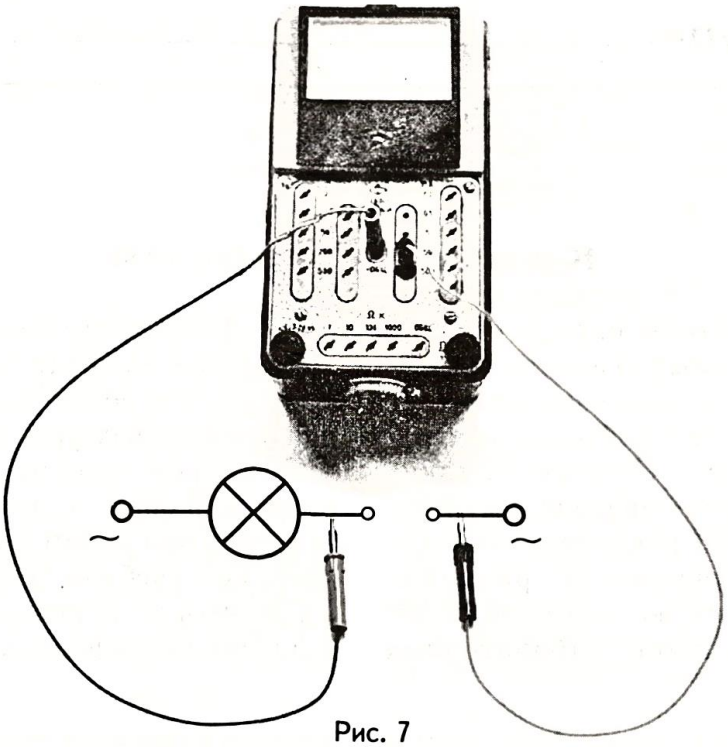


Рис. 7

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Расскажите, как измеряется авометром: а) сопротивление, б) напряжение, в) сила тока. Перечислите все операции, которые нужно выполнить.

2. Покажите, какими шкалами, рядами гнезд прибора нужно пользоваться, если требуется измерить:

а) сопротивление резисторов, ориентировочно находящихся в пределах 2–10 кОм;

б) силу постоянного тока в пределах 1–3 мА;

в) постоянное напряжение свыше 200 В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №27

ИЗУЧЕНИЕ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА СЕРИИ М83

Цели: научиться производить измерения электических величин цифровым мультиметром М83.

Литература: _____

Краткая теория

В последние годы наряду со стрелочными (шкальными) измерительными приборами в школьной практике находят применение цифровые измерительные приборы. Одними из таких приборов являются цифровые мультиметры серии М83, рекомендуемые для использования учащимися при выполнении физического эксперимента (кратковременных опытов, лабораторных работ, физического практикума). Однако широкое их внедрение ограничивает отсутствие рекомендаций по измерению конкретных физических величин.

В данном пособии автор описывает личный опыт по применению мультиметров при работе с учащимися, студентами в учебном процессе и учителями физики на курсовых занятиях повышения квалификации.

Назначение

Мультиметры серии М83 (830A, 830B, 830C, 830D, 831, 832, 833, 835, 837, 838) (рис. 1) представляют собой портативный (70x126x24 мм, 170 г) электроизмерительный прибор с цифровым мультиметром с 3,5-разрядным жидкокристаллическим индикатором (дисплеем) (2) (максимальное число 1999) с батарейным питанием.

Предназначены для измерения постоянного (сектор DCV) и переменного (ACV) напряжения, постоянного тока (DCA), сопротивления (Ω), коэффициента усиления транзисторов (hFE), температуры (°C), проверки (прозвонки) цепей на обрыв (•))), проверки целостности диодов и транзисторов (→|←), содержит генератор сигналов для испытания усилительных цепей (⌐⌐). Режим работы прибора переключается ручкой (1).

Мультиметр в электрическую цепь включается при помощи черного и красного проводников, оканчивающихся металлическими щупами. Черный провод всегда включается в общее гнез-

до «COM» (3). Красный провод в зависимости от рода измерений включается в среднее гнездо «VΩmA» (4) или в верхнее гнездо «10ADC» (5).

Особенности

1. Мультиметр питается напряжением 9 В от батареи типов «Крона», «NEDA», которая располагается в отсеке, находящемся в нижней части задней крышки прибора. Срок службы батареи составляет около 100 часов. Появление на экране знаков «BAT» или «+ −» сигнализирует о том, что надо заменить «севший» источник питания на «свежий». Для замены батареи нужно отключить щупы прибора от исследуемой цепи (обесточить) и открыть крышку батарейного отсека, предварительно открутив шуруп (саморез).

2. Полярность измеряемой величины (постоянного тока и напряжения) определяется красным проводом и автоматически высвечивается на дисплее. Подключение красного провода к точке с отрицательным потенциалом индицируется знаком «—» на дисплее.

3. Перегрузка мультиметра предупреждается появлением на дисплее знаков «1» или «-1». Это значит, что выбран меньший диапазон измерения, чем измеряемая величина. При этом ручку переключателя рода измерений нужно переставить на больший предел.

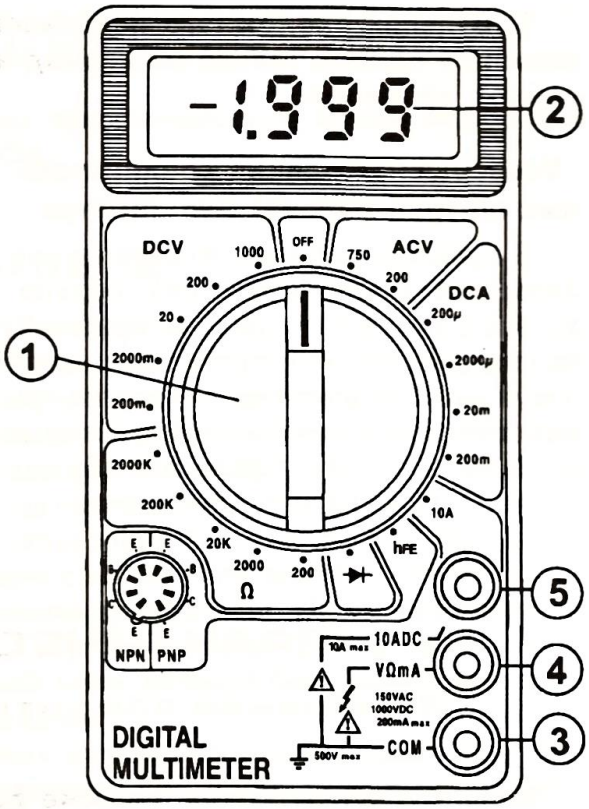


Рис. 1

4. Оптимальные условия работы: 23±5 °С при относительной влажности меньше 75 %, условия хранения: от −20°С до +60°С при относительной влажности меньше 80 %.

5. Погрешность измеряемой величины определяется как ± (% отсчитываемых данных плюс количество единиц младшего разряда).

Внимание!

1. Для защиты прибора при измерении силы постоянного тока до 200 мА используется предохранитель с номиналом «0,2 А/250 В», расположенный в том же отсеке, где находится батарея питания. Измерение силы тока «10 А» и все другие измерения производятся без предохранителя.

2. В целях предупреждения выхода из строя мультиметра не рекомендуется его использование в устройствах, содержащих высоковольтные и высокочастотные помехи. Например, в цепях генераторов напряжения, телевизионных трубок, бестрансформаторных источников питания, автомобильной электроники и т. д. Для таких измерений лучше всего использовать имеющие меньшее входное сопротивление стрелочные (шкальные) приборы.

3. В целях экономного использования ресурса батареи рекомендуется включать прибор только на период измерений и обязательно выключать на период хранения.

Усовершенствование соединительных шнуров (щупов) мультиметра

В процессе работы с мультиметром автор столкнулся с тем, что соединительные шнуры (черный и красный) склонны к обрыву в месте соединения с щупами. Это место находится внутри пластмассовых держателей, в которые вплавлены щупы. Причиной обрыва является то, что шнуры свободно вставлены в трубки держателей и при эксплуатации прокручиваются относительно неподвижных щупов. Для восстановления обрыва (запаивания) щупы приходится извлекать из держателей (потом вставлять обратно), что связано с определенными трудностями. Поэтому во избежание (предупреждения) обрыва автор рекомендует зафиксировать шнур в трубке держателя при помощи деревянного или иного клина так, чтобы он не вращался и, следовательно, не рвался.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Измерение сопротивления проводников

Внимание! В этом режиме работы напряжение открытого контура между щупами составляет около 3 В.

Детали: мультиметр М83, макетная плата с пружинными контактами, постоянные резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 300 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 360 кОм; переменный резистор 1 кОм.

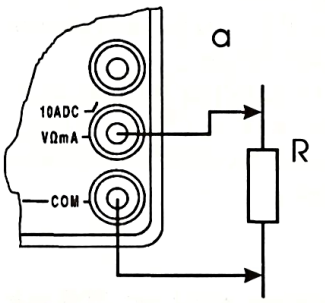


Рис. 2

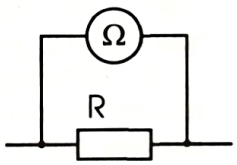


Рис. 3

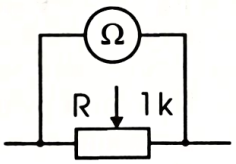
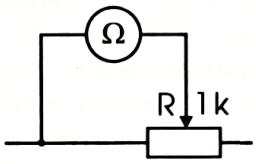


Рис. 4



Задание 1

Подготовьте мультиметр для измерения сопротивления.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 2, а).

2. Установите переключатель функций (рода работы) на один из пяти диапазонов сектора «Ω» (200 Ом, 2000 Ом, 20 кОм, 200 кОм, 2000 кОм) и замкните

щупы накоротко между собой. При этом на дисплее высветится «000», свидетельствуя о том, что сопротивление между щупами равно нулю.

Внимание! На пределе «200 Ом» при замыкании щупов накоротко допускается показание прибора до 1 Ом.

Задание 2

Измерьте сопротивление постоянных резисторов.

Установите переключатель функций (рода работы) на требуемый диапазон сектора «Ω» и присоедините концы щупов к концам резистора (рис. 2, а, б). По показанию дисплея определите сопротивление резистора. Таким образом определите сопротивления всех прилагаемых постоянных резисторов.

Внимание!

1. В этом и последующих заданиях для составления электрических цепей используйте макетную плату с пружинными контактами. Пружины предназначены для закрепления деталей в цепи и обеспечения контактов между ними.

2. Измеряемый участок электрической цепи должен быть обесточен и отключен от соединения с другими участками.

3. Избегайте одновременного касания руками выводов резистора и щупов (человеческое тело можно рассматривать как проводник с определенным сопротивлением).

4. При возникновении на дисплее знака перегрузки «1» необходимо переключиться на более высокий (верхний) предел измерений.

Задание 3

Измерьте сопротивление переменного резистора.

1. Измерьте полное сопротивление переменного резистора (рис. 3).

2. Соберите цепь по рис. 4 и, медленно перемещая движок резистора из одного крайнего положения до другого, следите за показанием дисплея. Объясните причину изменения показания прибора.

Измерение постоянного напряжения

Внимание!

1. Во избежание поражения электрическим током соблюдайте меры предосторожности при измерении напряжений более 30 В.

2. Если предел измеряемого напряжения заранее неизвестен, установите переключатель пределов на максимальный предел 1000 В и по мере необходимости переходите на более низшие.

Детали: мультиметр М83, макетная плата, источники постоянного напряжения 1,5 В (пальчиковый элемент), 4,5 В (квадратная батарея), 9 В (батарея «Крона»), сетевой выпрямительный блок с напряжением до 25–30 В, резисторы 10 Ом, 100 Ом, 1 кОм, лампа 6,3 В х 0,3 А, соединительные проводники – 2 шт.

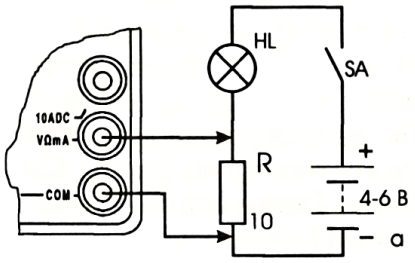


Рис. 5

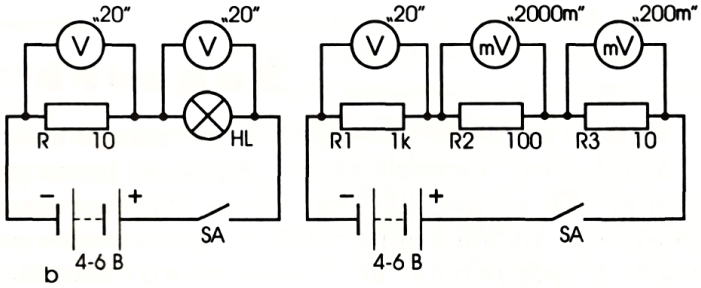


Рис. 6

Задание 1

Подготовьте мультиметр для измерения постоянного напряжения.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 5, а).

2. Найдите сектор «DCV» на панели прибора, содержащий пять пределов измерения постоянного напряжения: 1000 В, 200 В, 20 В, 2000 мВ (2 В), 200 мВ (0,2 В).

Задание 2

Измерьте постоянное напряжение.

1. Измерьте напряжение (ЭДС) «пальчикового» элемента, установив переключатель рода работ сначала на предел «20 В», а потом на предел «2000 мВ». Для этого черным щупом, включенным в нижнее гнездо «COM», коснитесь вывода «-» элемента, а красным щупом – вывода «+». Повторите измерения, изменив полярность включения щупов и объясните причину появления знака «-» на дисплее.

2. Произведите измерение постоянного напряжения других прилагаемых источников питания.

Задание 3

Измерьте напряжение на участке цепи.

1. Соберите цепь по рис. 5, а, б и поочередно измерьте напряжение на участках R и HL, используя мультиметр как вольтметр постоянного тока.

2. Соберите цепь по рис. 6 и поочередно измерьте напряжение на участках R1, R2, R3, используя мультиметр как вольтметр или милливольтметр.

Измерение силы постоянного тока до 10 А

Внимание!

1. Мультиметр как амперметр (миллиамперметр, микроамперметр) включается в цепь только последовательно с участком, где измеряется сила тока. Непосредственное включение щупов к источнику тока не допускается.

2. Только для измерения силы постоянного тока на пределе «10 А» красный провод включается в верхнее гнездо «10ADC» (рис. 7, а). При остальных измерениях красный провод включается в среднее гнездо «VΩmA».

3. Время измерения силы тока на пределе «10 А» не должно быть более 15 секунд.

Детали: мультиметр М83, макетная плата, лампа 6,3 В х 0,3 А – 3 шт., источник постоянного напряжения 4–6 В, соединительные проводники – 2 шт.

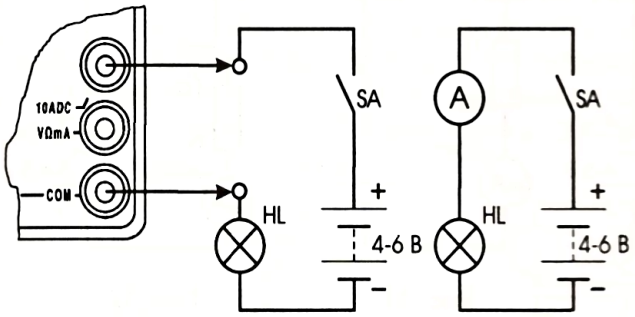


Рис. 7

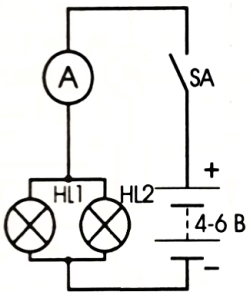


Рис. 8

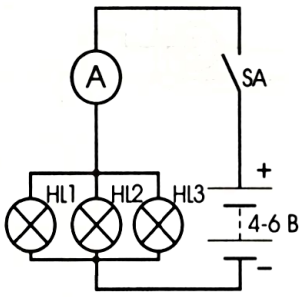


Рис. 9

Задание 1

Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока до 10 А.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «10ADC» (верхнее гнездо) (рис. 7, а).

2. Найдите в секторе «DCA» на панели прибора предел измерения постоянного тока «10 А» и против него установите ручку переключателя рода работ.

Задание 2

Измерьте силу постоянного тока до 10 А.

Соберите поочередно электрические цепи (рис. 7, 8, 9), в которых произведите измерение силы тока. Повторите измерения, изменив полярность включения щупов в цепь, и объясните причину появления знака «-» на дисплее.

Измерение силы постоянного тока до 200 мА

Внимание! Пределы измерения силы постоянного тока «200 мА, 20 мА, 2000 мкА» защищены плавким предохранителем номиналом «0,2 А/ 200 В», который установлен в батарейном отсеке. При его сгорании на этих пределах сила тока не измеряется.

Детали: мультиметр М83, макетная плата, лампа 6,3 В х 0,3 А, светодиод (АЛ307) с ограничительным резистором, постоянные резисторы 20 Ом, 1 кОм, источник постоянного напряжения 4-6 В, соединительные провода – 2 шт.

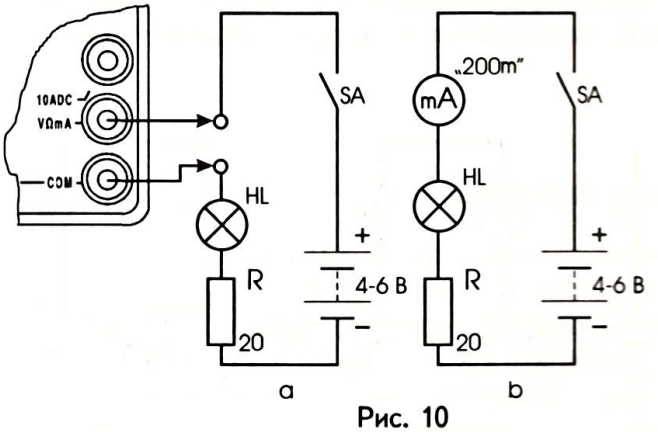


Рис. 10

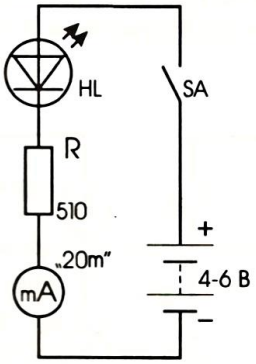


Рис. 11

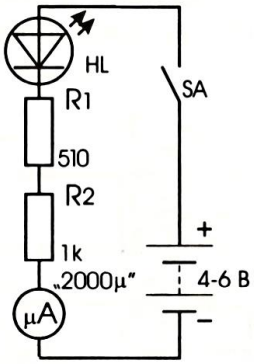


Рис. 12

Задание 1

Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока до 200 мА.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 10, а).

2. Найдите сектор «DCA» на панели прибора и пределы измерения постоянного тока: 200 мА (0,2 А), 20 мА (0,02 А), 2000 мкА (2 мА, 0,002 А).

Задание 2

Измерьте силу постоянного тока до 200 мА.

Соберите поочередно электрические цепи (рис. 10, 11, 12), в которых произведите измерение силы тока, используя мультиметр как миллиамперметр и микроамперметр.

Измерение переменного напряжения

Внимание!

1. Во избежание поражения электрическим током соблюдайте меры предосторожности при измерении напряжений более 30 В.

2. Мультиметр предназначен для измерения переменного напряжения частотой 45–450 Гц.

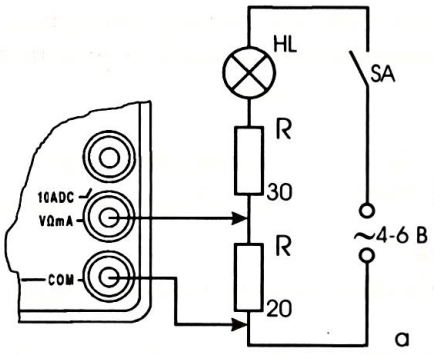
Детали: мультиметр М83, макетная плата, лабораторный источник переменного напряжения 4–6 В, резисторы 20 Ом, 30 Ом, лампа 6,3 В х 0,3 А, соединительные проводники – 2 шт.

Задание 1

Подготовьте мультиметр для измерения переменного напряжения.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 13, а).

2. Найдите сектор «ACV» на панели прибора, содержащий два предела измерения переменного напряжения: 200 В и 750 В.



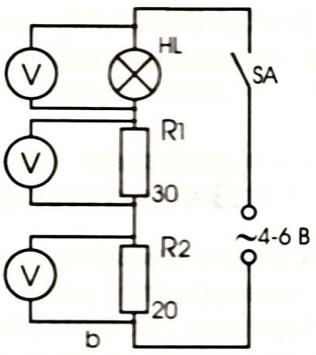


Рис. 13

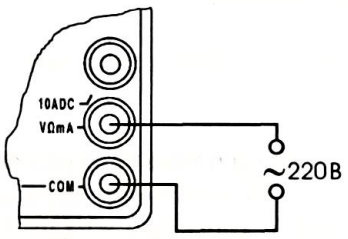


Рис. 14

Задание 2

Измерьте переменное напряжение.

1. Измерьте переменное напряжение источника питания на пределе «200 В». Для этого черный и красный щупы подключите непосредственно к выводам источника напряжения. Полярность включения щупов произвольная.

2. Произведите измерение переменного напряжения на участках R1, R2, HL и общее напряжение на них (рис. 13, б), подключая параллельно к ним вольтметр с пределом измерения «200 В».

Задание 3

Измерьте бытовое сетевое напряжение 220 В.

Внимание! Измерение учащимися производится только под контролем преподавателя.

Ручку переключателя функций установите против предела «750 В». Мультиметр положите на горизонтальную поверхность вблизи источника напряжения 220 В. Щупы проводников, включенные в нижнее (COM) и среднее (VΩmA) гнезда мультиметра (рис. 14), с учетом мер предосторожности вставьте в гнезда сетевой розетки. При этом на дисплее высветится действующее напряжение сети.

Проверка (прозвонка) цепей на обрыв

Внимание!

1. Перед «прозвонкой» обязательно обесточьте проверяемый участок цепи.

2. В режиме «прозвонки» напряжение между щупами составляет около 3 В с полярностью «+» у гнезда «VΩmA».

Детали: мультметр М83, макетная плата, постоянные резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, лампа 6,3 В х 0,3 В с целой спиралью накала, лампа накаливания с перегоревшей нитью, проводники цельные и имеющие скрытый обрыв под изоляцией.

Задание 1

Подготовьте мультиметр для прозвонки цепей.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 1).

2. Установите ручку переключателя функций в положение «•)))» и замкните щупы накоротко. При этом будет звучать сигнал зуммера.

Задание 2

Проверьте (прозвоните) целостность проводников.

Щупами мультиметра касайтесь выводов проверяемых участков: резисторов, ламп, проводников. При исследовании цепи с сопротивлением менее 70–30 Ом (в некоторых модификациях прибора менее 1 кОм) будет звучать звуковой сигнал зуммера. При наличии обрыва в испытываемом участке или большом его сопротивлении звукового сигнала не будет.

Измерение температуры

Внимание!

1. Функцией измерения температуры обладают мультиметры марок М-830С, М-837, М-838.

2. Диапазон измеряемых температур составляет от -20 (-40) °С до 1370 °С.

3. Для измерения температуры объекта прилагается термопара.

Задание 1

Измерьте температуру окружающей среды.

Установите переключатель функций против сектора «°С», и на дисплее появится температура окружающей среды в градусах, выраженных по шкале Цельсия.

Задание 2

Измерьте температуру объекта.

Установите переключатель функций против сектора «°С», термопару включите к разъемам «COM» и «VΩmA». Коснитесь термопарой исследуемого объекта, и на экране появится его температура, выраженная в °С.

Примечание. Испытание диодов, транзисторов и усилительных каскадов цифровым мультиметром смотрите в лабораторной работе № 57.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№28

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШКИ ИНДУКТИВНОСТИ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ

Цели: сделать катушку индуктивности для проведения лабораторных исследований; наблюдать магнитные свойства катушки.

Литература: _____

Оборудование: ферромагнитный (железный или стальной) стержень диаметром 6—8 мм и длиной 6 см; моток медного провода ПЭЛ диаметром 0,2—0,35 мм; многожильный медный провод в изоляции длиной 20 см — 2 шт.; лист плотной альбомной бумаги; клей; паяльник с принадлежностями для пайки; катушка нити; омметр; магнитная стрелка на подставке (или компас); мелкие гвозди (или скрепки, кнопки); катушка от разборного электромагнитного реле; источник питания 4—6 В; соединительные провода.

Краткая теория

Мы знаем, что проводник, по которому течет электрический ток, приобретает способность отклонять расположенную около него магнитную стрелку (опыт Эрстеда). Таким же свойством, но в значительно большей мере, обладает и проводник, смотанный в виде катушки.

Эта катушка приобретает еще одно физическое качество. Ее сопротивление оказывается разным в цепях постоянного и переменного токов. Для цепей постоянного тока неважно, какой формы взят проводник: вытянут он в прямую линию или имеет вид катушки; в каждом случае его сопротивление **R** определяется длиной провода l, площадью поперечного сечения **S** и удельным сопротивлением **ρ** материала, из которого он изготовлен: $R = \rho \frac{l}{S}$. В цепях же переменного тока проводник имеет разные сопротивления в зависимости от его формы, числа витков и геометрических размеров катушки, в которую он превращен. Это свойство проводника характеризует физическая величина — индуктивность. Ее обозначают буквой **L** и в честь американского ученого Джозефа Генри измеряют в единицах генри (Гн).

Магнитные свойства катушки можно усилить, если в нее ввести сердечник из особого, так называемого ферромагнитного вещества, например, железа, никеля, кобальта, а также некоторых сплавов и специальной керамики, содержащих окислы железа.

Катушка индуктивности — важный элемент электро- и радиотехнических цепей; широко используется также в таких устройствах, как электромагнитное реле, телефон, трансформатор.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Каким свойством обладает катушка?
2. Как можно увеличить ее индуктивность?
3. Где применяют катушку индуктивности?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Примечание. В данной работе можно использовать катушку от разборного электромагнитного реле (рис. 1) или самодельную катушку, изготовленную согласно заданию 1.

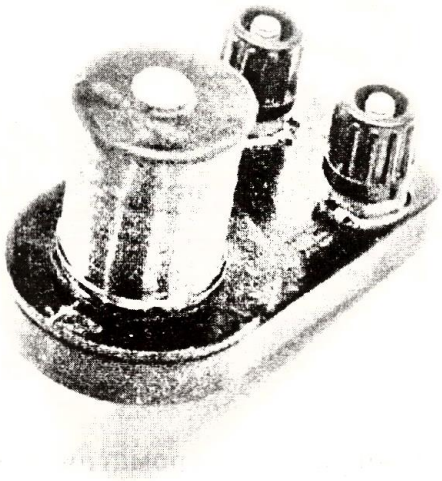


Рис. 1

Задание 1

Сделайте катушку индуктивности.

1. Возьмите ферромагнитный (железный или стальной) стержень диаметром 6–8 мм и длиной 6 см.

2. Обмотайте его несколько раз плотной полоской бумаги длиной 10–14 см и шириной 5 см и склейте такой бумажный цилиндрический каркас (рис. 2), чтобы стержень мог свободно, но с некоторым трением перемещаться внутри него.

3. Намотайте на каркас виток к витку медный провод в эмалевой изоляции (рис. 3). Провод возьмите диаметром 0,2–0,35 мм и сделайте 300–400 витков. Следите за тем, чтобы просматривалось направление намотки витков.

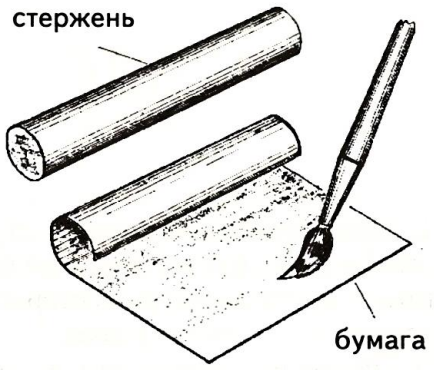


Рис. 2

4. К началу и концу обмотки припаяйте изолированные гибкие многожильные провода длиной 20 см. С их помощью катушка включается в схемы. Для защиты запаянных участков от обрыва концы катушки прикрепите ниткой к каркасу. Свободные концы многожильных проводов оголите на 10 мм (см. рис. 4).

5. Испытайте катушку на целостность. Для этого возьмите омметр и измерьте ее сопротивление; оно должно составить несколько Ом.

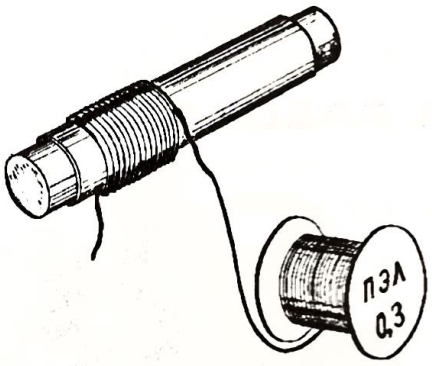


Рис. 3

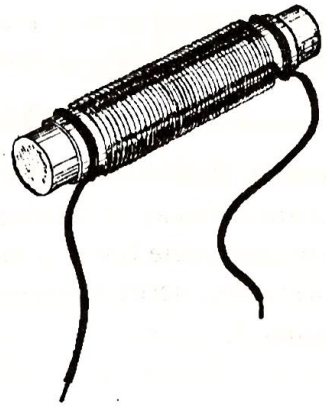


Рис. 4

Задание 2

Соберите электромагнит и испытайте его магнитное действие.

1. Соберите цепь по рис. 5. Замкните цепь и с помощью магнитной стрелки (компаса) определите магнитные полюсы катушки. Сделайте вывод о том, какая связь существует между магнитными полюсами катушки и направлением тока в ней.

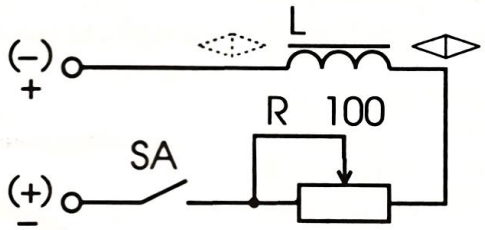


Рис. 5

2. Отодвиньте магнитную стрелку от концов катушки вдоль ее оси настолько, чтобы действие магнитного поля на магнитную стрелку было незначительно. Вставьте ферромагнитный стержень в катушку и понаблюдайте действие катушки на стрелку. Сделайте вывод.

3. Поднесите электромагнит к мелким железным (стальным) гвоздям (скрепкам, кнопкам) и, изменяя силу тока в катушке, сделайте вывод о том, как магнитное действие катушки зависит от силы протекающего по ней тока.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №28

НАБЛЮДЕНИЕ ТОКА САМОИНДУКЦИИ

Цель: ознакомиться с явлением самоиндукции.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; катушка индуктивности (самодельная, изготовленная в ходе работы №28, или от разборного электромагнитного реле); миллиамперметр на 5/50 мА; диод выпрямительный КД209; светодиод АЛ307 с ограничительным резистором; ключ (можно заменить проводником); источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

При всяком изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в нем возникает ЭДС индукции, а если контур замкнутый – индукционный ток. Это явление называется **электромагнитной индукцией**. В соответствии с законом Ленца индукционный ток имеет такое направление, при котором создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

Явление возникновения ЭДС индукции в контурах при изменении магнитного потока, создаваемого током, текущим по самому контуру, называется **явлением самоиндукции**. ЭДС самоиндукции равна

$$\varepsilon_{СИ} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где **L** – индуктивность катушки,

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$ – скорость изменения силы тока в контуре.

Как видно из формулы, ЭДС самоиндукции зависит от индуктивности катушки и от скорости изменения силы тока в контуре.

Пусть имеется электрическая цепь (рис. 1), состоящая из последовательно соединенных источника тока, катушки индуктивности, переменного резистора, ключа. Изменение тока в контуре, а

значит, и явление самоиндукции, могут вызвать следующие факторы: 1) включение цепи, 2) выключение цепи, 3) увеличение силы тока, 4) уменьшение силы тока.

Например, при размыкании цепи ток **I** в катушке, создаваемый источником питания, уменьшается до нуля, значит, уменьшается до нуля и его магнитное поле. При этом в катушке, согласно правилу Ленца, возникает ток самоиндукции $\mathbf{I_{си}}$, противодействующий уменьшению тока **I**. Направления этих токов **I** и $\mathbf{I_{си}}$ должны совпадать, чтобы поддержать ток источника питания и его магнитное поле.

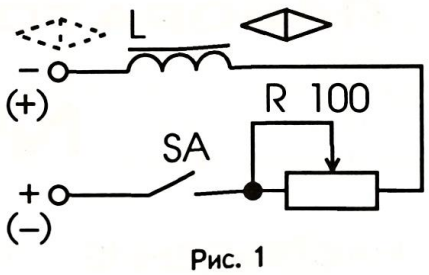


Рис. 1

Аналогично можно разобрать факторы 1, 3, 4.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Как направлен индукционный ток?
3. Что такое явление самоиндукции?
4. От чего зависит величина ЭДС самоиндукции?
5. В каких ситуациях возникает явление самоиндукции?
6. Что общего между явлениями электромагнитной индукции и самоиндукции? Чем они отличаются?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Наблюдайте возникновение тока самоиндукции в моменты размыкания электрической цепи.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2. Миллиамперметр включите на предел измерения «5 мА».

Обратите внимание, что вследствие запирающего действия диода VD ток источника питания не может течь через миллиамперметр.

2. Включайте и выключайте ключ **SA**. Наблюдайте возникновение кратковременного тока через миллиамперметр в моменты размыкания цепи.

3. Объясните:

а) природу наблюдаемого явления;

б) по какому пути протекает ток, возникающий при размыкании цепи питания катушки;

в) почему прибор не регистрирует ток самоиндукции, возникающий при включении цепи; как он протекает.

Задание 2

Исследуйте зависимость силы тока самоиндукции от величины индуктивности катушки.

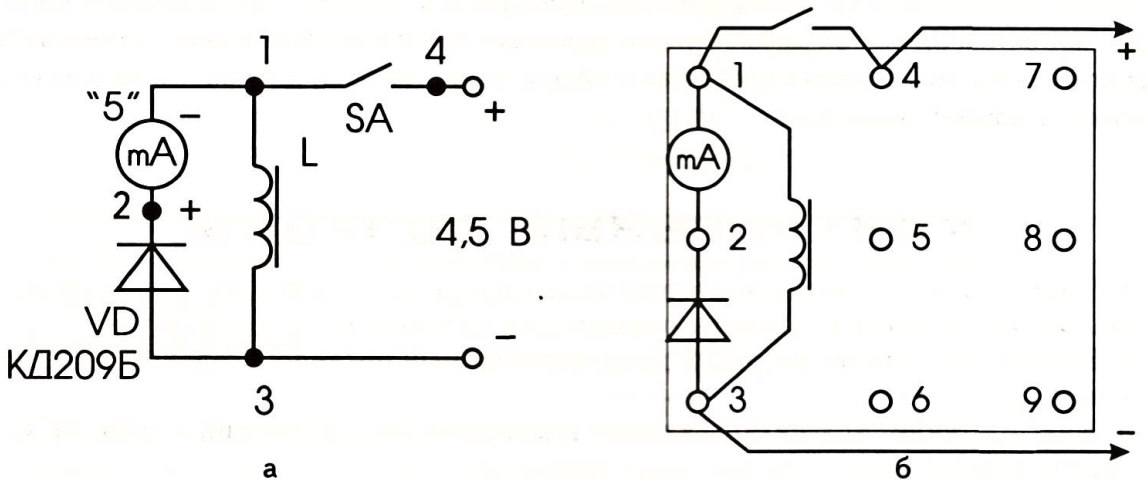


Рис. 2

1. Пользуйтесь конструкцией, собранной по рис. 2, *а, б*. Величину индуктивности катушки регулируйте длиной части стержня, находящегося внутри катушки.

3. Сделайте вывод о том, как угол отброса стрелки прибора при включении цепи питания зависит от индуктивности катушки.

Задание 3

Наблюдайте ток самоиндукции по свечению светодиода.

1. Соберите цепь по рис. 3, *а, б*. В качестве индикатора регистрации тока самоиндукции используйте светодиод **HL**, включенный через ограничительный (защитный) резистор **R**.

2. Пронаблюдайте свечение светодиода в момент размыкания цепи.

3. Объясните наблюдаемый факт.

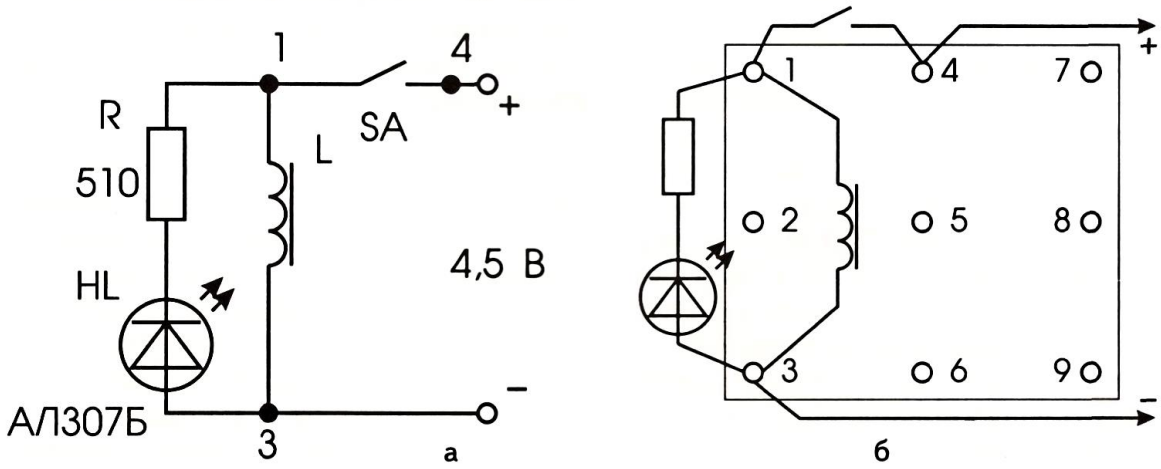


Рис. 3

Примечание. В данной работе миллиамперметр и светодиод могут регистрировать ложные токи самоиндукции, возникающие якобы при замыкании ключа. Но это не так. Причиной этого являются многократные микрозамыкания и размыкания контактов механического переключателя, известные в технике под названием «дребезг» контактов. Здесь ток самоиндукции возникает при микроразмыкании. Уменьшить вероятность возникновения «дребезга» в наших опытах можно, добившись надежного контакта в момент замыкания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова причина возникновения электрического тока в цепи миллиамперметра или светодиода в моменты отключения катушки от источника тока?
2. Какую роль играет на рис. 2 диод, включенный последовательно с измерительным прибором?
3. Как протекает ток самоиндукции в катушке, возникающий в момент замыкания цепи?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№30

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ

Цели: ознакомиться с устройством и принципом работы электромагнитного реле; измерить рабочие параметры реле.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; нейтральное электромагнитное реле; поляризованное реле; геркон или герконовое реле; магнит, лампа МН 6,3 В х 0,3 А; переменный резистор на 100 Ом; миллиамперметр; вольтметр; омметр; источник тока для питания реле (напряжение зависит от напряжения срабатывания реле); источник тока 4–6 В для питания исполнительной цепи; соединительные провода – 10 шт.

Примечания. 1. В работе рекомендуется использовать маломощное низковольтное (4–6 В) реле со съемным корпусом для возможности изучения устройства и принципа работы. 2. Для подключения реле в электрическую цепь необходимо предварительно к выводам обмотки и контактов припаять изолированные гибкие провода длиной 15 см.

Краткая теория

Электромагнитное реле – это электромеханическое коммутационное устройство, позволяющее с помощью малых токов управлять электрическими цепями.

Электромагнитное реле изготавливают на базе электромагнитов. Их схематическое устройство и принцип работы понятны из рис. 1. Электромагнит, состоящий из железного сердечника *1* и насаженной на нее катушки *2*, является главной приводной частью реле. На Г-образном ярме *3* укреплены сердечник *1*, якорь *4* и пружины с контактами *5*, включенными в исполнительную цепь. Сердечник, ярмо и якорь образуют магнитопровод реле.

На рис. 2 дана принципиальная электрическая схема конструкции, изображенной на рис. 1. Здесь источник питания **GB1**, реле **K**, выключатель **SA** образуют управляющую цепь, а источник питания **GB2**, контакты **K1.1** и лампы **HL1 и HL2** составляют исполнительную цепь.

Принцип работы реле таков. Пока через обмотку реле тока нет, между якорем и сердечником существует воздушный зазор. Как только в обмотке реле появляется ток, его магнитное поле

намагничивает сердечник, и он притягивает якорь, который другим концом надавливает на контактные пружины, замыкая и размыкая (коммутируя) исполнительную цепь.

В зависимости от положения при отсутствии тока в обмотке реле контакты (рис. 3) бывают: а) нормально разомкнутые; б) нормально замкнутые; в) перекидные.

В зависимости от своего назначения электромагнитные реле имеют разные конструкции, наборы контактов, сопротивления обмоток, но у всех них один и тот же принцип работы: ток определенной силы, протекая по обмотке, притягивает якорь к сердечнику электромагнита, коммутируя исполнительную цепь.

Электромагнитные реле, действия которых не зависят от направления тока в обмотке (полярности включения), **называются нейтральными**. На рис. 4 приведены внешние виды некоторых широко распространенных электромагнитных реле.

Реле же, работа которых зависит от направления тока в обмотке электромагнита, называются **поляризованными**. У них при подаче на обмотку напряжения одной полярности замыкаются одни контакты, а при смене полярности — другие.

Условное графическое обозначение поляризованного реле показано на

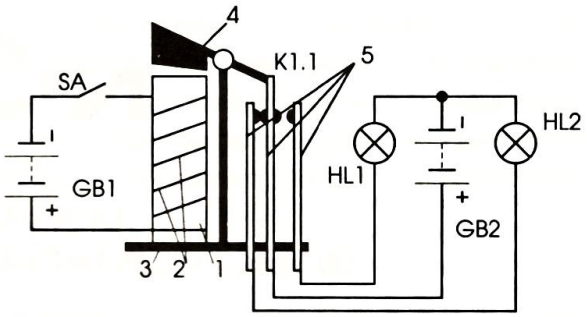


Рис. 1

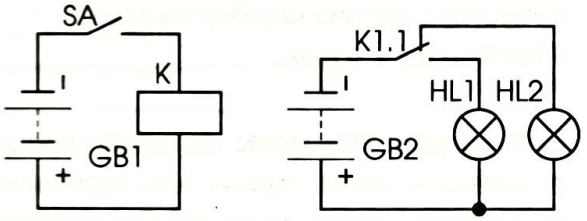


Рис. 2

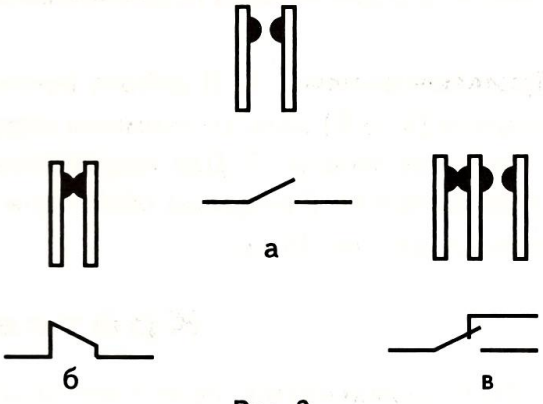


Рис. 3

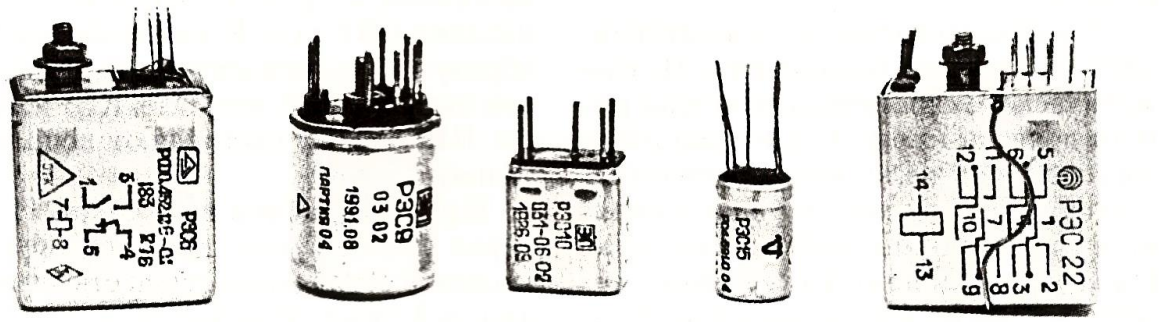
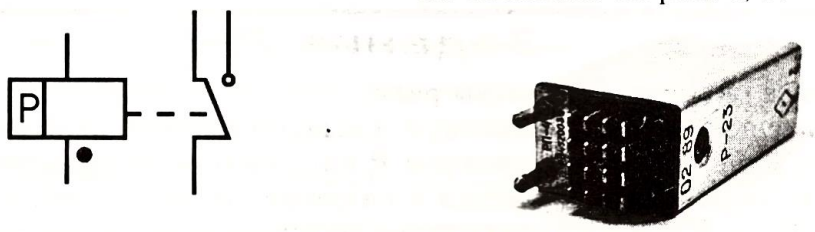


Рис. 4

рис. 5, *а*. Кружок у неподвижного контакта означает, что при срабатывании реле контакты фиксируются в этом положении, если положительный полюс источника питания соединить с выводом обмотки, помеченным точкой. На рис. 5, *б* дан внешний вид широкораспространенного поляризованного реле марки РП-4.

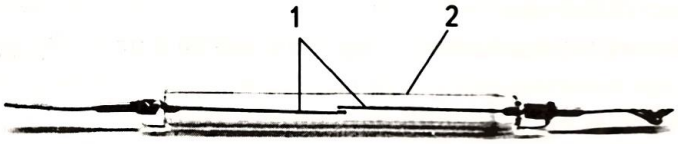
Широкое распространение получили **герконовые реле** с герметизированными контактами (сокращенно герконами) (рис. 6, *а*) *1*, заключенными в капсулу *2*. У них нет якоря. Магнитное поле обмотки непосредственно воздействует на магнитоуправляемые контакты. Условное обозначение геркона показано на рис. 6, *б*.



а

б

Рис. 5



а



б

Рис. 6

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое электромагнитное реле?
2. Из каких узлов состоит реле?
3. Какие виды контактов используются в реле?
4. Какими электрическими цепями связано реле?
5. Чем отличаются по принципу работы нейтральные, поляризованные и герконовые реле?
6. Где и для чего применяются электромагнитные реле?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Ознакомьтесь с устройством нейтрального электромагнитного реле.

1. Снимите крышку реле и найдите в конструкции ее основные узлы.
2. Определите выводы обмотки электромагнита и контактов.

При отсутствии схемы для этого воспользуйтесь омметром. Выполняя эту работу, имейте в виду, что: а) обмотки реле имеют электрическое сопротивление от десятков ом до нескольких килоом; б) между нормально замкнутыми контактами сопротивление равно нулю, а между нормально разомкнутыми — бесконечно большое.

3. Измерьте электрическое сопротивление обмотки реле $R_{обм}$ омметром, результаты занесите в табл. 1.

Таблица 1

Тип реле	$R_{обм}$, Ом	Срабатывание			Отпускание		
		$I_{сраб}$, мА	$U_{сраб}$, В	$P_{сраб}$, Вт	$I_{отп}$, мА	$U_{отп}$, В	$P_{отп}$, Вт

Задание 2

Определите рабочие параметры реле.

1. Соберите по рис. 7 управляющую и исполнительную цепи реле.
2. Плавно изменяя потенциометром **R** напряжение, подаваемое на выводы обмотки реле, определите силу тока и напряжение, при которых он срабатывает – $I_{сраб}$, $U_{сраб}$. Момент срабатывания фиксируйте по погасанию лампы.
3. Плавно уменьшая напряжение, подаваемое на выводы обмотки, определите силу тока и напряжение, при котором происходит отпускание контактов реле – $I_{отп}$, $U_{отп}$.
4. По полученным данным вычислите мощность срабатывания реле $P_{сраб}$ и мощность отпускания $P_{отп}$.

Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

5. Проанализируйте значения силы тока, напряжения и мощности в моменты срабатывания и отпускания реле. Сделайте вывод.

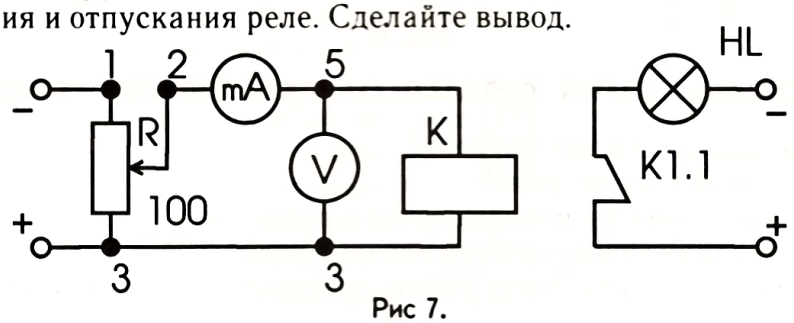


Рис 7.

Задание 3

Изучите устройство и работу поляризованного реле типов РП-4 или РП-5.

1. Снимите крышку реле и найдите основные узлы в его конструкции.
2. Подавая разнополярные напряжения на его обмотку, следите за изменением положения подвижного контакта. Сделайте вывод о принципе работы поляризованного реле.

Задание 4

Изучите принцип работы геркона и герконового реле.

1. Поднося полюсы магнита к геркону, следите за изменением состояния его контактов. Сделайте вывод.
2. Соберите управляющую и исполнительную цепи герконового реле и изучите принцип его работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№31

ЗНАКОМСТВО С КОНДЕНСАТОРАМИ

Цель: изучить устройство, условные графические обозначения (УГО) и маркировку конденсаторов.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; набор разных конденсаторов: постоянной и переменной емкости и подстроечный; разобранные бумажный и оксидный (электролитический) конденсаторы; оксидный конденсатор емкостью 1000 мкФ; омметр; лабораторные амперметр и вольтметр; светодиод с ограничительным резистором; переключатель; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Конденсаторы, как и резисторы, – наиболее распространенные электро- и радиодетали.

Простейший конденсатор состоит (рис. 1) из двух металлических пластин (обкладок), разделенных тонким слоем диэлектрика; в качестве последнего может быть воздух, слюда, бумага, керамика, другие материалы, обладающие достаточно большим удельным сопротивлением. Толщина диэлектрического слоя мала по сравнению с размерами пластин.

Конденсатор – это своеобразный накопитель электрических зарядов (или электрической энергии); он собирает их на своих обкладках (рис. 2).

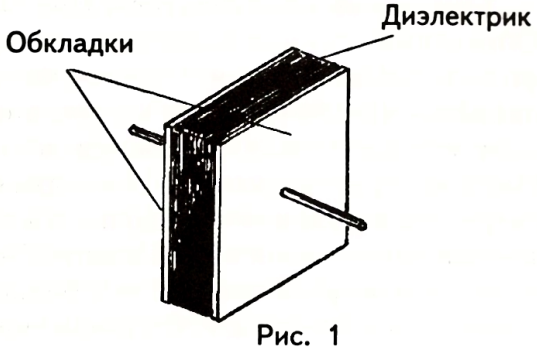


Рис. 1

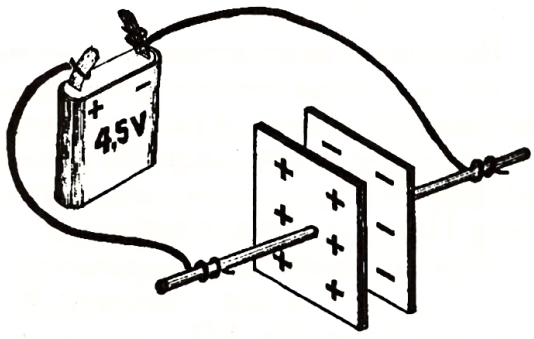


Рис. 2

Основная характеристика конденсатора — его электрическая емкость (или сокращенно «емкость»). Она характеризует способность конденсатора накапливать электрический заряд; обозначают ее буквой **С**. Электроемкость определяют по формуле

$$C = \frac{q}{U},$$

где **q** — заряд конденсатора, **U** — напряжение между его обкладками. Отсюда ясен физический смысл этой величины: электроемкость конденсатора численно равна заряду, который увеличивает на единицу напряжение между его обкладками.

За единицу электроемкости принят ***фарад*** (Ф), названный в честь известного английского ученого Майкла Фарадея, который внес огромный вклад в развитие учения об электричестве, проведя серию важнейших опытов. Емкость в 1 Ф мог бы иметь конденсатор, увеличение заряда которого на 1 Кл вызвало бы увеличение напряжения между его обкладками на 1 В. Чтобы представить, какая величина 1 фарад, скажем, что емкость даже земного шара составляет всего 0,00071 Ф.

На практике для удобства используют более мелкие единицы емкости: **микрофарад** (обозначают мкФ; 1 мкФ=10^{-6} Ф), **нанофарад** (нФ, 1 нФ = 10^{-9} Ф) и **пикофарад** (пФ, 1 пФ = 10^{-12} Ф).

Некоторые сведения о конденсаторах

Конденсаторы бывают постоянной и переменной емкости, а также подстроечные разной конструкции. На конденсаторах обычно написан набор букв и цифр. Приведем их расшифровку.

Первый элемент (буква или сочетание букв) обозначает подкласс: **К** — постоянной емкости, **КП** — переменной емкости, **КТ** — подстроечный.

Второй элемент (цифра) характеризует вид диэлектрика и некоторые особенности конструкции: **31** — слюдяные малой мощности, **42** — бумажные металлизированные, **50** — оксидно-электролитические алюминиевые, **51** — оксидно-электролитические танталовые, **52** — объемно-пористые, **53** — оксидно-полупроводниковые, **73** — полиэтитентерефталатные, **2** — подстроечные и переменные с воздушным диэлектриком, **4** — подстроечные и переменные с твердым диэлектриком.

Третий элемент пишется через дефис и соответствует порядковому номеру разработки.

Используются еще и конденсаторы со старой маркировкой. Приведем их расшифровку: **БМ** — бумажный малогабаритный, **БМТ** — бумажный малогабаритный теплостойкий, **КД** — керамический дисковый, **КЛС** — керамический литой секционный, **КМ** — керамический монолитный, **КПК-М** — подстроечный керамический малогабаритный, **КСО** — слюдяной опрессованный, **КТ** — керамический трубчатый, **МБГ** — металлобумажный герметизированный, **МБГО** — металлобумажный герметизированный однослойный, **МБМ** — металлобумажный малогабаритный, **ПО** — пленочный открытый, **ПСО** — пленочный стирофлексный открытый, **ПМ** — полистироловый малогабаритный.

Конструкции конденсаторов

Бумажные конденсаторы (рис. 3). Обкладками служат ленты алюминевой фольги, диэлектриком — пропитанная парафином, вазелином или конденсаторным маслом тонкая бумажная лента. Полоски бумаги вместе с обкладками свернуты в рулон и помещены в картонный или металлический корпус. Чем длиннее и шире обкладки, тем больше емкость конденсатора. От алюминиевых лент сделаны выводы, с помощью

которых конденсатор включают в электрическую цепь.

Слюдяные конденсаторы (рис. 4). Обкладки изготовлены из пластин медной или свинцово-оловянной фольги, между которыми помещены листки природной слюды. Конденсаторы небольших размеров, но обладающие относительно большой емкостью, сделаны из нескольких пластин, сложенных в стопку и разделенных листами диэлектрика. Каждая пара расположенных рядом пластин вместе с диэлектриком между ними образует конденсатор. Соединением параллельно этих пар пластин получают конденсатор значительной емкости.

Керамические конденсаторы (рис. 5). Они состоят из керамического изолятора в виде диска или трубки, на который нанесены снаружи и изнутри тонкие слои серебра, играющие роль обкладок. К обкладкам припаяны выводы; поверхность конденсатора покрыта эмалью для защиты от механических повреждений, действия влаги и пыли.

Оксидные (электролитические) конденсаторы (рис. 6). По устройству они напоминают бумажные: в них имеются две ленты из алюминиевой или танталовой фольги. Поверхность одной из них, являющейся положительной обкладкой (анодом), покрыта тонким слоем окиси, которая служит диэлектриком. Другой – отрицательной обкладкой (катодом) служит пропитанная специальной густой жидкостью – электролитом – бумага, которая через металлическую ленту без слоя окиси соединена со вторым внешним выводом конденсатора (в некоторых случаях – с корпусом). Эта четырехслойная полоса свернута в рулон и помещена в алюминиевый цилиндрический стакан или патрончик.

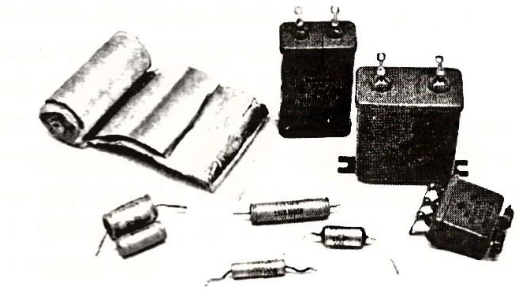


Рис. 3

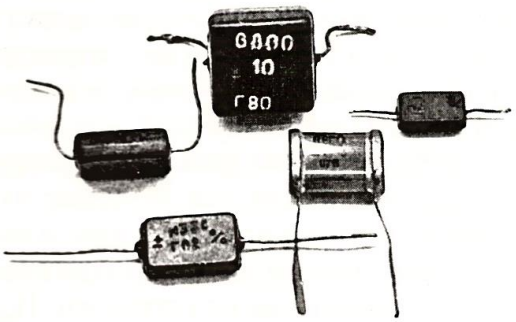


Рис. 4

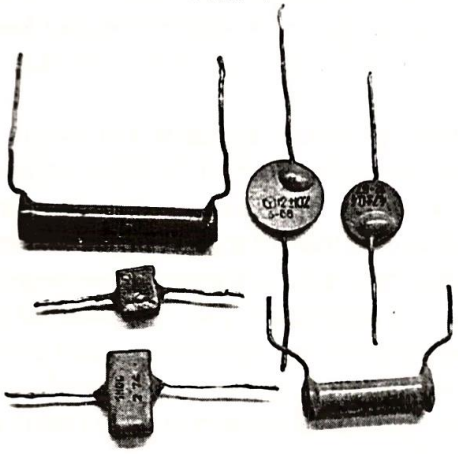


Рис. 5

Достоинство оксидных конденсаторов – их большая емкость при сравнительно незначительных габаритах. Недостаток заключается в больших токах утечки и непригодности для работы в цепях переменного тока.

При включении оксидных конденсаторов в цепь постоянного или пульсирующего напряжения обязательно соблюдение полярности выводов: т. е. «+» источника питания соединяют с выводом конденсатора, где также стоит знак «+».

Конденсаторы переменной емкости имеют более сложную конструкцию (рис. 7). Они состоят из двух групп металлических пластин, разделенных диэлектриком: воздухом, органической пленкой или керамикой. Одна группа пластин неподвижна. Это – статор; он жестко связан с корпусом конденсатора. Другая группа подвижных пластин образует ротор, размещенный на оси. При вращении оси подвижные пластины входят в зазор между неподвижными, и происходит их взаимное перекрытие. Максимальная емкость конденсатора достигается полным перекрытием пластин; она будет тем больше, чем больше пластин в конденсаторе и чем меньше расстояние между подвижными и неподвижными пластинами. При частичном перекрытии пластин емкость конденсатора меньше максимальной; чем меньше степень перекрытия, тем меньше и емкость.

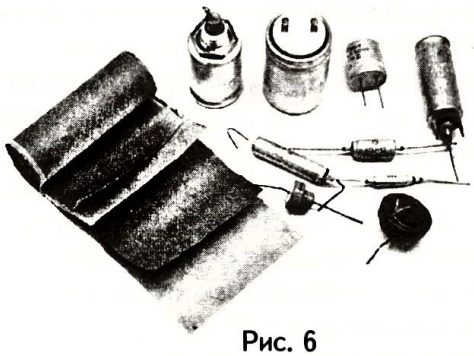


Рис. 6

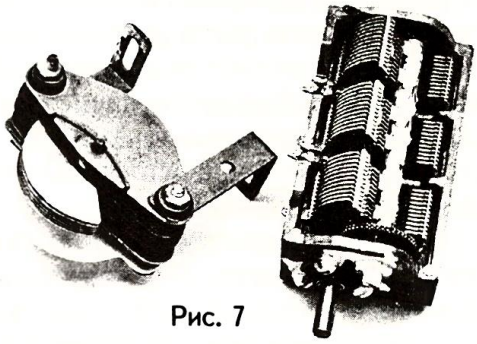


Рис. 7

Подстроечные конденсаторы (рис. 8). Это небольшие конденсаторы переменной емкости, предназначенные для настройки радиоаппаратуры. Широко распространены керамические подстроечные конденсаторы, состоящие из сравнительно массивного керамического основания и тонкого керамического диска, который может поворачиваться вокруг оси, проходящей через его центр. На внутренней поверхности основания и внешней поверхности диска нанесены в виде секторов слои серебра, являющиеся обкладками конденсатора.

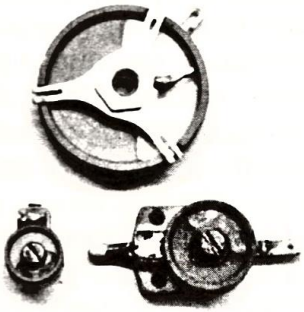


Рис. 8

Обозначение емкости конденсаторов на принципиальных схемах

Для конденсаторов постоянной емкости на схеме рядом с условным графическим обозначением указывают значение емкости в пикофарадах (рис. 9, *а*).

При емкости менее 0,01 мкФ (10 000 пФ) ставят число пикофарад без обозначения размерности, например, 15, 220, 9100.

Для емкости 0,01 мкФ и более ставят число микрофарад с добавлением букв «мк», например, 0,01 мк, 0,15 мк, 10 мк (рис. 9, б).

У оксидных (электролитических) конденсаторов возле одной из обкладок проставляют плюс. Такой же знак стоит и на корпусе конденсатора около соответствующего вывода. Для них также указывают номинальное напряжение (оно написано на корпусе конденсатора) – 5 мк х 10 В, 100 мк х 25 В, 500 мк х 50 В (рис. 9, *в*).

Для конденсаторов переменной емкости и подстроечных конденсаторов указывают пределы изменения емкости при крайних положениях ротора, например, 6...30, 10...180, 6...470 (рис. 9, *г*).

Кодирование емкости на корпусах конденсаторов

На корпусах конденсаторов номинальные емкости кодируются двумя или тремя цифрами и буквами латинского алфавита: **р** – пикофарады, **n** – нанофарады, **μ** – микрофарады.

Номинальные емкости до 91 пФ выражают в пикофарадах, используя для обозначения букву **р**;

от 100 до 9100 пФ – в долях нанофарады;

от 0,01 до 0,091 мкФ – в нанофарадах, которая обозначается буквой **n**.

Емкости от 0,1 мкФ и более выражают в микрофарадах, используя для этого букву **μ**.

Обозначение единицы емкости ставят:

впереди числа, если емкость выражается десятичной дробью: **р**91 (0,91 пФ), **n**15 (0,15 нФ = 150 пФ), **μ** 47 (0,47 мкФ);

вместо запятой, если емкость составляет целое число с десятичной дробью: 1**р**6 (1,6 пФ), 5**n**1 (5,1 нФ), 3**μ**3 (3,3 мкФ);

после числа, если емкость конденсатора равна целому числу: 10**р** (10 пФ), 22**n** (22 нФ), 50**μ** (50 мкФ).

Допустимые отклонения емкости в процентах маркируются после номинального значения емкости буквенным кодом согласно табл. 1.

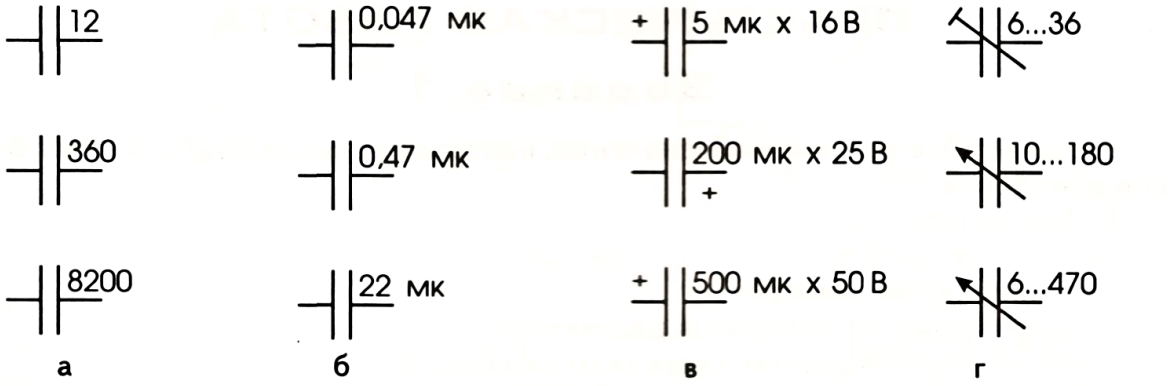


Рис. 9

Таблица 1

Буквы	B	C	D	F	G	J	K	M	N
Допуск в %	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	30

Проверка исправности конденсаторов

До использования конденсатора в конкретной конструкции нужно убедиться, что он доброкачественный: диэлектрик не пробит и утечка тока находится в пределах нормы. Для этого можно воспользоваться омметром. Если конденсатор исправен, от касания щупами омметра его обкладок он сразу же начнет заряжаться от источника питания прибора и вызовет отклонение стрелки от тока зарядки. Но последняя тотчас же возвратится в положение очень большого сопротивления конденсатора. Первоначальное отклонение стрелки будет тем значительнее, чем больше емкость конденсатора. При испытании

Задание 4

Исследуйте явление зарядки и разрядки конденсатора.

1. Наблюдайте, в течение какого времени горит светодиод (рис. 12) при включении цепи к источнику питания. Объясните, почему так происходит?

2. Исследуйте зависимость времени зарядки конденсатора от сопротивления цепи (рис. 13), следя за увеличением яркости свечения светодиоида при подключении разряженного конденсатора к источнику питания при разных положениях движка переменного резистора **R**, и сделайте вывод.

3. Изучите зависимость времени разрядки конденсатора от сопротивления цепи разрядки. Схему установки составьте самостоятельно, используя детали предыдущего исследования.

4. Соберите цепь по рис. 14, и объясните явление, наблюдаемое при замыкании ключа.

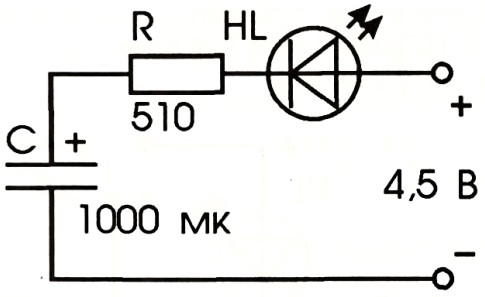


Рис. 12

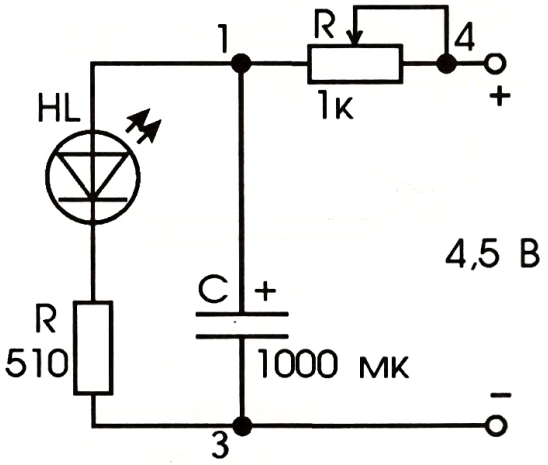


Рис. 13

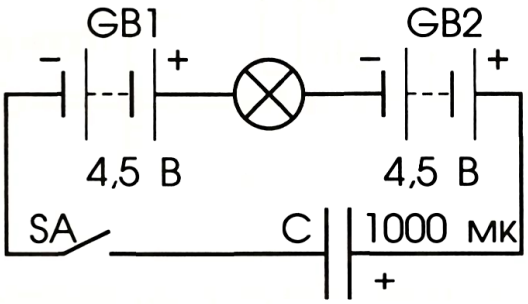


Рис. 14

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№32

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Цели: научиться экспериментальным путем находить электроемкость конденсатора; проверить справедливость формул для расчета емкости батареи конденсаторов при их параллельном и последовательном соединении.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; микроамперметр на 100 мкА или авометр АВО-63; оксидные конденсаторы 5 мкФ, 10 мкФ, 20 мкФ; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Известно, что при подключении конденсатора к источнику напряжения его обкладки заряжаются, т. е накапливают электрическую энергию. Заряды на обкладках равны по величине, но противоположны по знаку.

Если обкладки заряженного конденсатора подключить к гальванометру, то стрелка прибора резко отклонится, регистрируя ток разрядки. Так как емкость конденсатора характеризует его способность накапливать электрическую энергию, то конденсаторы разной емкости, предварительно заряженные от одного и того же напряжения, при разрядке дадут разные отбросы стрелки гальванометра: чем больше емкость, тем больше отброс (рис. 1). Значит, между емкостью **C** конденсатора и числом делений **n**, на которые отклоняется стрелка гальванометра, существует зависимость: $\mathbf{C = kn}$; откуда $k = \frac{C}{n}$, т. е. коэффициент пропорциональности **k** численно равен электроемкости, вызывающей отклонение стрелки прибора на одно деление шкалы.

По известному коэффициенту пропорциональности k и по числу делений, на которое отбрасывается стрелка прибора при разрядке конденсатора, можно определить неизвестную емкость другого конденсатора, заряженного от данного источника тока.

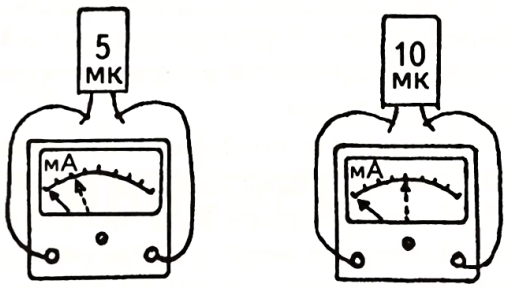


Рис. 1

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое электроемкость конденсатора? В каких единицах она измеряется?
2. Почему происходит отброс стрелки гальванометра при подключении к нему заряженного конденсатора?
3. Как связаны между собой емкость конденсатора и число делений, на которое отклоняется стрелка гальванометра?
4. Что такое коэффициент пропорциональности **k** в формуле $C = kn$?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Определите емкость конденсатора по способу отброса стрелки гальванометра. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2, *а* и *б*. Конденсатор **C** возьмите оксидный емкостью 5 мкФ; в качестве измерительного прибора – микроамперметр на 100 мкА (или авометр АВО-63, включенный на предел измерений постоянного тока 0,5 мА); роль переключателя **SA** может выполнить кусок провода.

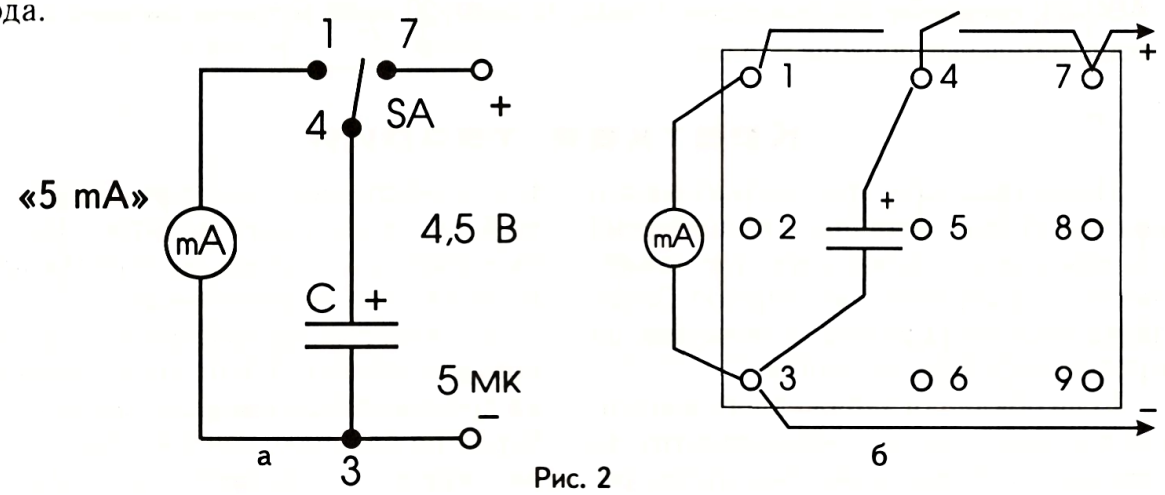


Рис. 2

Помните: оксидный конденсатор включают в цепь с учетом полярности (его вывод «+» подключают к клемме «+» источника тока).

2. Зарядите конденсатор, соединив его на короткое время с источником постоянного тока переключателем **SA**. Затем конденсатор переключите на измерительный прибор и по шкале определите число делений **n**, на которое отбрасывается стрелка.
3. Вычислите коэффициент пропорциональности **k**.
4. Повторите опыт с другим конденсатором известной емкости, например, 10 мкФ.
5. По полученным **k** вычислите его среднее значение.
6. Повторите опыт с конденсатором неизвестной емкости C_x (надписи на его корпусе заклеены), которая лежит в пределах 1–20 мкФ. Зафиксируйте отклонение стрелки прибора на число делений n_x. Зная **k** и n_x, вычислите емкость конденсатора по формуле $C_x = k_{ср} n_x$.

Таблица 1

№ опыта	C, мкФ	n	k	$k_{ср.}$
1				
2				

Задание 2

Определите общую емкость системы из двух параллельно и последовательно соединенных конденсаторов. Значение коэффициента **k** возьмите из задания 1. Результаты занесите в табл. 2.

1. Соберите цепь по рис. 3, где конденсаторы **C1** и **C2** соединены параллельно.
2. По отбросу стрелки прибора определите их общую емкость $\mathbf{C_{общ}}$.
3. Сопоставьте данные колонок 2, 3 и 6 и убедитесь в справедливости формулы $\mathbf{C_{общ} = C1 + C2}$.

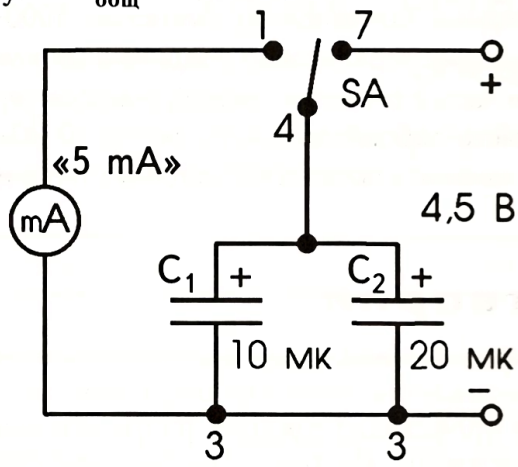


Рис. 3

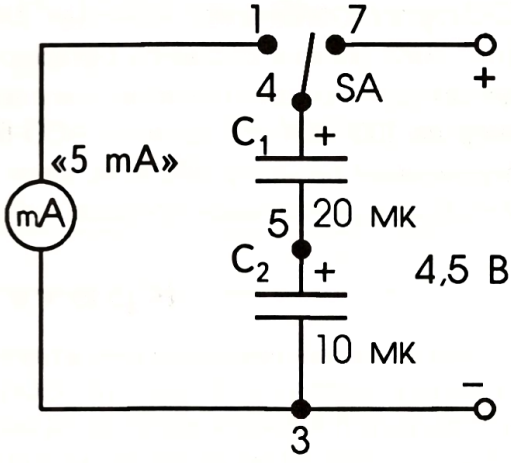


Рис. 4

Задание 3

Действуя по аналогии выполнения задания 2, убедитесь в справедливости формулы $\frac{1}{C} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2}$ **для последовательного соединения конденсаторов.**

Электрическую цепь соберите по рис. 4. Данные занесите в табл. 2.

Таблица 2

$k_{ср.}$	C_1, мкФ	C_2, мкФ	Способ соединения	n	$C_{общ.}$, мкФ
			параллельно		
			последовательно		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основан использованный в данной работе способ измерения емкости конденсатора?
2. По каким формулам рассчитывают общую емкость батареи при последовательном и параллельном соединении конденсаторов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№33

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА, ЕМКОСТИ И ЭНЕРГИИ КОНДЕНСАТОРА

Цель: научиться экспериментальным путем находить характеристики конденсатора.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; оксидный конденсатор емкостью 1000—2000 мкФ (можно составить батарею из нескольких параллельно соединенных конденсаторов меньшей емкости); секундомер (или часы с отсчетом секунд); микроамперметр на 100 мкА или авометр АВО-63; вольтметр лабораторный; резистор 10 кОм; переменный резистор 500 кОм; ключ (можно заменить проводом); источник питания 4—6 В; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

При подключении конденсатора к источнику постоянного тока его обкладки заряжаются равными по величине, но противоположными по знаку зарядами. Отключенный от источника тока конденсатор на длительное время сохраняет накопленные заряды (электрическую энергию), так как утечка тока через разделяющий обкладки диэлектрик мала.

Если обкладки конденсатора соединить с потребителем электрической энергии, например, резистором, то по цепи потечет ток разряда; его величина определяется формулой

$$I = \frac{q}{t}.$$

Но заряд на обкладках с течением времени уменьшается, поэтому и сила тока постепенно убывает. Зависимость силы тока от времени **I = f(t)** показана на рис. 1. Чем больше электрическое сопротивление внешней цепи, тем дольше происходит процесс разрядки конденсатора. Из рис. 1 видно, что площадь, ограниченная графиком **I = f(t)**

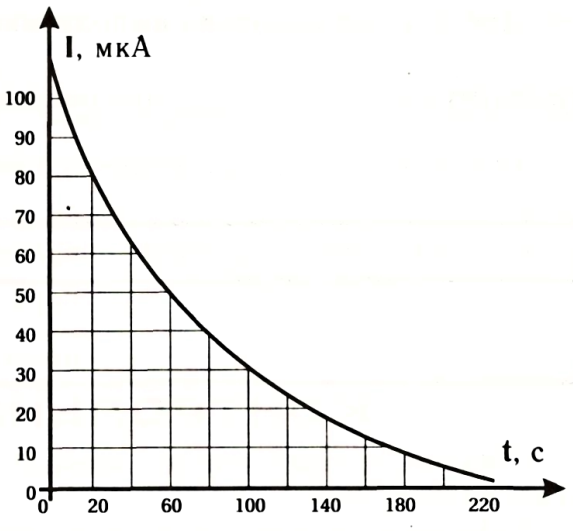


Рис. 1

и осями координат, численно равна заряду, отданному конденсатором:

$$q = It.$$

Если вычислить заряд конденсатора q, полученный им от источника тока в начале разряда, то можно определить емкость конденсатора:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Первоначально энергию **W** заряженного конденсатора вычисляют по формуле $W = \frac{q^2}{2C}$ или $W = \frac{CU^2}{2}$.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как по току разряда определить заряд конденсатора?
2. Что означает емкость конденсатора и как она определяется?
3. Как рассчитать энергию заряженного конденсатора?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

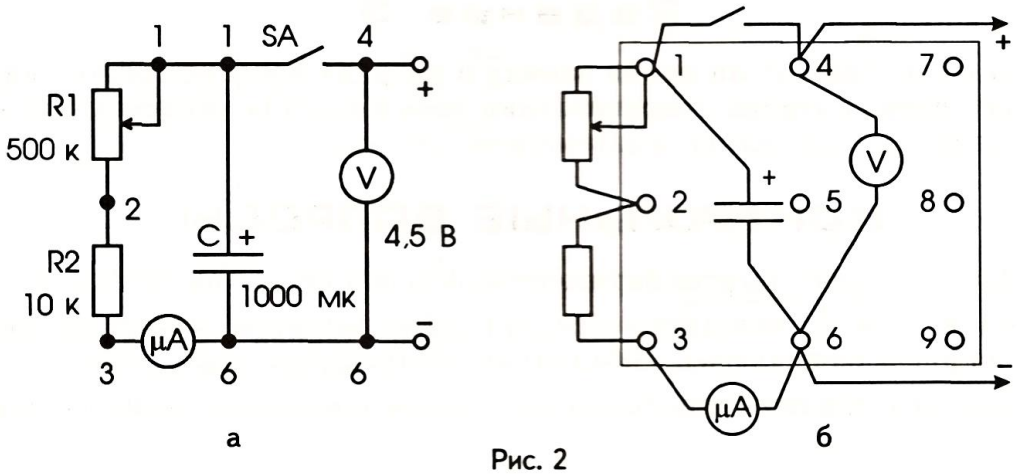
Задание 1

Постройте график I = f(t) разряда заряженного конденсатора. Результаты наблюдений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Время разряда t, с	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
Сила тока I, 10^{-6}A												

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2, *а*, *б*. Конденсатор возьмите емкостью в пределах 1000–2000 мкФ. Микроамперметр на 100 мкА можно заменить авометром, включенным на предел измерения тока до 0,2 мА, что соответствует 200 мкА. Переменный резистор **R1** на 500 кОм позволяет установить начальный ток разряда конденсатора на удобном для отсчета делении шкалы прибора 100 мкА или 200 мкА. Резистор **R2** 10 кОм защищает микроамперметр от короткого замыкания с источником тока или конденсатором.



а б

Рис. 2

2. Замкните ключ **SA**. Конденсатор зарядится до напряжения питания **U**, а микроамперметр покажет ток, проходящий через цепочку резисторов **R1–R2**. Установите движком резистора **R1** стрелку прибора на правое предельное деление шкалы и значение силы тока занесите в табл. 1, сопоставив ему начальный момент времени 0.

3. Разомкните ключ и одновременно включите секундомер. Конденсатор начнет разряжаться через резисторы **R1, R2** и микроамперметр. В табл. 1 фиксируйте значение силы тока через каждые 20 с до полного разряда конденсатора.

4. Для уточнения показаний опыт повторите еще раз.

5. По полученным данным постройте график **I = f(t)** зависимости силы тока разряда конденсатора от времени, откладывая по оси абсцисс время, а по оси ординат силу тока.

Задание 2

Определите, пользуясь полученным графиком, заряд, емкость и энергию конденсатора. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 2.

1. Вычислите, какому заряду **Δq** соответствует площадь одной клетки. Она равна произведению сторон этого маленького прямоугольника **ΔI·Δt**, где **ΔI** и **Δt** единицы масштаба для силы тока и времени, соответствующие сторонам клетки.

2. Вычислите первоначальный заряд конденсатора по формуле **q=N Δq**, где **N** – число всех клеток.

3. Зная заряд конденсатора и начальное напряжение на его обкладках, рассчитайте емкость конденсатора в фарадах.

4. Вычислите первоначальную энергию заряженного конденсатора.

Таблица 2

U, В	ΔI, А	Δt, с	Δq, Кл	N	q, Кл	C, Ф	W, Дж

Задание 3

Исследуйте, зависит ли время заряда и разряда конденсатора от напряжения источника питания, сопротивления цепи и емкости конденсатора. Обоснуйте Ваше предположение, а затем проверьте опытом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Куда «исчезает» энергия заряженного конденсатора при его разряде?

2. Помня о том, что вольтметр обладает сопротивлением, объясните, почему в схеме на рис. 2 он подключен к обкладкам конденсатора через ключ.

3. Приведите примеры использования энергии заряженного конденсатора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 34

ИЗУЧЕНИЕ ОДНОСТОРОННЕЙ ПРОВОДИМОСТИ ДИОДА

Цель: узнать, как зависит сопротивление p-n-перехода диода от полярности приложенного напряжения.

Литература: _____

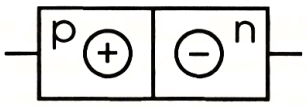
Оборудование: макетная плата; вольтметр лабораторный; омметр; лампа МН 6,3 х 0,3 А – 2 шт.; диод плоскостной ($I_{ПР} \geq 0{,}3$А), например, КД209 – 2 шт.; источник питания 4–6 В; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

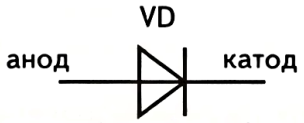
Большой практический интерес представляет группа полупроводниковых приборов, получивших название «диоды». Приставка «**ди**» в слове «**диод**» означает «два»: она указывает на существование двух примыкающих друг к другу зон разной проводимости (рис. 1, *а*). Условное графическое обозначение диодов приведено на рис. 1, *б*: треугольник соответствует *p*-области и называется «**анодом**», а вертикальный прямолинейный отрезок представляет *n*-область, он получил название «**катод**». Треугольник можно рассматривать как острие стрелки, показывающей направление тока.

Диод обладает замечательным свойством. Он пропускает ток только в одном направлении – от анода к катоду (рис. 2).

Вспомним, что за направление тока принято направление движения положительных зарядов, т. е. направление от положительного полюса источника к отрицательному. Значит, **диод пропускает ток только в том случае, когда к аноду подключен вывод «+», а к катоду «–» питания.**



а



б

Рис. 1

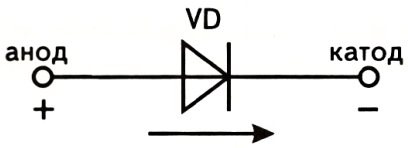


Рис. 2

Вопросы для самоконтроля по теории

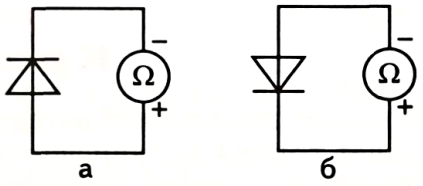
1. Чем отличаются по своим электропроводным свойствам полупроводники от проводников и диэлектриков?
2. Что является носителем тока в полупроводниках?
3. Как получают полупроводники с *p*- и *n*-типами проводимости?
4. Как образуется запирающий слой у *p-n*-перехода?
5. Чем объяснить зависимость сопротивления диода от способа его включения в электрическую цепь?
6. Что такое прямой и обратный токи диода?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Измерьте сопротивление диода при его прямом и обратном включении (рис. 3, *а* и *б*).

1. Подключите диод к омметру и измерьте его сопротивление. Сделайте вывод о том, «прямым» или «обратным» оказалось включение.
2. Измените полярность соединения и вновь измерьте сопротивление диода. Как теперь включен диод?
3. Сравните прямое и обратное сопротивления диода.
4. Определите выводы диода: анод и катод.



а б

Рис. 3

Примечание. Выполняя исследования, имейте в виду следующее: а) если при обоих включениях сопротивление диода близко к нулю, то произошел пробой (короткое замыкание) *p-n*-перехода; б) если сопротивление диода в обоих направлениях включения бесконечно велико, то имеет место разрыв (сгорание) *p-n*-перехода.

Задание 2

Изучите прямое включение диода.

1. Соберите цепь по рис. 4. Убедитесь, что лампа **HL** горит. Объясните, почему.
2. Измерьте напряжение U_1 на лампе, U_2 на диоде и **U** на участке «лампа-диод». Убедитесь, что последовательно соединенные лампа и диод делят общее напряжение между собой.
3. Сравнивая напряжение на лампе и диоде, ответьте, что из них оказывает большее, а что — меньшее сопротивление току?

Задание 3

Изучите обратное включение диода.

1. Соберите цепь по рис. 5. Убедитесь, что лампа **HL** не горит. Объясните, почему.
2. Измерьте напряжение U_1, U_2, U. Убедитесь, что почти все напряжение приходится на долю диода. Объясните, какое сопротивление оказывает току диод, включенный в обратном направлении.

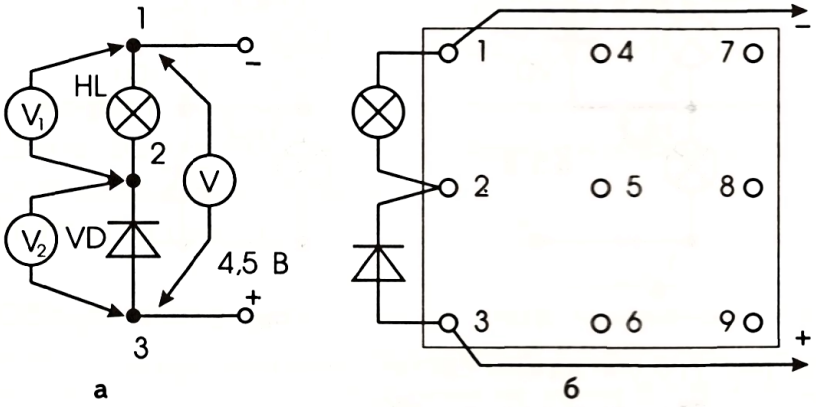


Рис. 4

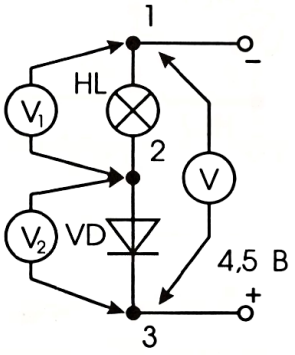


Рис. 5

Примечание. При проведении измерений помните о том, что сопротивление вольтметра во много раз меньше обратного сопротивления диода.

Задание 4

Определите сопротивление лампы и диода, включенного в прямом направлении. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите цепь по рис. 6.

Таблица 1

I, А	$U_л$, В	$U_д$, В	$R_л$, Ом	$R_д$, Ом

2. Измерьте силу тока в цепи и напряжение на лампе и диоде.
3. По закону Ома для участка цепи вычислите сопротивление лампы $R_л$ и диода $R_д$.

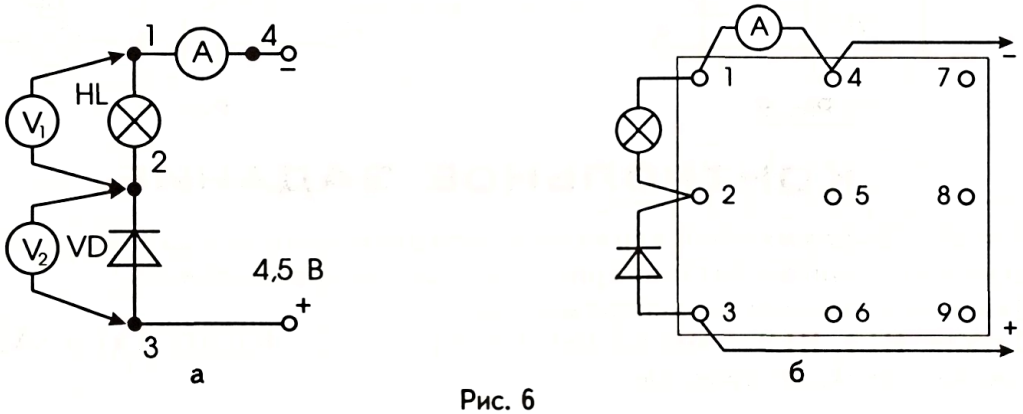
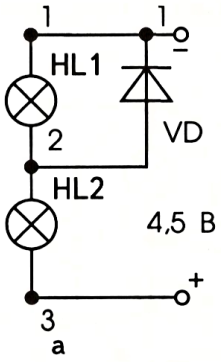


Рис. 6

Задание 5

Соберите цепи по рис. 7, *а* и *б* и объясните:

1. Почему в схеме, собранной по рис. 7, *а*, лампа **HL2** горит ярко, а лампа **HL1** тускло (или совсем не горит)?



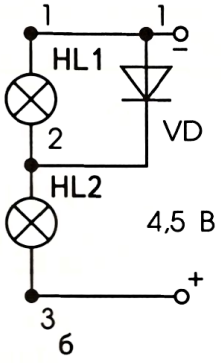


Рис. 7

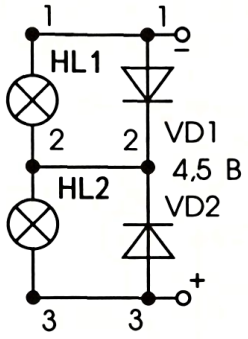


Рис. 8

2. Почему в схеме на рис. 7, *б* обе лампы светят одинаково ярко?

Задание 6

Соберите схемы по рис. 8 и укажите путь тока в них.

Как изменится яркость свечения ламп при изменении полярности питания? Ваш вывод проверьте на опыте.

Задание 7

Соберите схему по рис. 9 и проверьте, как изменится яркость свечения ламп при изменении полярности питания. Объясните наблюдаемое явление.

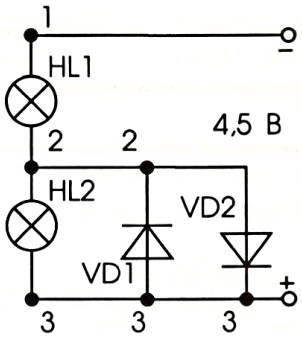


Рис. 9

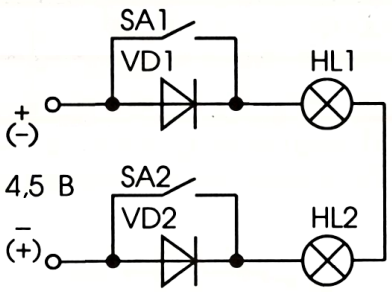


Рис. 10

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Какой из выключателей управляет свечением ламп при данной полярности включения источника питания (рис. 10) и при противоположной?

Ваш вывод проверьте экспериментом.

Детали: **HL1**, **HL2** – МН 6,3 Вх0,3 А, VD1, VD2 – КД209, **SA1** и **SA2** можно заменить кусками провода.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№35

СНЯТИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДА

Цель: исследовать зависимость прямого и обратного токов через p-n-переход диода от приложенного напряжения.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; переменный резистор на 100—1000 Ом; резистор на 10 Ом; диод кремниевый КД209; диод германиевый Д9; вольтметр постоянного тока с ценой деления не менее 0,1 В; миллиамперметр постоянного тока на 5/50 мА; микроамперметр; источники постоянного тока на 1,5—4,5 В и 36 В; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Контакт *p*- и *n*-полупроводников, названный *p-n*-переходом, играет главную роль в работе диода. После соединения *p*- и *n*-областей друг с другом начинается процесс взаимной диффузии основных носителей заряда через контакт. Вследствие этого в *p*-области на границе с *n*-областью создается отрицательный пространственный заряд, а *n*-области на границе с *p*-областью — положительный пространственный заряд (рис. 1).

Наличие зарядов противоположных знаков вдоль границы раздела разного рода полупроводников приводит к появлению между этими областями электрического поля, направленного из области *n* в область *p*. Возникшее поле $\mathbf{E}_{диф.}$ (его называт диффузионным полем) оказывает тормозящее действие на дальнейшее перемещение основных носителей заряда. Этот слой называется запирающим слоем. Контактная разность потенциалов (напряжение) запирающего слоя составляет 0,1—0,2 В в германиевых диодах и 0,6—0,7 В в кремниевых.

Вольт-амперная характеристика диода (рис. 2), показывающая зависимость протекающего по нему тока от значения и полярности поданного напряжения, является его основной характеристикой.

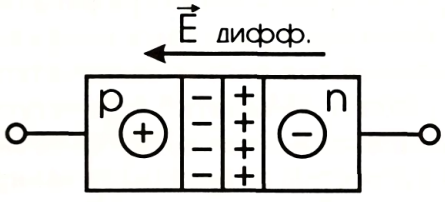


Рис. 1

Напряжение $U_{пр.}$, приложенное к диоду, называют прямым, если «плюс» питания соединён с *p*-областью (анодом) диода, а «минус» – с *n*-областью (катодом). В этом случае внешнее электрическое поле **E** направлено навстречу внутреннему диффузионному полю $E_{диф.}$. При этом *p-n*-переход имеет малое сопротивление, и через диод течет прямой ток, вызванный движением основных носителей заряда (рис. 3, *а*).

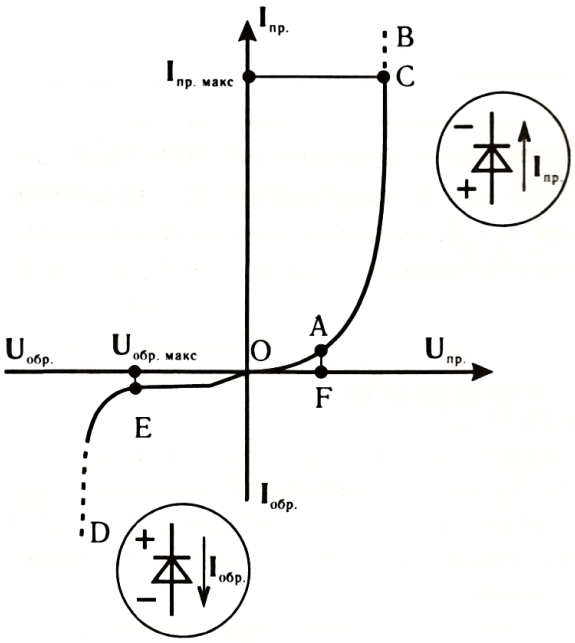


Рис. 2

Зависимость силы прямого тока от прямого напряжения показана на рис. 2 в верхней правой части графика; ветвь OB. Вначале, при малых напряжениях, прямой ток растет незначительно. Это участок OA (загиб или «ступенька»), происхождение которого объясняется разностью потенциалов запирающего слоя. Дальше ветвь AB идет круто вверх, обозначая быстрый рост прямого тока через диод с увеличением приложенного прямого напряжения.

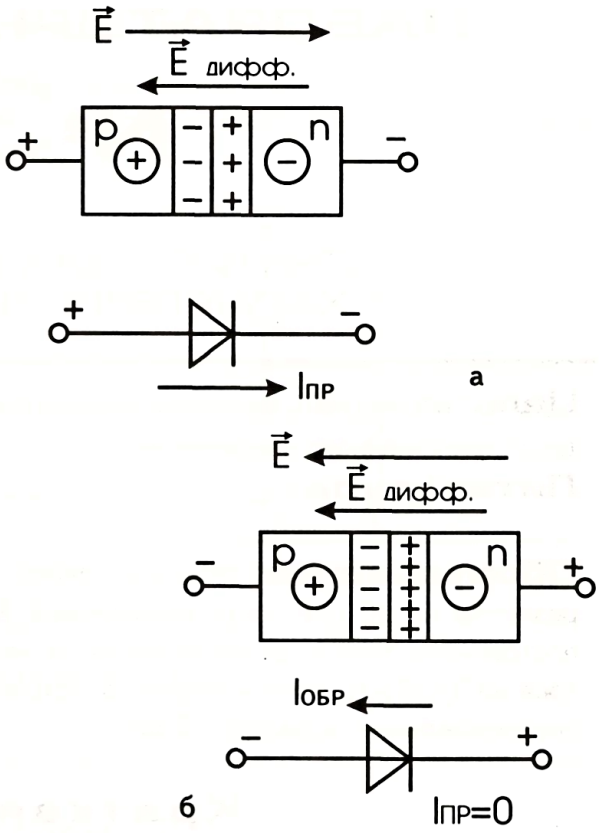


Рис. 3

На ней лежит один из основных параметров диода (точка C) – максимально допустимый прямой ток $I_{пр. макс.}$ через диод. При его превышении может произойти разрушение *p-n*-перехода из-за его перегрева.

При подаче на диод обратного напряжения $U_{обр.}$, т. е. такого, при котором с анодом соединен «минус» источника тока, а с катодом – «плюс» (рис. 3, *б*), *p-n*-переход имеет большое сопротивление и в цепи течет небольшой обратный ток $I_{обр.}$, обусловленный движением неосновных носителей зарядов. Эта зависимость показана на рис. 2 в левой нижней части графика – ветвь OD.

Существует еще один важный параметр диода – его максимальное обратное напряжение $U_{обр. макс.}$ (соответствует точке E), при превышении которого может произойти разрушение *p-n*-перехода.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Когда по диоду течет прямой ток?
2. Как выглядит график зависимости прямого тока от приложенного напряжения?
3. Чем обусловлен обратный ток диода?
4. Как выглядит график зависимости обратного тока от приложенного напряжения?
5. Почему при использовании диода недопустимо превышение максимально допустимой силы прямого тока $I_{пр.\ макс.}$ и максимально допустимого обратного напряжения $U_{обр.\ макс.}$?

Покажите эти величины на графике.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

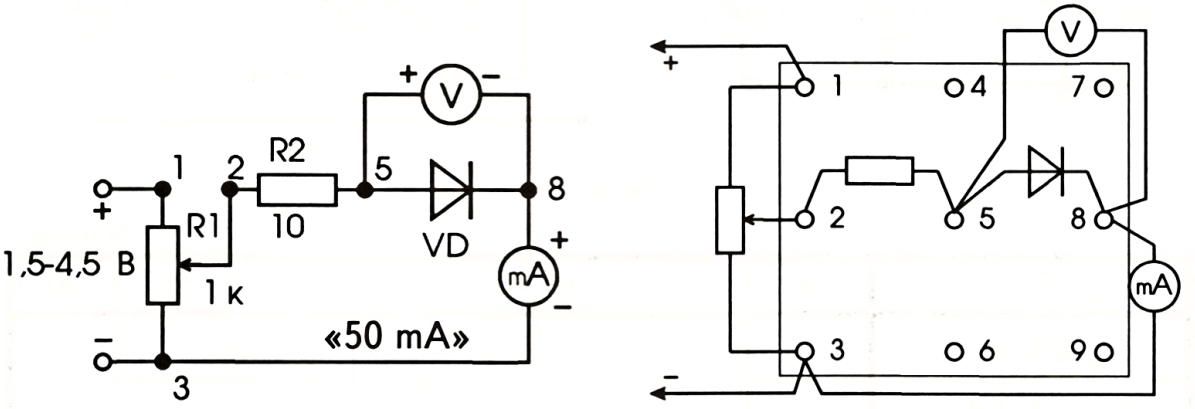
Задание 1

Постройте прямую ветвь графика вольт-амперной характеристики кремниевого диода. Показания миллиамперметра занесите во вторую строку табл. 1.

Таблица 1

$U_{пр}$, В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$I_{пр}$, мА, Si									
$I_{пр}$, мА, Ge									

1. Соберите электрическую цепь по рис. 4, *а* и *б*. В ней переменный резистор **R1** служит для плавного регулирования напряжения на диоде, а резистор **R2** играет роль ограничителя тока, защищая миллиамперметр от перегрузки.



а б

Рис. 4

2. Напряжение на кремниевом диоде увеличивайте каждый раз на 0,1 В, доведя его до 0,7–0,8 В; каждый раз фиксируйте показание миллиамперметра.

Внимание! Сила прямого тока не должна превышать максимально допустимого среднего выпрямленного тока для данного типа диода.

3. По полученным данным постройте график зависимости силы прямого тока от напряжения. Рекомендуемый масштаб: 1 см–5 мА; 0,1 В.

4. По графику определите значение разности потенциалов запирающего слоя *p-n*-перехода.

Задание 2

В электрической цепи, собранной по рис. 4, кремниевый диод замените на германиевый и выполните пункты задания 1.

1. Прямое напряжение на германиевом диоде не должно превышать 0,5–0,6 В. Показание миллиамперметра занесите в третью строку табл. 1.

2. Прямую ветвь вольт-амперной характеристики германиевого диода постройте в тех же координатных осях, что и для кремниевого.

Задание 3

Соберите установку по рис. 5 и исследуйте зависимость силы обратного тока диодов от приложенного напряжения. Показание приборов занесите в табл. 2. Обратите внимание на то, что сила тока измеряется микроамперметром.

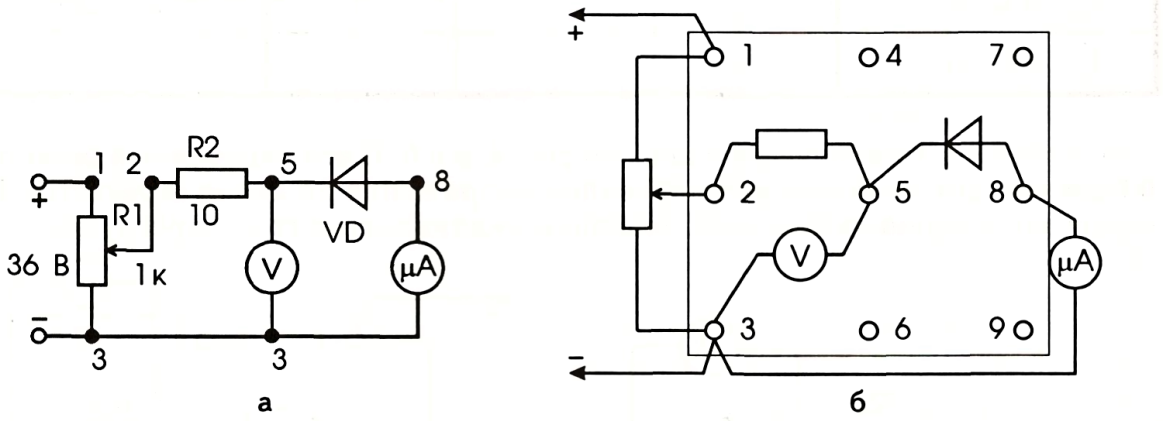


Рис. 5

Таблица 2

$U_{обр}$, В	0	5	10	15	20	25	30
$I_{обр}$, μA, Si							
$I_{обр}$, μA, Ge							

Примечание. Схема для исследования зависимости обратного тока диода от напряжения отличается от предыдущей тем, что на потенциометр **R1** подается довольно высокое напряжение (можно использовать сетевой блок питания, например, В-24), и клеммы вольтметра охватывают не только электроды диода, но и последовательно соединенный с ним микроамперметр. Это легко можно объяснить, если вспомнить о сопротивлении вольтметра, которое гораздо меньше обратного сопротивления диода. Если бы мы подключили его к диоду так же, как на рис. 4, микроамперметр показывал бы не столько силу обратного тока диода, сколько силу тока, проходящего через катушку вольтметра. А при таком соединении (рис. 5) весьма малым сопротивлением микроамперметра по сравнению с очень большим сопротивлением диода можно пренебречь. Ограничительный резистор **R2** в этой схеме можно исключить.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем отличаются вольт-амперные характеристики диода и резистора? Почему?
2. Сравните вольт-амперные характеристики кремниевого и германиевого диодов. Есть ли в них различия? Что в них общего?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №36

ЗНАКОМСТВО С ЛАБОРАТОРНЫМ ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ - ИПФ И ЕГО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

Цели: изучить устройство лабораторного источника питания; вычислить коэффициент трансформации трансформатора; усовершенствовать источник питания.

Литература: _____

Оборудование: лабораторный источник питания ИПФ на 42/4 В; многожильный медный провод в гибкой изоляции длиной 15—20 см—3 шт.; паяльник с принадлежностями для пайки; авометр АВО-63 (мультиметр) или вольтметр постоянного тока и вольтметр переменного тока; отвертка.

Краткая теория

В промышленности, сельском хозяйстве, быту широко используется **переменный электрический ток**, сила и направление которого периодически изменяются. Переменный ток выгодно отличается от постоянного тем, что он легко преобразуется при помощи специального устройства — **трансформатора**.

Внешний вид распространенных трансформаторов показан на рис. 1, условное графическое обозначение — на рис. 2. Он состоит из стального сердечника, набранного из отдельных, изолированных друг от друга пластин, и обмоток: первичной I и вторичной II. Первичная обмотка состоит из n_1 витков, к ней подводится напряжение U_1; вторичная обмотка состоит из n_2 витков, с нее снимается напряжение U_2.

Работа трансформатора основана на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к сети переменного тока в ней и в сердечнике возникает переменное магнитное поле, которое, пронизывая витки вторичной обмотки, индуцирует в них ЭДС. Соотношение количества витков первичной и вторичной обмоток, называемое коэффициентом трансформации **K**, определяет уровень напряжения на вторичной обмотке: $K = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$.

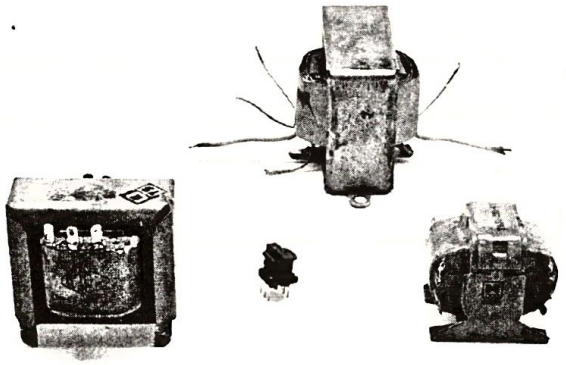


Рис. 1

У понижающего напряжение трансформатора **K>1**, у повышающего – **K<1**.

Трансформатор – это пассивный передатчик электрической энергии из одной цепи, к которой подключена первичная обмотка, в другую, к которой подключена нагрузка. У идеального трансформатора мощности в обоих обмотках равны: $P_1=P_2$, $\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}$.

Трансформатор, повышая напряжение, понижает силу тока и наоборот. В реальном трансформаторе часть энергии всегда теряется на нагревание проводов и сердечника. Поэтому мощность цепи вторичной обмотки всегда меньше мощности, потребляемой первичной обмоткой: $P_2<P_1$.

В данной работе используется лабораторный источник питания ИПФ, который переменное напряжение 42 (36) В преобразует в напряжение 4–4,5 В. Внешний вид используемых в школах источников питания дан на рис. 3. Их электрическая схема приведена на рис. 4 (сплошной контур). Она состоит из трансформатора, на первичную обмотку которого подается переменное напряжение 42 (36) В. Вторичная обмотка имеет средний вывод, делящий ее на две равноценные полуобмотки II-а и II-б. На выводах каждой полуобмотки имеется переменное напряжение около 5 В. Следовательно, вся вторичная обмотка

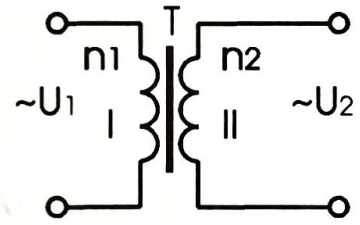


Рис. 2

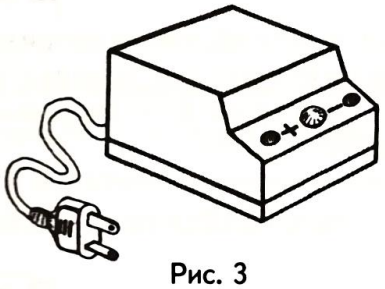


Рис. 3

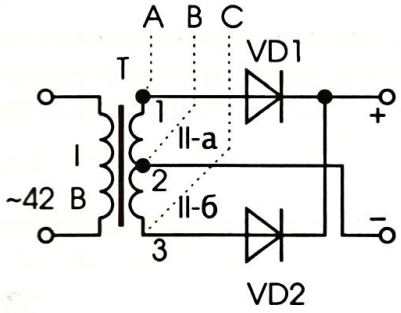


Рис. 4

имеет переменное напряжение около 10 В (полуобмотки соединены последовательно).

Кроме понижения переменного напряжения, ИПФ преобразует переменный ток в постоянный. Для этого использованы два мощных диода **VD1** и **VD2**, обеспечивающие двухполупериодное выпрямление напряжения около 4 В.

Примечание. В некоторых модификациях блока питания имеется индикаторная лампа, которая на рис. 4 не указана.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как устроен трансформатор?
2. Для чего служит трансформатор?
3. Как определяют коэффициент трансформации?
4. Какой трансформатор называют повышающим и какой – понижающим?
5. Как связаны между собой сила тока и напряжение первичной и вторичной обмоток?

6. Почему мощность, снимаемая со вторичной обмотки, меньше мощности, подводимой к первичной обмотке?

7. Почему сердечник трансформатора собирают из отдельных пластин?

8. Какие преобразования переменного тока происходят в источнике питания ИПФ?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Изучите устройство источника питания ИПФ.

1. Снимите корпус источника питания.

2. Найдите трансформатор, выводы его первичной и вторичной обмоток, выпрямительные диоды.

Включите источник питания в сеть и вольтметром постоянного тока (авометром) измерьте напряжение на его выводах.

Задание 2

Вычислите коэффициент трансформации трансформатора.

1. Вольтметром переменного тока (авометром) измерьте напряжение на первичной обмотке трансформатора U_1, на выводах вторичной обмотки U_2 и одной из полуобмоток U_3.

2. Вычислите коэффициенты трансформации $K_1 = \frac{U_1}{U_2}$, $K_2 = \frac{U_1}{U_3}$ и сравните их.

Задание 3

Усовершенствуйте источник питания.

1. Выключите источник питания из сети.

2. Припаяйте медные многожильные проводники в изоляции к выводам вторичных полуобмоток А, В, С, (рис. 4, пунктирная линия), не нарушая конструкции прибора. Для среднего вывода В возьмите провод, отличающийся по цвету изоляции от проводов А и С. Выведенные наружу концы проводов можно оставить свободными, но лучше всего присоединить их к трем клеммам, установленным на задней стенке корпуса прибора (рис. 5).

3. Приклейте нарисованное на бумаге графическое обозначение трансформатора к задней стенке корпуса.

4. Измерьте вольтметром переменного тока напряжения между выводами АВ, ВС, АС и сравните их.

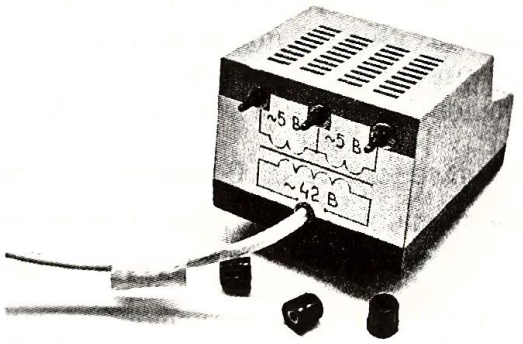


Рис. 5

Примечание. Усовершенствованный источник питания ИПФ будет нами использован во многих последующих работах в качестве источника переменного напряжения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№37

ЗНАКОМСТВО С ОСЦИЛЛОГРАФОМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПО ЕГО ОСЦИЛЛОГРАММЕ

Цели: ознакомиться с устройством и принципом работы осциллографа; изучить осциллограмму переменного тока.

Литература: _____

Оборудование: осциллограф ОМШ-3М (или другой малогабаритный лабораторный); руководство по эксплуатации осциллографа; звуковой генератор лабораторный; вольтметр переменного тока (авометр, мультиметр); соединительные провода – 2 шт.

Краткая теория

Электронный осциллограф (рис.1) является универсальным электроизмерительным прибором. С его помощью можно наблюдать различные колебательные процессы и измерить напряжение, силу тока, частоту, разность фаз переменных токов.

Основной частью осциллографа является электронно-лучевая трубка (рис. 2). Электроны испускаются расположенной в конце узкой части трубки *1* так называемой «электронной пушкой», которая состоит из нити накала *2* и катода *3*. Модулятор *4* регулирует поток летящих к экрану электронов *5*, на анод *6* (их может быть два) подается фокусирующее и ускоряющее пучок электронов напряжение. Далее расположены вертикально и горизонтально отклоняющие пластины *7* и *8*. Внутренняя часть экрана *9* трубки покрыта специальным веществом люминофором, способным светиться под действием пучка электронов.

Основными узлами осциллографа, кроме трубки, являются блок питания, блок развертки с генератором пилообразного напряжения, усилитель исследуемого сигнала и синхронизатор. Пилообразное напряжение (его график **U=f(t)** напоминает форму пилы, рис. 3) подается на горизонтально отклоняющие пластины для разворачивания луча по горизонтали. Напряжение исследуемого сигнала с усилителя подается на



Рис. 1

вертикально отклоняющие пластины (рис. 4). Для стабильного (неподвижного) состояния графика сигнала на экране частота развертки луча и частота исследуемого сигнала должны быть синхронизированы, это обеспечивается блоком синхронизации.

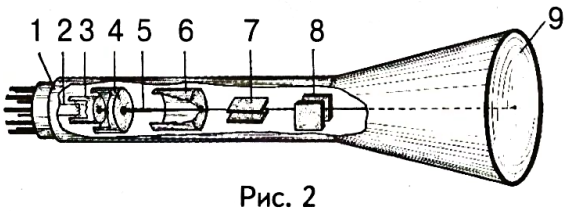
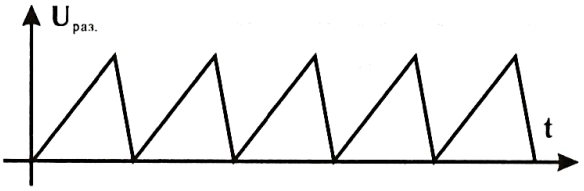
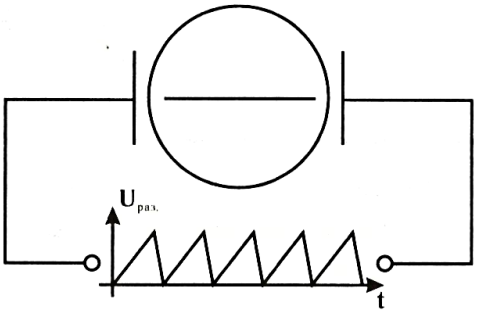


Рис. 2



а



б

Рис. 3

Количество колебаний на экране зависит от соотношения периодов исследуемого сигнала и пилообразного напряжения (рис. 5, *а* и *б*). При совпадении их частот электронный луч на экране вычерчивает один период графика изменения напряжения сигнала. Если же частота генератора развертки будет в 2, 3 и т. д. раза меньше частоты колебаний исследуемого сигнала, то на экране осциллографа будет вычерчен график двух, трех и т. д. периодов колебаний.

Кроме регулировки частоты развертки («грубо» и «плавно»), на лицевой панели осциллографа располагаются регуляторы уровня входного сигнала, которые позволяют выбрать нужную амплитуду исследуемых сигналов на экране. Масштабная сетка на экране позволяет определить напряжение входного сигнала при известном положении калибровочного переключателя.

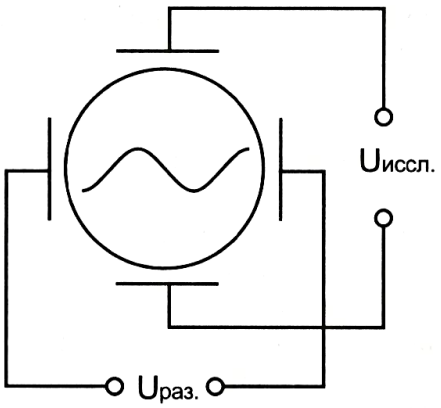
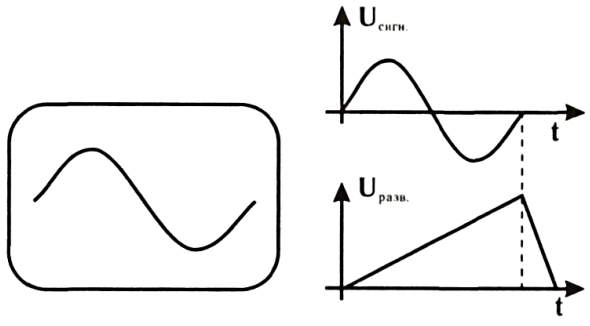
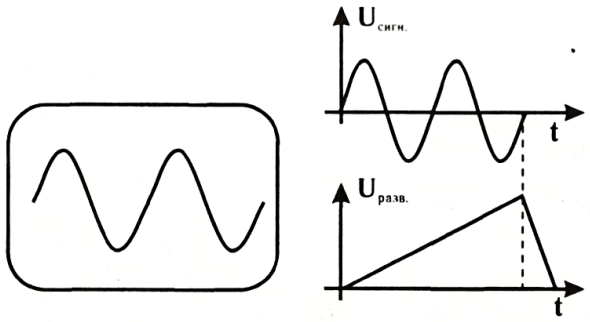


Рис. 4

Для изучения осциллограмм переменного тока нужно знать его характеристики. Переменный электрический ток — это вынужденные электрические колебания. Его график представлен на рис. 6.



а



б

Рис. 5

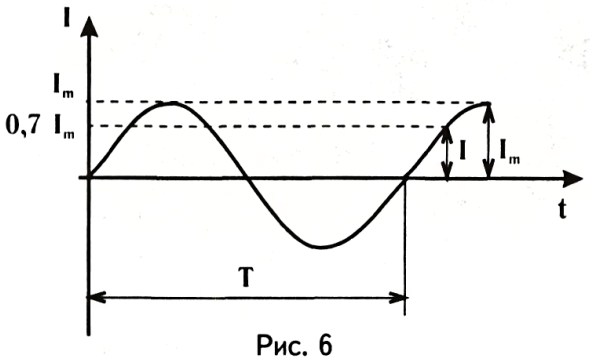


Рис. 6

Уравнения силы тока и напряжения имеют вид:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t \ ;$$

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

Основными параметрами переменного тока являются:

i – мгновенное значение силы тока, А;

u – мгновенное значение напряжения, В;

$\mathbf{I_m}$ – амплитудное значение силы тока, А;

$\mathbf{U_m}$ – амплитудное значение напряжения, В;

I – действующее (эффективное) значение силы тока, А;

U – действующее (эффективное) значение напряжения, В;

T – период, время одного колебания, с (в секундах);

ν – частота, число колебаний за 1 секунду, Гц;

ω – циклическая частота, рад/с;

φ – сдвиг фаз между током и напряжением, градус или рад.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как устроена и работает электронно-лучевая трубка?
2. Напишите уравнение переменного тока и напряжения?
3. Что понимают под амплитудным значением силы тока? напряжения?
4. Что называют периодом колебания тока?
5. Что называют частотой колебания тока?
6. Чему равна промышленная частота переменного тока? Что означает это число?
7. От чего зависит количество наблюдаемых на экране электрических колебаний?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Ознакомьтесь с осциллографом.

1. Выясните назначения гнезд, ручек и кнопок управления осциллографа (рис. 7), пользуясь руководством по эксплуатации и предлагаемой литературой.

1 – вход «X»; гнезда от горизонтально отклоняющих пластин.

2 – вход «Y»; гнезда от вертикально отклоняющих пластин.

3 – ручка управления смещением луча по горизонтали.

4 – ручка управления смещением луча по вертикали.

5 – ручка регулирования (фокусирования) размера пятна на экране.

6 – ручка управления яркостью пятна.

7 – экран; сверху наложена масштабная сетка.

8 – кнопки управления уровнем усиления входного сигнала по вертикали.

9 – кнопка управления частотой напряжения развертки (пилообразного напряжения).

10 – ручка плавного регулирования частотой напряжения развертки.

11 – кнопка отключения напряжения развертки.

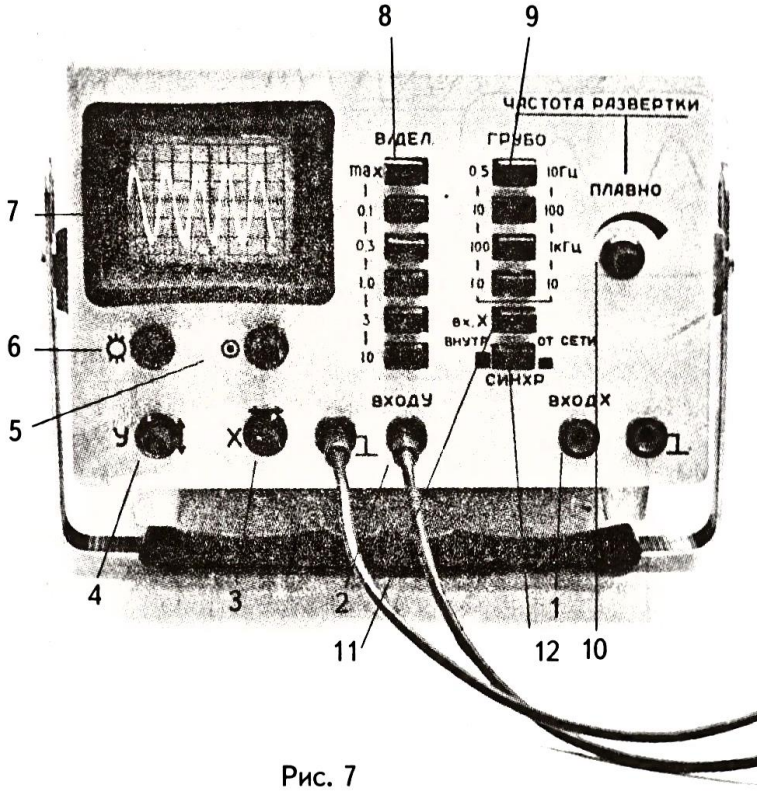


Рис. 7

12 – кнопка выбора режима синхронизации.

2. Включите осциллограф в сеть. Ручки «яркость» и «фокус» поставьте в максимальное положение и дождитесь появления светящейся точки на экране.

3. Регуляторами перемещения луча по вертикали и горизонтали установите светящуюся точку в центре экрана.

4. Регуляторами яркости свечения и фокусировки луча установите удобную для наблюдения форму точки.

5. Подайте постоянное напряжение 4–6 В (например, «квадратная» батарея) в той или иной полярности на вход «X» и следите за перемещением луча «влево – вправо». Объясните наблюдаемое явление.

6. Подайте постоянное напряжение 4–6 В в той или иной полярности на вход «Y» и следите за смещением луча «вверх–вниз». Зная цену деления масштабной сетки в зависимости от нажатой кнопки управления уровнем усиления входного сигнала, определите примерное значение напряжения.

7. Разверните луч по горизонтали, используя кнопки переключателя диапазона частот напряжения развертки.

8. Повторите опыты пункта 6 при развернутом луче. Объясните наблюдаемое явление.

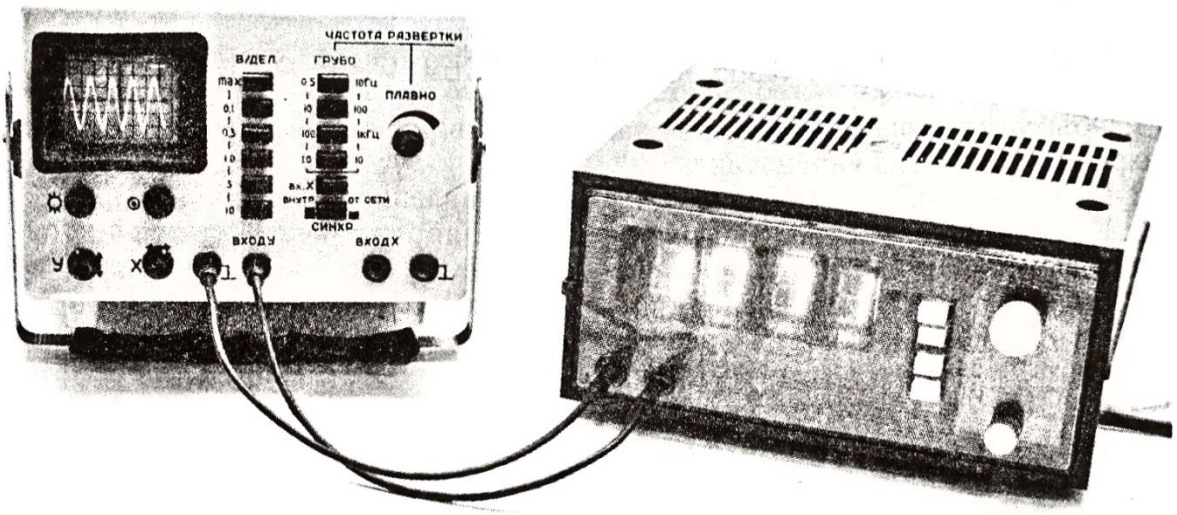


Рис. 8

Задание 2

Изучите осциллограмму переменного тока.

1. Подайте переменное напряжение от звукового генератора на входы «Y» и «⊥» осциллографа (рис. 8). Кнопками переключателя делителя входного напряжения установите амплитуду колебаний в пределах экрана электронно-лучевой трубки.

2. Установите на экране неподвижную картину нескольких периодов колебаний, меняя частоту генератора управления разверткой.

3. Меняя уровень входного напряжения звукового генератора ручками управления уровня входного сигнала осциллографа, установите амплитуду колебаний в пределах экрана. По масштабной сетке определите примерное значение напряжения сигнала. Убедитесь в правильности измерения, подключив вольтметр переменного тока к выходу звукового генератора.

4. Подайте на вход «Y» осциллографа переменное напряжение промышленной частоты (50 Гц) в пределах 5—10 В от лабораторного источника питания и по масштабной сетке определите амплитудное значение напряжения.

5. Зная амплитудное напряжение, вычислите его действующее (эффективное) значение.

Задание 3

Отключите напряжение развертки и установите светящуюся точку в середине экрана. Подайте переменное напряжение (промышленное или от звукового генератора) поочередно к входам осциллографа «Y» и «X» и объясните наблюдаемое явление.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните назначение основных узлов осциллографа: блока развертки; блока синхронизации; блока управления.

2. Объясните назначения ручек и кнопок управления осциллографом.

3. Как с помощью осциллографа определить напряжение и частоту электрических колебаний?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №38

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТЕЛЕФОНА И МИКРОФОНА

Цели: ознакомиться с устройством и принципом работы электромагнитного телефона; ознакомиться с принципом работы микрофона.

Литература: _____

Оборудование: капсюль от телефона ТОН-2–2 шт.; осциллограф лабораторный; звуковой генератор; омметр; камертон на резонаторном ящике с молоточком; источник питания 5–6 В; соединительный провод в изоляции длиной 3 м–2 шт.

Краткая теория

Телефон. Устройство, предназначенное для преобразования электрических колебаний в звуковые, называют телефоном.

Работа головного телефона (наушника) основана на принципе взаимодействия электромагнита и стальной пластины (мембраны). На рис. 1 показан внешний вид (*а*) и условное графическое обозначение (*б*) телефона, а на рис. 2 – его устройство. В телефонном капсюле находится стальная пластина *1* – мембрана; под ней – дугообразный намагниченный стержень *2*, на который насажены две (или одна) соединенные последовательно катушки *3* из большого количества витков тонкого эмалированного медного провода. Концы катушек соединены с наружным шнуром для подключения к звуковоспроизводящей аппаратуре.

Под действием постоянного магнита мембрана прогибается, не соприкасаясь со стержнем. Электрический ток, текущий по катушкам, в зависимости от направления, может усилить намагниченность стержня или ослабить. При этом мембрана прогибается сильнее (нижняя пунктирная линия) или слабее (верхняя пунктирная линия), чем при отсутствии тока.

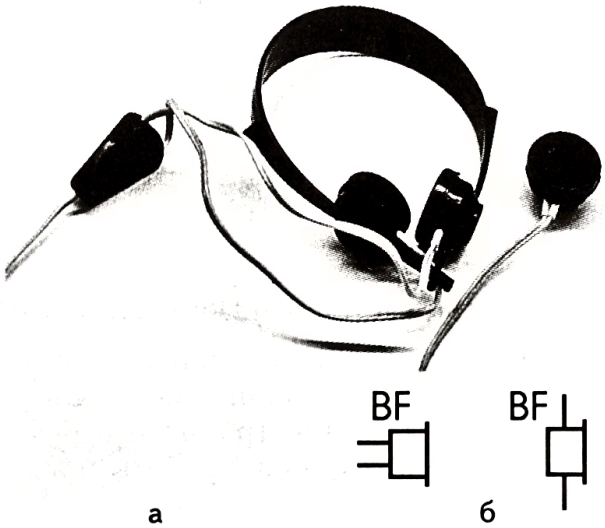


Рис. 1

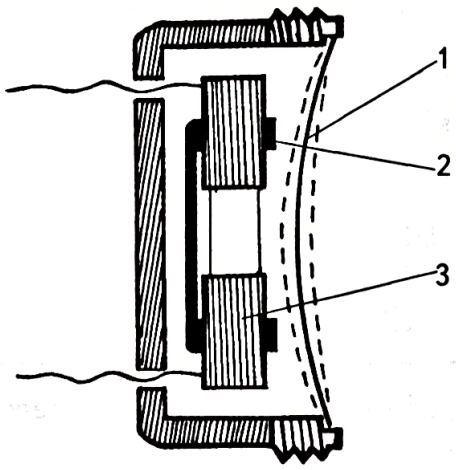
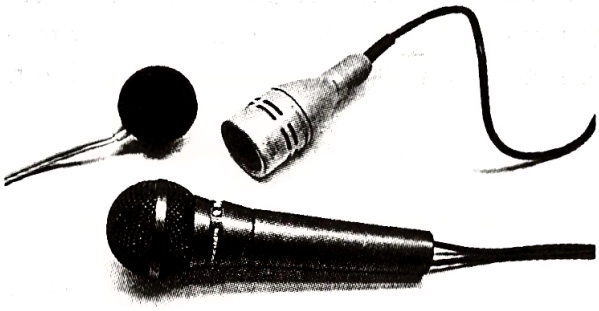
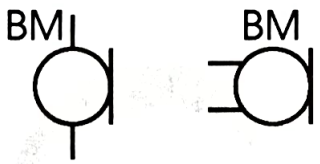


Рис. 2



а



б

Рис. 3

Если через катушку пропустить ток переменной силы и направления, то в такт изменениям тока мембрана будет совершать движения в ту или иную сторону, т. е. колебаться. Колебания мембраны, переданные по воздуху, воспринимаются ухом как звук.

Микрофон. Устройство, предназначенное для преобразования звуковых колебаний в электрические колебания, называют микрофоном. На рис. 3, *а* показан внешний вид некоторых из них, на рис. 3, *б* – условное графическое обозначение. Существует несколько видов микрофонов, отличающихся друг от друга по принципу действия. Остановимся на электромагнитном микрофоне: им может служить капсюль головного телефона, с устройством которого знакомились выше.

Звуковое давление, действуя на мембрану такого микрофона, заставляет ее колебаться. Мембрана, прогибаясь ближе к полюсам магнита, уменьшает толщину воздушного зазора. При этом уменьшается магнитное сопротивление магнитопровода, образованного из подковообразного магнита и мембраны, и индукция магнитного поля растет. При выпрямлении мембраны воздушный зазор увеличивается, сопротивление магнитопровода растет, а индукция магнитного поля уменьшается. Магнитное поле, изменяющееся в такт колебаниям мембраны, возбуждает в катушках переменную ЭДС.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как устроен электромагнитный телефон?
2. Объясните принцип работы телефона.
3. Как устроен электромагнитный микрофон?
4. Объясните принцип работы микрофона.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Изучите устройство и принцип работы телефона.

1. Отверните крышку телефонного капсюля и ознакомьтесь с его устройством; найдите мембрану, стержень, катушку. Заверните крышку на место.

2. Измерьте омметром сопротивление катушки.

3. Соберите электрическую цепь по рис. 4. Пропустите ток по катушке телефона в разных направлениях и следите за появлением характерных звуков — «щелчков».

4. Ответьте, в какие моменты возникают «щелчки». Почему?

5. Подключите телефонный капсюль к выходу источника переменного тока — звуковому генератору — и послушайте изменение издаваемого мембраной телефона звука при изменении частоты генератора.

6. Объясните наблюдаемое явление.

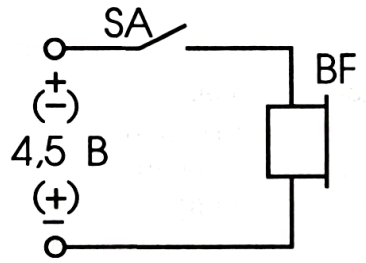


Рис. 4

Задание 2

Изучите принцип работы микрофона.

1. Включите выводы микрофона (телефонного капсюля) к вертикальному входу лабораторного осциллографа и наблюдайте осциллограмму звуковых колебаний, преобразованных микрофоном в электрические.

2. Установите микрофон перед резонаторным ящиком камертона и наблюдайте синусоидальные колебания на экране (рис. 5).

3. Выключите напряжение развертки осциллографа и, включая микрофон поочередно к вертикально отклоняющим пластинам (вход «У») и к горизонтально отклоняющим пластинам (вход «Х»), наблюдайте колебания электронного луча.

4. Объясните наблюдаемое явление.

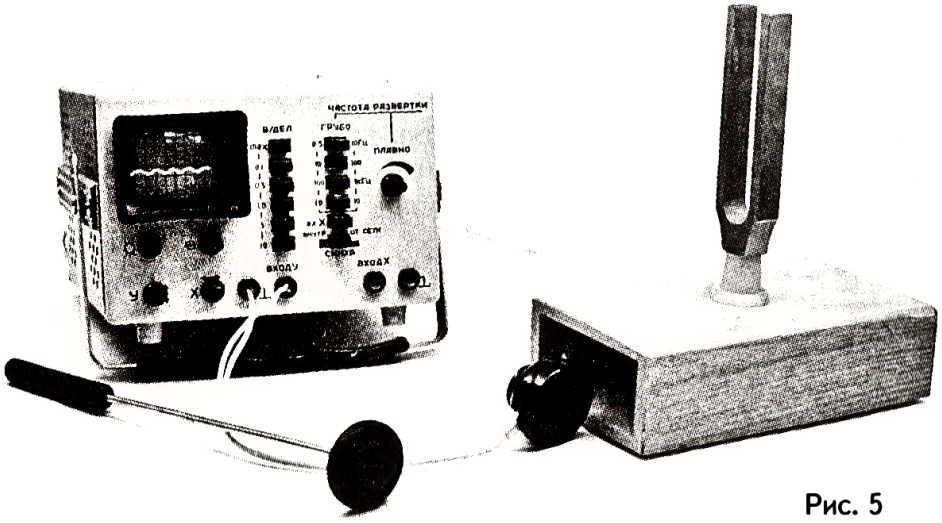


Рис. 5

Задание 3

Испытайте в работе простейшее переговорное устройство.

1. Соедините согласно рис. 6 два телефонных капсюля двужильным проводом длиной 3–4 м.

2. Постукивайте пальцем по крышке капсюля, принятого за микрофон, при этом в телефоне слышатся отчетливые звуки. Объясните их происхождение.

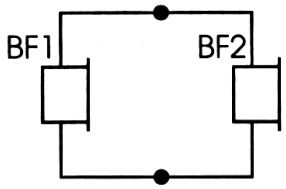


Рис. 6

Помните. **Не имеет значения, какой из капсюлей использовать как микрофон, а какой как телефон.**

3. Расположитесь один из вас с одним капсюлем, другой с другим в разных местах (лучше в разных комнатах) так, чтобы не слышать друг друга, и переговаривайтесь между собой по принципу «прием–передача».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какой частоты звук издает телефонный капсюль, если его включить к источнику переменного сетевого напряжения промышленной частоты? Ваш ответ можете проверить, включив капсюль к источнику переменного тока промышленной частоты напряжением до 10 В.

2. Если в телефонном капсюле намагниченный подковообразный стержень заменить ненамагниченным, то мембрана при прохождении переменного тока колеблется с удвоенной частотой и искажает звук, делая его выше. Почему это происходит?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №39

СРАВНЕНИЕ АМПЛИТУДНОГО И ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЙ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Цель: найти соотношение между амплитудным и действующим значениями напряжений в цепях переменного тока.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; источник переменного тока на 4—10 В; выпрямительный диод КД209; оксидный конденсатор на 500—1000 мкФ; вольтметры постоянного и переменного тока (или авометр); осциллограф; соединительные провода — 8 шт.

Краткая теория

Что такое сила переменного тока? Вопрос этот не так прост: мгновенное значение силы переменного тока непрерывно изменяется, а ее среднее значение за период или любое целое их число равно нулю. Поэтому измерительные приборы переменного тока устроены таким образом, что меряют в проводнике действующее (эффективное) значение силы тока. Это такая величина, которая основана на тепловом действии тока, не зависящем от его направления.

Действующее (эффективное) значение силы переменного тока **I** равно силе постоянного тока, который в том же проводнике и за то же время выделит такое же количество теплоты.

Существует еще понятие «амплитудное значение переменного тока». Это самое большое за период значение силы тока I_m.

Между действующим значением силы переменного тока **I** и его амплитудным значением I_m существует следующее соотношение:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (1)$$

Так как напряжение на участке цепи по закону Ома пропорционально силе тока: **U=IR**, то условились, рассматривая цепи переменного тока, вести речь либо о действующем значении напряжения **U** на участке, либо о его амплитудном (максимальном мгновенном) значении U_m. Вольтметр в цепи переменного тока измеряет именно действующее значение напряжения. Между действующим значением напряжения **U** и амплитудным U_m существует соотношение, аналогичное приведенному выше:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \qquad (2)$$

Чтобы убедиться в верности формулы (2), а через нее и формулы (1), нужно поставить опыт. Схема его показа-

на на рис. 1. Полярность напряжения на концах вторичной обмотки трансформатора **T** меняется частотой 50 Гц. Диод же пропускает ток только в одном направлении: от анода к катоду. Поэтому в течение одной половины периода ток проходит через диод **VD** и заряжает конденсатор **C** до амплитудного напряжения, которое сохраняется на его зажимах, так как параллельно ему нагрузка не включена. В течение второй половины периода ток к конденсатору не поступает: диод заперт. Так работает эта схема.

Вольтметр переменного тока **PV1** измеряет действующее значение напряжения **U** на вторичной обмотке трансформатора. Вольтметр же постоянного тока **PV2** измеряет амплитудное значение напряжения $\mathbf{U_m}$ на конденсаторе. Сняв показания обоих приборов, легко проверить отношение (2).

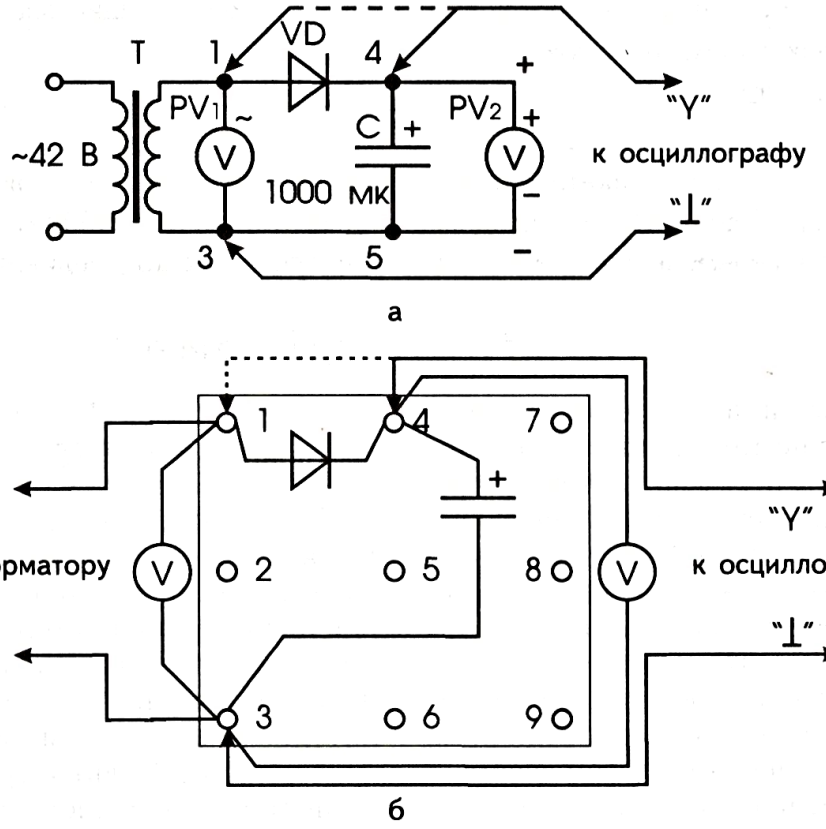


Рис. 1

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какие параметры характеризуют переменный ток?
2. Что такое действующее (эффективное), мгновенное и амплитудное значения переменного тока и напряжения?
3. Какова связь между действующим и амплитудным значениями силы тока и напряжения?
4. Почему в схеме на рис. 1 вольтметр переменного тока **PV1** показывает действующее значение переменного напряжения, а вольтметр постоянного тока **PV2** – его амплитудное значение?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Проверьте соотношение между действующим и амплитудным значениями переменного тока.

1. Соберите схему по рис. 1.

2. Измерьте действующее значение напряжения **U** вольтметром переменного тока **PV1** и амплитудное значение напряжения U_m вольтметром постоянного тока **PV2**.

3. Найдите отношение амплитудного значения напряжения к действующему

и убедитесь, что оно равно $\frac{U_m}{U} \approx \sqrt{2}$.

Примечание. **В работе рекомендуем использовать вольтметр с большим внутренним сопротивлением.**

Задание 2

Сравните осциллограммы постоянного (выпрямленного) и переменного напряжений.

1. Подключайте вход осциллографа «Y» поочередно то параллельно к конденсатору (т. 4), то параллельно вторичной обмотке трансформатора (т. 1), как показано на рис. 1 пунктиром, и, наблюдая осциллограммы, убедитесь в том, что напряжение на конденсаторе равно амплитудному значению синусоидальных колебаний на выходе трансформатора.

2. Зарисуйте в тетради в одних и тех же масштабах наблюдаемые осциллограммы. Пользуйтесь масштабной сеткой экрана.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 40

ОДНОПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель: изучить простейший способ выпрямления переменного тока.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; источник переменного тока 4—10 В (школьный лабораторный трансформатор или усовершенствованный источник питания ИПФ: смотрите лабораторную работу № 36); плоскостной выпрямительный диод (например, КД209 или Д226), рассчитанный на прямой ток не менее, чем 0,3 А; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; оксидные конденсаторы в пределах 100—2000 мкФ — 2 шт.; резисторы 100 Ом и 300 Ом; осциллограф лабораторный; соединительные провода — 4 шт.

Краткая теория

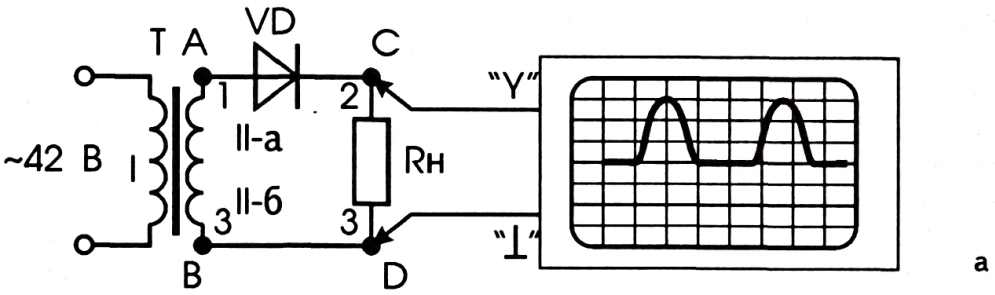
Многие электрические и электронные приборы, например, телевизоры, магнитофоны, радиоприемники и другие, питаются постоянным током. Но электростанции вырабатывают переменный ток, да и приборы чаще всего включают в сеть переменного тока. Поэтому нужны специальные устройства, преобразующие переменный ток в постоянный.

Есть несколько способов превращения переменного тока в постоянный, его так называемого выпрямления. Ознакомимся с одним из них, основанном на односторонней проводимости диода.

На рис. 1, *а* приведена схема такого выпрямителя. Установка состоит из понижающего трансформатора **Т** и выпрямительного диода **VD**; резистор $R_н$, подключенный к выходу выпрямителя, символизирует собой питающуюся от него нагрузку. А вообще нагрузкой может быть любой потребитель электрической энергии, сила тока в котором не превышает допустимое значение силы прямого тока $I_{пр}$ диода, а сопротивление удовлетворяет условию $R_н = \frac{U_{вых}}{I_{пр}}$, где $U_{вых}$ — выходное выпрямленное напряжение выпрямителя.

Осциллограф, включенный параллельно нагрузке, служит для наблюдения результатов выпрямления.

Выпрямление переменного тока происходит следующим образом. На вторичной обмотке трансформатора, включенного в сеть переменного тока, существует переменная ЭДС, поэтому знаки заряда на ее выводах А и В (полярность потенциала) меняются с частотой 50 Гц. В одну половину периода, когда точка А имеет положительный потенциал, а



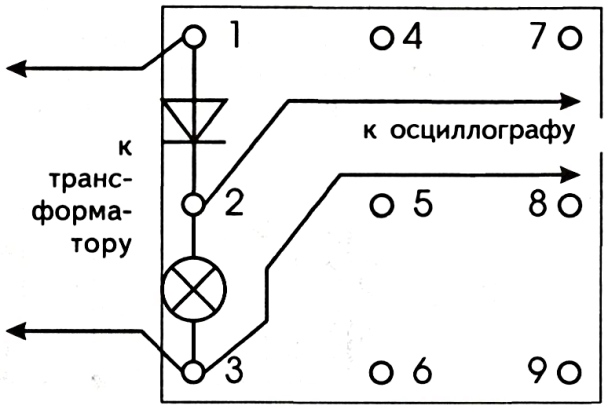


Рис. 1

точка В – отрицательный, диод **VD** открыт и пропускает ток по замкнутому контуру, состоящему из вторичной обмотки трансформатора, диода **VD** и нагрузки $\mathbf{R_н}$. При этом на нагрузке $\mathbf{R_н}$ создается наряжение: положительный потенциал в точке С и отрицательный в точке D. Напряжение тем больше, чем больший ток протекает по цепи. А так как сила тока сначала растет от нуля до максимума, а затем убывает от максимума до нуля, то так же изменяется и напряжение на нагрузке – выводах CD; на экране осциллографа появляется кривая – половина синусоиды.

Во второй полупериод, когда точка А имеет отрицательный потенциал, а В – положительный, диод заперт и ток через него не проходит; на нагрузке $\mathbf{R_н}$ напряжение равно нулю, а на экране осциллографа – прямая горизонтальная линия. Физический процесс выпрямления переменного тока легко понять, если к вольт-амперной характеристике диода пристыковать график подаваемого на него переменного напряжения так, чтобы у них были совмещены проекции начала координат и были параллельны оси напряжений, как показано на рис. 2.

Данный выпрямитель называется однополупериодным, так как в нем для получения выходного напряжения используется только один полупериод входного напряжения. Он дает пульсирующее напряжение и такой же ток: в нагрузке полпериода ток и напряжение есть, полпериода они отсутствуют.

Рассмотренный выпрямитель с успехом можно использовать, например, для зарядки аккумуляторов, питания электродвигателей постоянного тока. Но для работы многих потребителей

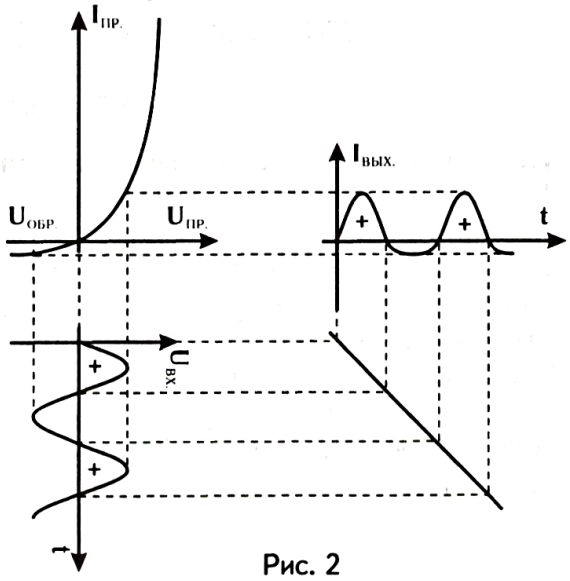


Рис. 2

такой источник тока не годится; например, если подключить к нему усилитель звуковой частоты, то пульсации напряжения создадут в громкоговорителе звуковой фон частотой 50 Гц.

Частично пульсации можно сгладить, если параллельно нагрузке подключить оксидный конденсатор (рис. 3). Теперь на экране осциллографа вместо однополупериодных пульсаций (показаны пунктиром) видна сплошная ломаная линия. Объяснить происходящее можно так: конденсатор заряжается током, когда диод открыт, и разряжается через нагрузку $R_н$, когда он закрыт. В результате на нагрузке все время будет существовать напряжение. Если конденсатор имеет достаточно большую емкость, то за время между двумя соседними импульсами тока он не успеет полностью разрядиться.

Устройство, применяемое для сглаживания пульсаций переменного тока, называется фильтром.

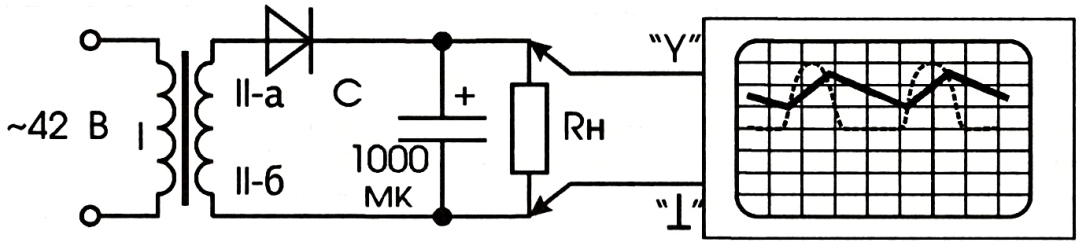


Рис. 3

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Чем отличается переменный ток от постоянного?
2. Зачем нужно выпрямлять переменный ток?
3. Опишите физический процесс однополупериодного выпрямления переменного тока.
4. В чем заключается сглаживающее действие фильтра, состоящего из конденсатора, включенного параллельно нагрузке?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Наблюдайте осциллограмму выпрямленного напряжения.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1, *а* и *б*, в которой роль нагрузки $R_н$ выполняет лампа.
2. Подключите параллельно нагрузке (точкам CD) вход «Y» осциллографа и наблюдайте осциллограмму однополупериодного выпрямления переменного тока. Картину с экрана зарисуйте в тетрадь.
3. Подключите вертикальный вход осциллографа к точкам A и B (к выводам вторичной обмотки трансформатора). Наблюдайте синусоидально изменяющееся переменное напряжение. Картину с экрана зарисуйте в тетрадь.
4. Сравните увиденные осциллограммы и опишите их.

Задание 2

Наблюдайте результат работы сглаживающего фильтра.

1. Подключите параллельно нагрузке (лампе) с учетом полярностей выводов оксидный конденсатор емкостью в пределах 100–2000 мкФ (рис. 3) и понаблюдайте на экране осциллографа его сглаживающее (фильтрующее) действие. Осциллограмму зарисуйте в тетради.

2. Используя разные емкости конденсаторов в схеме, исследуйте зависимость качества сглаживания от емкости конденсатора. Сделайте вывод.

3. Включите в качестве нагрузки вместо лампы резисторы сопротивлениями 100 Ом и 300 Ом. Исследуйте, зависит ли качество сглаживания от сопротивления нагрузки. Сделайте вывод.

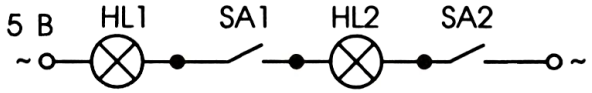


Рис. 4

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Зависит ли качество сглаживания от а) сопротивления нагрузки и б) емкости фильтрующего конденсатора?

2. Почему мы не замечаем мерцание лампы в схеме на рис. 1, *б*, хотя по ней протекает пульсирующий ток?

3. Включите в схему, изображенную на рис. 4, четыре диода так, чтобы выключатель **SA1** управлял свечением лампы **HL1**, а выключатель **SA2** – свечением лампы **HL2**.

Вашу гипотезу проверьте экспериментом.

Детали: **HL1, HL2** – МН 6,3 Вх0,3 А, **SA1, SA2** можно заменить куском провода, диоды **VD1 – VD4** – КД209.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №41

ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДВУМЯ ДИОДАМИ

Цель: изучить принцип работы двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; источник переменного тока 4—10 В (трансформатор, имеющий вывод от середины вторичной обмотки, например, от лабораторного источника питания); выпрямительный диод (например, Д226, КД209), рассчитанный на прямой ток не менее 0,3 А — 2 шт.; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; оксидный конденсатор на 100—2000 мкФ; осциллограф лабораторный; соединительные провода — 5 шт.

Краткая теория

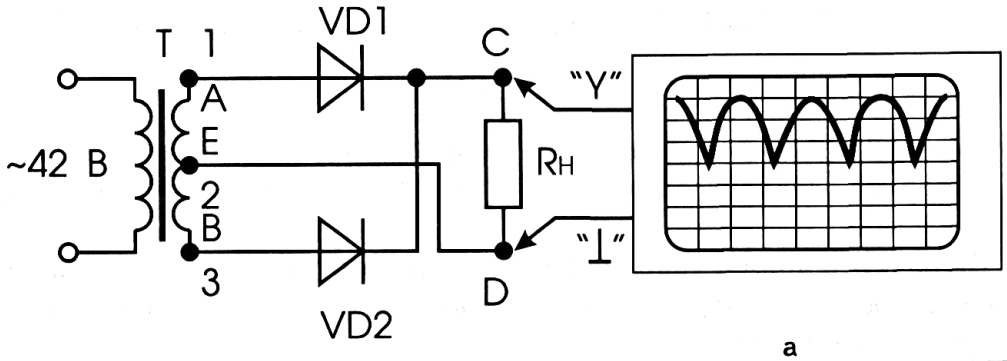
При однополупериодном выпрямлении полезно используется энергия только половины периода переменного тока, вследствие чего выпрямленное напряжение обладает значительными пульсациями, что резко ограничивает его практическое применение.

На рис. 1, *а* показана схема более совершенного выпрямителя. Он собран на базе двух диодов и вторичной обмотки трансформатора, имеющей дополнительно центральный вывод (точка Е), разделяющий ее на две одинаковые полуобмотки.

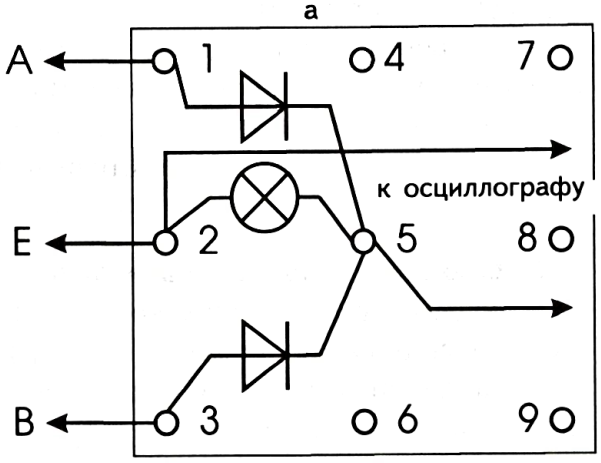
Рассмотрим работу этой схемы. Пусть в данный момент на вторичной обмотке трансформатора переменное напряжение в верхней точке А имеет положительный потенциал относительно нижней точки В. У среднего же вывода Е двоякая полярность: отрицательная по отношению к выводу А и положительная по отношению к выводу В. При этом диод **VD1** открыт, т. е. пропускает ток, а диод **VD2** заперт. Ток пройдет по замкнутому контуру от вывода А через диод **VD1**, нагрузку $R_н$, верхнюю половину вторичной обмотки II-а трансформатора (рис. 2, *а*). В итоге на нагрузке есть напряжение, а ток идет в ней сверху вниз (по рисунку).

Во втором полупериоде полярность напряжения на обмотках трансформатора изменяется на противоположное: нижний вывод вторичной обмотки II-б становится положительным по отношению к верхнему и центральному выводам (рис. 2, *б*). Теперь диод **VD2** открыт и пропускает ток, а диод **VD1** заперт и тока не пропускает. Ток есть в другом контуре «точка В — диод **VD2** — нагрузка $R_н$ — вторая (нижняя) полуобмотка II-б трансформатора».

В итоге данное устройство выпрямляет оба полупериода за счет действия то одного, то другого диода. Такое вып-



а



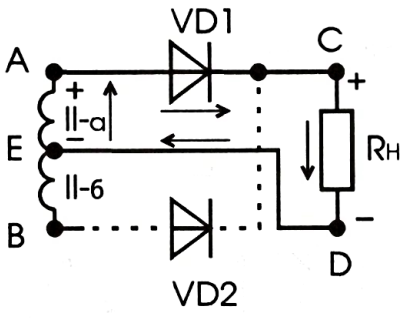
б

Рис. 1

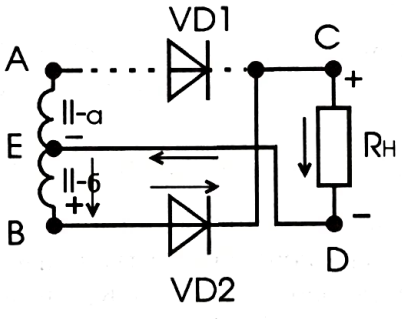
рямление называют двухполупериодным. Направление тока в нагрузке $R_н$ постоянно и не зависит от его направления во вторичной обмотке. Сила же тока не постоянна: она то возрастает, то убывает, т. е. пульсирует, причем с частотой, в 2 раза большей частоты выпрямляемого переменного тока.

Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения параллельно нагрузке $R_н$ включают оксидный конденсатор большой емкости (см. рис. 3, лабораторная работа № 40).

Осциллограф, подключенный к выходу выпрямителя (рис. 1), позволяет наблюдать форму электрических колебаний в нагрузке.



а



б

Рис. 2

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Опишите процесс двухполупериодного выпрямления переменного тока двумя диодами.
2. Сравните результаты однополупериодного и двухполупериодного выпрямления переменного тока.
3. По каким параметрам нужно подбирать диоды для выпрямителя?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Наблюдайте двухполупериодное выпрямление переменного тока.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1, *а*, *б*, где в качестве нагрузки $R_н$ возьмите лампу.

2. Включите параллельно нагрузке выпрямителя вход «Y» осциллографа и наблюдайте осциллограмму двухполупериодного выпрямления переменного тока. Зарисуйте ее в тетради.

3. Отключите один из диодов и наблюдайте осциллограмму однополупериодного выпрямления. Зарисуйте ее в тетради.

4. Сравните полученные осциллограммы однополупериодного и двухполупериодного выпрямлений. Сделайте вывод.

Задание 2

Наблюдайте сглаживающее действие фильтра.

1. Подключите параллельно нагрузке выпрямителя (лампе) с учетом полярностей оксидный конденсатор (фильтр) емкостью в пределах 100–2000 мкФ.

2. Наблюдайте сглаживающее действие фильтра на выпрямленное напряжение. Осциллограмму зарисуйте в тетради и сравните с предыдущими.

Задание 3

Подключите вход «Y» осциллографа по очереди к выводам АВ, АЕ, ЕВ вторичной обмотки и сравните амплитуды и периоды электрических колебаний. Сделайте вывод.

Задание 4

Подключите к выходу лабораторного источника питания ИПФ осциллограф и определите, какое по характеру выпрямленное напряжение он дает.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

В конструкции, изображенной на рис. 3, оба ключа замкнуты и лампы горят одинаковой яркостью. Как изменится состояние ламп при выключении того или иного ключа?

В правильности Ваших рассуждений убедитесь на опыте.

Детали: **HL1, HL2** – МН 6,3 Вх0,3 А, **SA1, SA2** можно заменить куском провода, диоды **VD1 – VD4** – КД209.

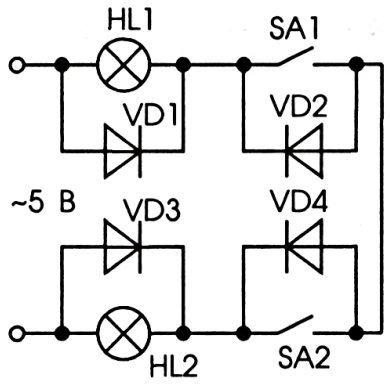


Рис. 3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 42

ДВУХПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ЧЕТЫРЬМЯ ДИОДАМИ

Цель: изучить принцип двухполупериодного преобразования переменного тока по мостовой схеме.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; источник переменного тока 4—10 В; выпрямительный диод (например Д226, КД209), рассчитанный на прямой ток не менее 0,3 А — 4 шт.; лампа МН 6,3 В х 0,3 А; оксидный конденсатор емкостью в пределах 100—2000 мкФ; осциллограф; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Двухполупериодный выпрямитель на двух диодах со средней точкой вторичной обмотки трансформатора (см. лабораторную работу № 41) имеет неоспоримые преимущества по качеству выпрямления перед однополупериодным (см. лабораторную работу № 40). Однако вследствие экономической выгоды чаще всего предпочтение отдают так называемому мостовому выпрямителю, собранному на четырех диодах на базе вторичной обмотки трансформатора без вывода от ее середины.

Принципиальная и монтажная схемы такого выпрямителя приведены на рис. 1, *а* и *б*. Здесь диоды **VD1—VD4** являются плечами выпрямительного моста. В одну диагональ моста подается переменное напряжение, с другой диагонали, к которой подключается нагрузка $R_н$, снимается выпрямленное напряжение. В таком выпрямителе в течение каждого полупериода работают поочередно два диода противоположных плеч моста, включенных между собой последовательно: **VD1** и **VD4**, **VD2** и **VD3**. Эти пары диодов по отношению друг к другу включаются встречно.

Процесс выпрямления переменного тока по мостовой схеме понятен по рисункам 2, *а* и *б*. Обратите внимание на то, что независимо от того, какая пара диодов открыта, ток по нагрузке всегда течет в одну сторону.

Для сглаживания напряжения, как и в лабораторных работах № 40 и № 41, используются оксидные конденсаторы большой емкости, включенные параллельно нагрузке.

Результат выпрямления наблюдают на экране осциллографа, подключенного параллельно нагрузке.

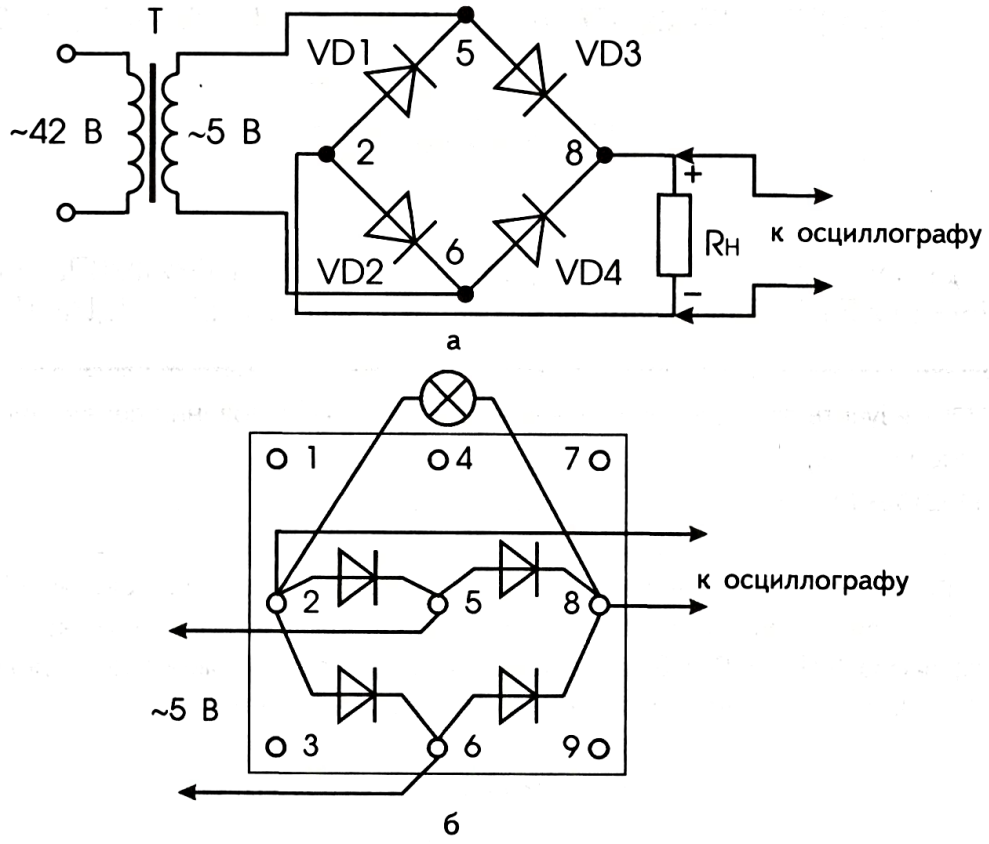


Рис. 1

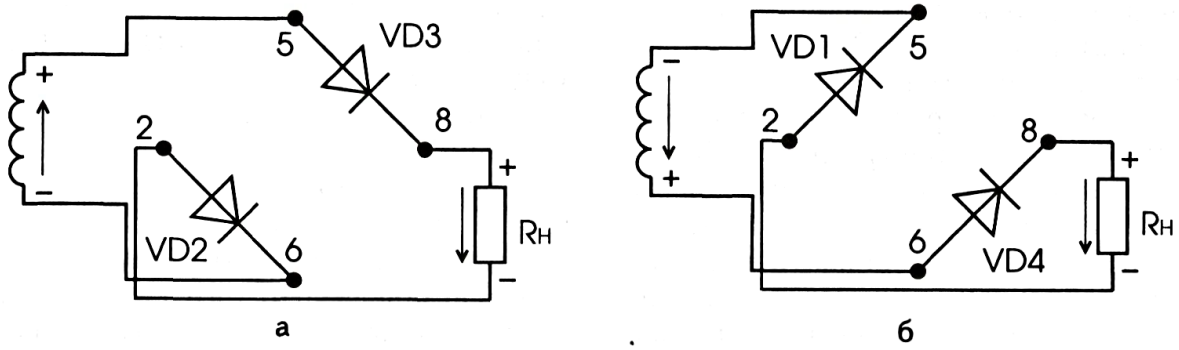


Рис. 2

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как происходит процесс двухполупериодного выпрямления переменного тока по мостовой схеме?
2. Почему на практике чаще всего используют выпрямители, собранные по мостовой схеме, а не выпрямители на двух диодах с выводом от средней точки обмотки трансформатора?
3. Где используют двухполупериодные выпрямители переменного тока?
4. Как качество сглаживания зависит от емкости фильтрующего конденсатора и сопротивления нагрузки? Почему?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Соберите двухполупериодный выпрямитель и испытайте его в работе.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1, где в качестве нагрузки $R_н$ возьмите лампу.

2. Включите параллельно нагрузке (лампе) выпрямителя осциллограф и понаблюдайте двухполупериодное выпрямление переменного тока. Зарисуйте в тетради осциллограмму.

3. Включите, соблюдая полярность, параллельно нагрузке оксидный конденсатор на 100–2000 мкФ и пронаблюдайте его сглаживающее действие.

Задание 2

В конструкции, собранной по рис. 1, поочередно оставляйте только последовательно соединенные диоды противоположных плеч (**VD1, VD4** или **VD2, VD3**), как показано на рис. 2, *а* и *б*, и понаблюдайте каждый раз осциллограммы выпрямленного напряжения. Сравните их с осциллограммой, полученной в задании 1, и сделайте вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КАТУШКИ

Цели: вычислить индуктивное сопротивление катушки в цепи переменного тока; изучить зависимость индуктивного сопротивления катушки от ее индуктивности.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; катушка индуктивности (можно использовать катушку, изготовленную в лабораторной работе №28 или от разборного электромагнитного реле); миллиамперметр переменного тока; вольтметр переменного тока; звуковой генератор; омметр; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Катушка, включенная в цепь переменного тока, кроме активного сопротивления **R**, определяемого геометрическими размерами, материалом и температурой провода, обладает дополнительным сопротивлением $\mathbf{X_L}$, называемым индуктивным. Такое действие катушки индуктивности нетрудно объяснить: на основе закона электромагнитной индукции переменный ток вызывает в катушке индукционный ток, противодействующий изменениям этого переменного тока.

Числовое значение индуктивного сопротивления пропорционально частоте колебаний **ν** и индуктивности **L**:

$$X_L = 2\pi\nu L .$$

Если пренебречь активным сопротивлением катушки, ее индуктивное сопротивление можно определить по закону Ома для участка цепи: $X_L = \frac{U}{I}$, где $\mathbf{X_L}$ – индуктивное сопротивление; **I** – сила переменного тока в катушке; **U** – напряжение на катушке.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое активное сопротивление катушки? От чего оно зависит?
2. Что такое индуктивное сопротивление? От чего оно зависит и почему?
3. Как, пользуясь законом Ома для участка цепи, определить индуктивное сопротивление?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Определите индуктивное сопротивление катушки. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Вид тока	Частота тока ν, Гц	Среда в катушке	U, В	I, 10^{-3} А	X_L, Ом
Переменный	1000	стержень			
		1/2 стержня			
		без стержня			

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1, где используйте катушку с полностью вставленным во внутрь ферромагнитным стержнем.

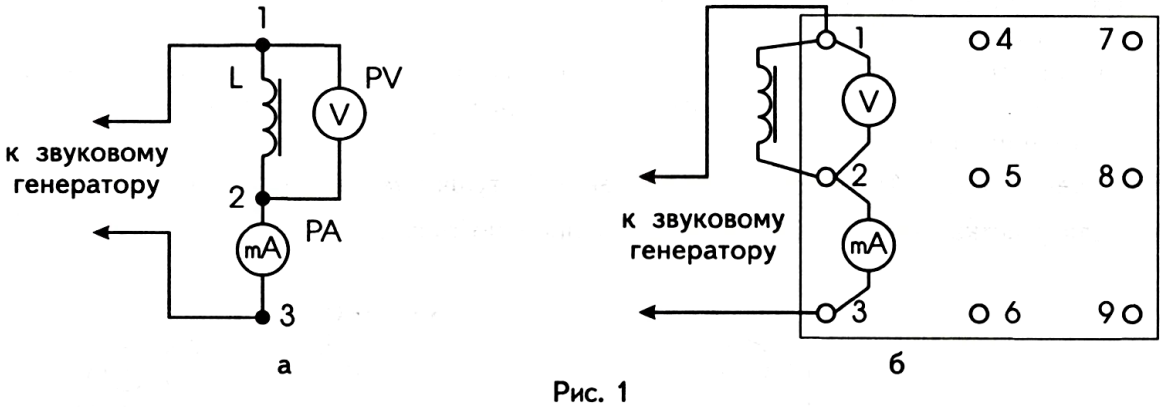


Рис. 1

2. Подайте от звукового генератора на катушку **L** переменное напряжение в 2–3 В частотой 1000 Гц.

Измерьте силу тока в катушке и напряжение на ней.

3. По закону Ома для участка цепи $X_L = \frac{U}{I}$ рассчитайте индуктивное сопротивление катушки переменному току.

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия, с катушкой, у которой стержень выдвинут наполовину.

5. Еще раз повторите опыт с катушкой, у которой стержень полностью выдвинут.

6. Сравните результаты опытов и сделайте вывод о том, как индуктивное сопротивление катушки зависит от среды в ней (индуктивности).

Примечание. **В проделанных выше опытах активное сопротивление катушки не учтено.**

Задание 2

Измерьте активное сопротивление катушки и сравните его с индуктивным. Данные занесите в табл. 2.

Таблица 2

Вид тока	Среда в катушке	R, Ом
Постоянный	стержень	
	1/2 стержня	
	без стержня	

1. Присоедините омметр к выводам катушки.
2. Определите ее сопротивление:
а) со стержнем внутри;
б) с выдвинутым наполовину стержнем;
в) без стержня.
3. Сравните активное сопротивление катушки во всех трех случаях и сделайте вывод.
4. Сравните индуктивные и активные сопротивления катушки по табл. 1 и 2 и сделайте вывод.

Примечание. **Активное сопротивление катушки можно измерить по закону Ома для участка цепи на установке, собранной по рис. 2.**

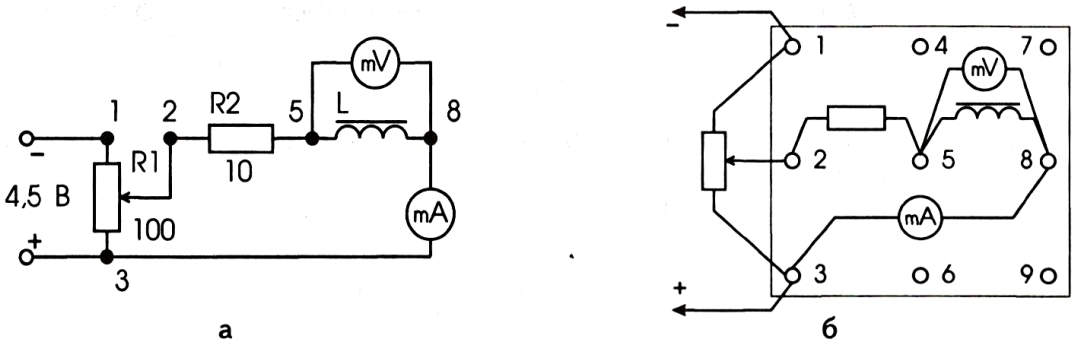


Рис. 2

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как индуктивное сопротивление катушки зависит от длины части ферромагнитного стержня, находящейся внутри нее?
2. Почему активное сопротивление катушки не зависит от длины части ферромагнитного стержня, находящейся внутри нее?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 44

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ЧАСТОТЫ ТОКА

Цели: вычислить индуктивное сопротивление катушки в цепях переменного тока при разных частотах; построить график зависимости индуктивного сопротивления от частоты тока $X_L = f(\nu)$.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; катушка индуктивности (см. лабораторную работу № 43); миллиамперметр переменного тока; вольтметр переменного тока; звуковой генератор; резистор 100 Ом; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Краткую теорию изучите по ее описанию к лабораторной работе № 43 «Определение индуктивного сопротивления катушки» и ответьте на вопросы для самоконтроля, приведенные там же.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Изучите зависимость индуктивного сопротивления от частоты тока. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Вид катушки	Частота тока V, Гц	400	800	1200	1600	2000
1	Со стержнем	U, В					
		I, 10^{-3} А					
		X_L, Ом					
2	Без стержня	U, В					
		I, 10^{-3} А					
		X_L, Ом					

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1. В катушку **L** полностью вставьте ферромагнитный стержень.

2. Меняя частоту вырабатываемого звуковым генератором тока от 400 Гц до 2000 Гц, через каждые 400 Гц снимите показания приборов.

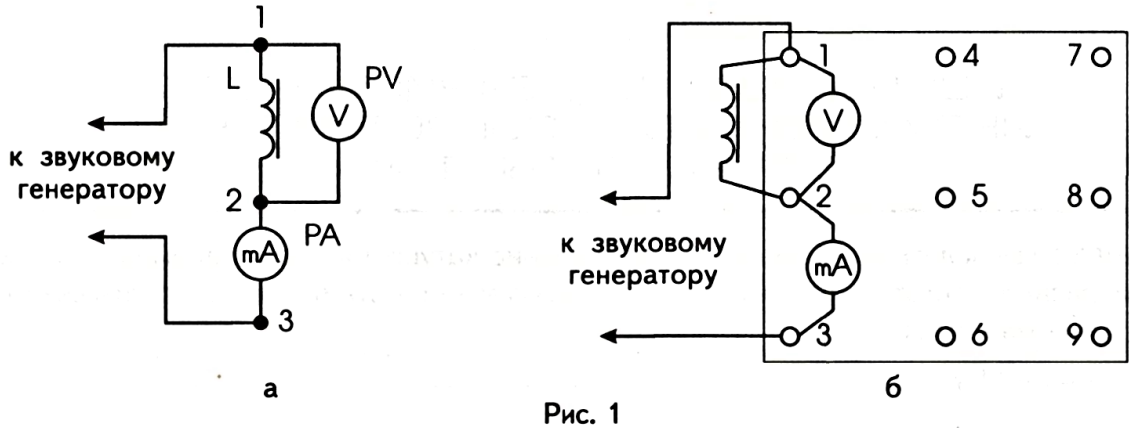


Рис. 1

3. Рассчитайте, пользуясь законом Ома для участка цепи, индуктивное сопротивление катушки для каждой зафиксированной частоты тока (активное сопротивление катушки не учитывается).

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия, с катушкой без стержня.

5. По результатам опытов в общей системе координат постройте график зависимости индуктивного сопротивления от частоты тока $X_L = f(\nu)$.

6. Определите вид графиков и сформулируйте вывод.

Задание 2

Изучите зависимость активного сопротивления от частоты тока.

1. В схеме на рис. 1 катушку индуктивности **L** замените активным сопротивлением (резистором) на 100 Ом.

2. Способом, аналогичным описанному в задании 1, исследуйте зависимость активного сопротивления резистора от частоты тока.

3. Разработайте таблицу для записи результатов и в нее занесите показания приборов и итоги вычислений.

4. Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод.

Задание 3

Сравните данные, полученные в ходе выполнения заданий 1 и 2, и сформулируйте вывод о том, как частота переменного тока влияет на индуктивное и активное сопротивления.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
№45

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ КАТУШКИ

Цель: научиться вычислять индуктивность катушки по ее сопротивлению переменному току.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; катушка индуктивности (см. лабораторную работу № 43); миллиамперметр переменного тока; вольтметр переменного тока; звуковой генератор; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

В лабораторной работе № 43 была дана формула индуктивного сопротивления: $X_L = 2\pi\nu L$.

Там же Вы научились вычислять индуктивное сопротивление катушки в цепи переменного тока, пользуясь законом Ома для участка цепи.

В предыдущей работе на опытах установили, что индуктивное сопротивление катушки зависит от частоты тока и свойства катушки — ее индуктивности **L**.

Этих знаний Вам достаточно для того, чтобы экспериментально определить индуктивность катушки **L**.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Вспомните, от чего зависит индуктивное сопротивление катушки?
2. Что характеризует индуктивность катушки?
3. Используя формулы индуктивного сопротивления (приведены выше) и закона Ома для участка цепи применительно к катушке, выведите формулу для расчета индуктивности **L**.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Рассчитайте индуктивность данной Вам катушки. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1. Катушку возьмите с сердечником внутри.
2. Измерьте силу тока в катушке и напряжение на ней при частоте 1000 Гц.
3. По выше выведенной Вами формуле вычислите индуктивность катушки.

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия, используя катушку без стержня.

5. Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод о том, как индуктивность катушки зависит от наличия сердечника в ней. Ответьте, почему?

Таблица 1

ν, Гц	Среда в катушке	U, В	I, 10^{-3} А	L, Гн	Вывод
1000	со стержнем				
	без стержня				

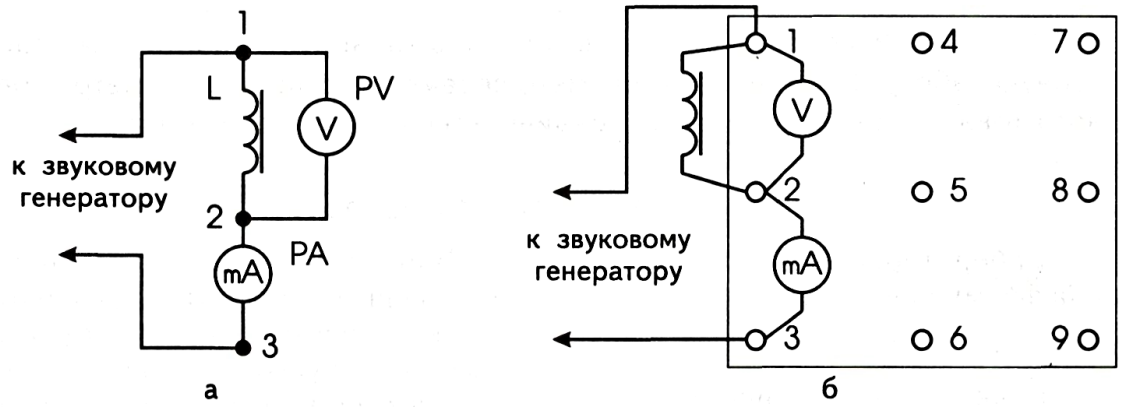


Рис.1

Задание 2

Исследуйте, зависит ли индуктивность катушки от частоты тока.

1. В схеме на рис. 1 катушку возьмите со стержнем внутри.

2. По показаниям измерительных приборов определите индуктивность катушки при частотах тока 1500 Гц и 2000 Гц (индуктивность катушки при частоте 1000 Гц Вы знаете из задания 1).

3. Составьте таблицу и впишите туда результаты исследования.

4. Сравните полученные результаты и ответьте на вопрос: зависит ли индуктивность катушки от частоты тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №46

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНДЕНСАТОРА

Цели: вычислить емкостное сопротивление конденсатора в цепи переменного тока; построить график $X_C=f(\nu)$.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; конденсаторы разной емкости в пределах 0,5–20 мкФ (например, 1 мкФ, 5 мкФ, 10 мкФ) – 3 шт.; звуковой генератор; миллиамперметр и вольтметр переменного тока; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

Конденсатор для постоянного тока – упорядоченного движения заряженных частиц в одном направлении – представляет бесконечно большое сопротивление, так как его находящиеся на расстоянии друг от друга и разделенные диэлектриком пластины создают в цепи разрыв: практически он не проводит ток, если не учитывать тока утечки диэлектрика. В этом можно убедиться, включив конденсатор в цепь постоянного тока через миллиамперметр: прибор регистрирует только ток зарядки в момент включения.

Если конденсатор включить в цепь переменного тока, то он будет испытывать непрерывно процессы зарядки (накопления энергии) и разрядки (возвращения энергии в цепь); частота этого процесса будет равна частоте тока. В этом случае заряженные частицы по цепи будут идти сначала в одном направлении, а затем в противоположном. Значит, можно считать, что переменный ток, в отличие от постоянного, через конденсатор проходит.

Но конденсатор оказывает переменному току сопротивление, которое называется емкостным.

Оно определяется формулой

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C},$$

где $\mathbf{X_c}$ – емкостное сопротивление,

$\boldsymbol{\nu}$ – частота тока,

C – емкость конденсатора.

Емкостное сопротивление конденсатора можно также вычислить по закону Ома для участка цепи, если известны сила переменного тока **I** и напряжение на его обкладках **U**:

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

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что называется электроемкостью?
2. Как устроен конденсатор?
3. Что называется емкостным сопротивлением?
4. От чего зависит величина емкостного сопротивления?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Постройте и изучите график зависимости емкостного сопротивления конденсатора от частоты переменного тока. Показания приборов и результаты вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Частота тока ν, Гц	400	800	1200	1600	2000
U, В					
I, 10^{-3} А					
X_c, Ом					

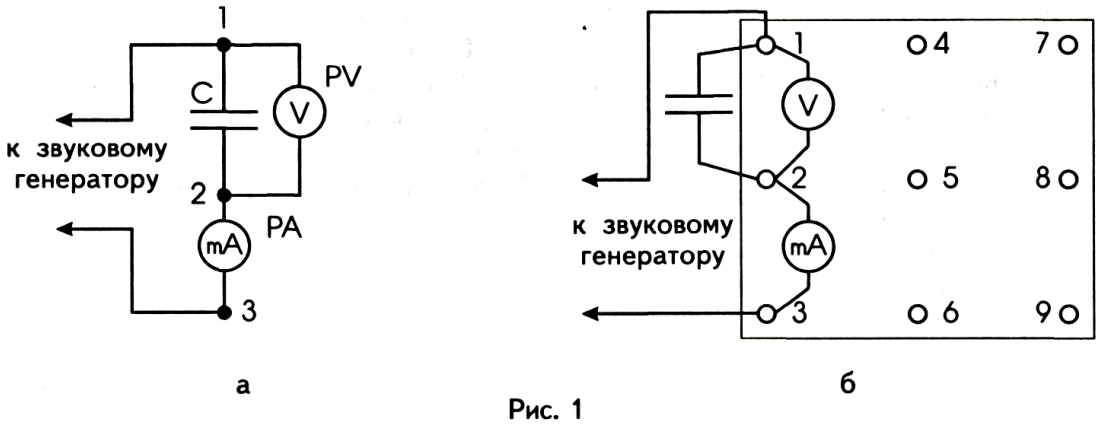
1. Соберите электрическую цепь по рис. 1. Конденсатор **С** возьмите неоксидный (неполярный) емкостью 1 мкФ.

2. Меняя частоту звукового генератора ЗГ от 400 Гц до 2000 Гц, через каждые 400 Гц снимите показания приборов: миллиамперметра и вольтметра.

3. По закону Ома для участка цепи вычислите емкостное сопротивление конденсатора для каждой фиксированной частоты.

4. По полученным данным постройте график зависимости емкостного сопротивления $\mathbf{X_c}$ конденсатора от частоты тока **ν**, т. е. график функции $X_C = f(\nu)$.

5. Проанализируйте полученный график и сделайте вывод о том, как емкостное сопротивление конденсатора зависит от частоты тока.



а б

Рис. 1

Задание 2

Исследуйте зависимость емкостного сопротивления от емкости конденсатора.

1. Включайте в электрическую цепь, изображенную на рис. 1, конденсаторы различных емкостей и каждый раз снимайте показания приборов при неизменной частоте звукового генератора 1000 Гц.

2. Вычислите емкостные сопротивления конденсаторов.

3. Составьте таблицу и внесите в нее результаты опытов.

4. Сделайте вывод о том, как при неизменной частоте тока емкостное сопротивление зависит от емкости конденсатора.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №47

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА ПО ЕГО СОПРОТИВЛЕНИЮ ПЕРЕМЕННОМУ ТОКУ

Цели: научиться вычислять емкость конденсатора по его емкостному сопротивлению; определить общую емкость двух конденсаторов при их а) параллельном, б) последовательном соединениях.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; конденсаторы разной емкости в пределах 0,5—22 мкФ — 2 шт.; звуковой генератор; миллиамперметр и вольтметр переменного тока; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

В предыдущей лабораторной работе Вы установили, что емкостное сопротивление $\mathbf{X_c}$ зависит от емкости конденсатора и частоты переменного тока и определяется формулой:

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C} \qquad (1).$$

Там же было сказано о том,что его можно вычислить на основании закона Ома для участка цепи:

$$X_C = \frac{U}{I} \qquad (2).$$

Этих сведений достаточно для экспериментального определения емкости конденсаторов.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Из вышеприведенных формул (1) и (2) выразите емкость конденсатора **C**.
2. Какой формулой определяют общую емкость конденсаторов при их соединении: а) параллельно? б) последовательно?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Примечание. В работе лучше всего использовать неполярные конденсаторы (типа БМ, МБМ и т. д.) емкостями 0,5—2 мкФ. Возможно применение оксидных конденсаторов емкостями 5—22 мкФ, которые включают в цепь без учета полярностей. Однако вследствие уменьшения их емкости с течением времени и из-за боль-

шого тока утечки через диэлектрик вычисленные емкости могут быть значительно меньше номинальных значений, указаных на их корпусах.

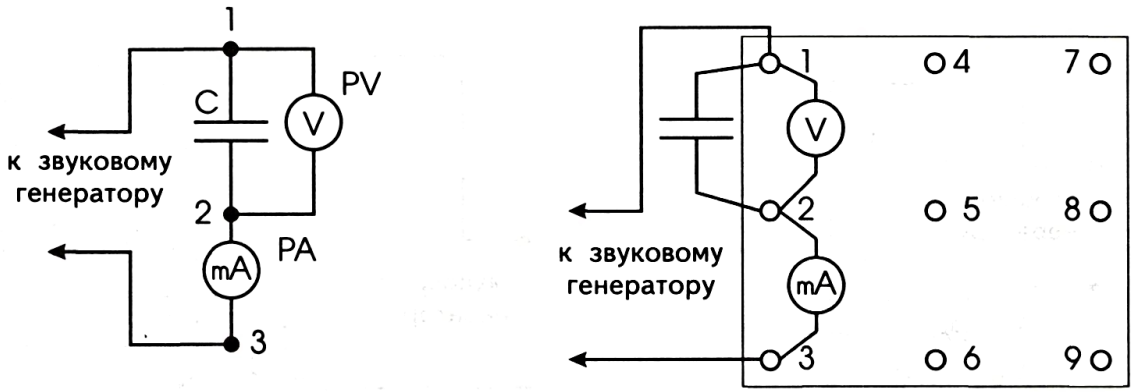
Задание 1

Рассчитайте электрическую емкость конденсаторов. Показания приборов и результаты вычислений занесите в первую и вторую строки табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1.

Таблица 1

Включенный конденсатор	Параметры цепи			
	ν, Гц	U, В	I, 10^{-3} А	C, Ф
C1				
C2				
C1 и **C2** параллельно				
C1 и **C2** последовательно				



а б

Рис. 1

2. Звуковой генератор установите для работы на частоте 1000 Гц.

3. Снимите показания приборов и по ним рассчитайте электроемкость конденсатора, используя вышеприведенные формулы (1) и (2).

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия, используя второй конденсатор.

Задание 2

Соедините конденсаторы параллельно и рассчитайте их общую емкость. Данные опыта занесите в третью строку табл. 1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 2.
2. Снимите показания приборов и вычислите общую емкость конденсаторов.
3. Убедитесь в правдивости формулы для расчета емкости параллельно соединенных конденсаторов: $C_{общ}=C_1+C_2$.

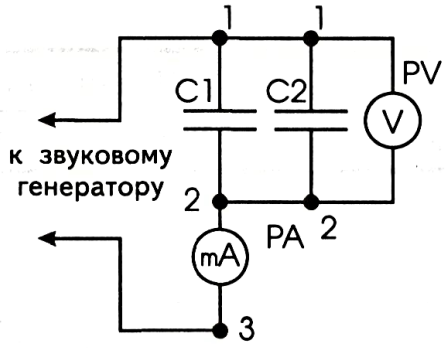
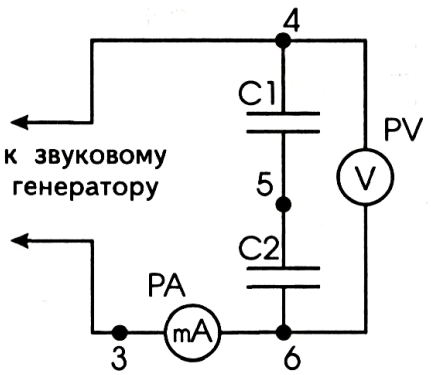


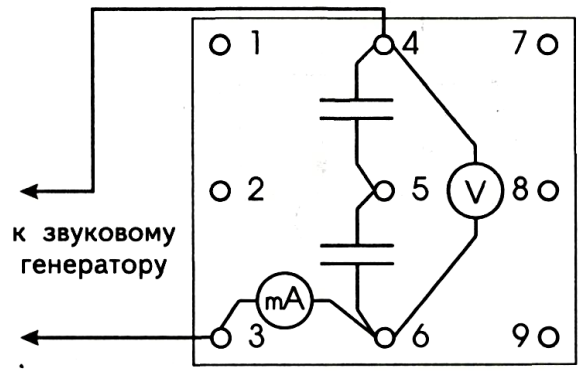
Рис. 2

Задание 3

Соедините конденсаторы последовательно и рассчитайте их общую электроемкость. Данные занесите в четвертую строку табл. 1.



а



б

Рис. 3

1. Соберите электрическую цепь по рис. 3.
2. Снимите показания приборов, вычислите общую емкость конденсаторов.
3. Убедитесь в верности формулы для расчета общей емкости последовательно соединенных конденсаторов: $\frac{1}{C_{общ}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№48

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель: изучить, как ведут себя в цепи переменного тока последовательно соединенные активное, индуктивное и емкостное сопротивления.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; резистор 100 Ом; катушка индуктивности (можно использовать катушку, изготовленную в ходе лабораторной работы № 28 или от разборного электромагнитного реле); конденсатор неполярный емкостью 1 мкФ; миллиамперметр переменного тока на 50 мА; вольтметр переменного тока (или авометр); омметр; звуковой генератор; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

На рис. 1 представлена электрическая цепь переменного тока, содержащая последовательно включенные резистор **R** (активное сопротивление), катушку индуктивности **L** (индуктивное сопротивление) и конденсатор **C** (емкостное сопротивление). Под действием приложенного к этой цепи напряжения, изменяющегося по закону $u = U_m \sin \omega t$, во всех ее участках сила тока изменяется одновременно (синхронно) и выражается формулой $i = I_m \sin \omega t$.

В этих формулах **u** и i представляют мгновенные, а U_m и I_m – амплитудные значения напряжения и силы тока.

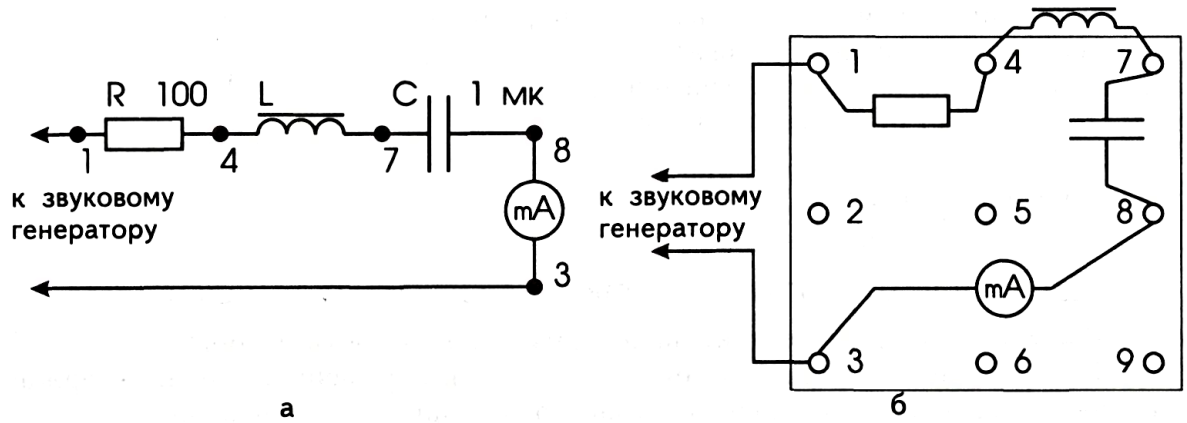


Рис. 1

На резисторе **R** колебания напряжения совпадают по фазе с колебаниями силы тока (рис. 2, *а*).

На индуктивном сопротивлении в результате действия ЭДС самоиндукции напряжение опережает по фазе силу тока в нем на $\frac{\pi}{2}$ (рис. 2, *б*); часто говорят, что сила тока отстает от напряжения. Это значит, что при максимальных значениях наряжения на катушке сила тока в ней равна нулю, и, наоборот, при нулевых значениях напряжения сила тока в цепи максимальна.

У этого участка интересная особенность: катушка, в отличие от резистора (активного сопротивления), не потребляет мощности от источника тока: вся энергия, расходуемая источником на создание магнитного поля катушки, возвращается в цепь, когда магнитное поле изчезает.

Конденсатор, находясь в цепи переменного тока, непрерывно подвергается то процессу зарядки (накопления энергии), то разрядки (возвращения энергии в цепь) с частотой, равной частоте тока; значит, конденсатор, как и катушка, мощности от источника тока не потребляет. Наибольший ток будет в те моменты, когда напряжение на обкладках конденсатора меняет знак. При амплитудных значениях напряжения сила тока в цепи конденсатора равна нулю. Следовательно, синусоидальное напряжение на конденсаторе отстает от синусоидального тока в нем на $\frac{\pi}{2}$ (рис. 2, *в*).

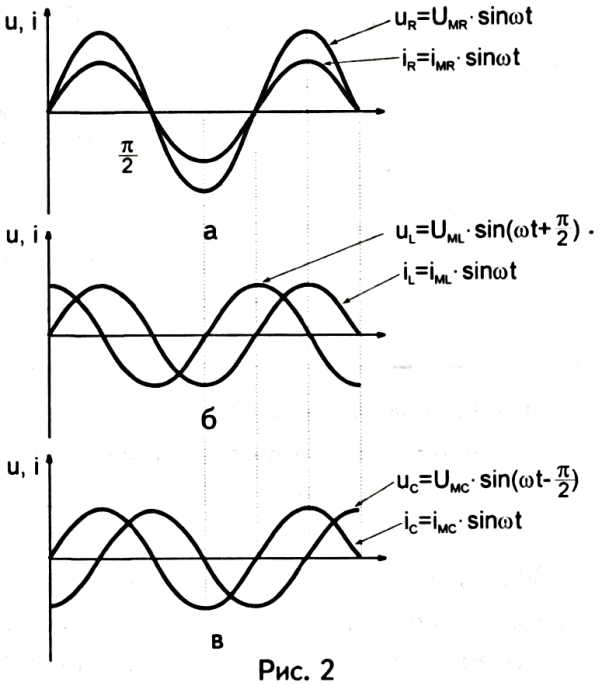


Рис. 2

Полное сопротивление **Z** последовательно включенных в цепь переменного тока активного **R**, индуктивного $\mathbf{X_L}$ и емкостного $\mathbf{X_c}$ сопротивлений определяется не алгебраическим сложением, а формулой:

$$Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}.$$

Действующее значение силы тока **I** в цепи связано с действующим значением напряжения **U** выражением закона Ома для последовательной цепи переменного тока формулой:

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}}.$$

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое активное, индуктивное и емкостное сопротивления?
2. Как рассчитать полное сопротивление цепи переменного тока, содержащей последовательно соединенные резистор, катушку и конденсатор?
3. Как выражается закон Ома для последовательной цепи переменного тока?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Вычислите параметры последовательно соединенной электрической цепи переменного тока и проверьте справедливость закона Ома для нее. Результаты измерений и вычислений занесите в первую строку табл. 1.

Таблица 1

Измерения						Вычисления					
ν, Гц	I, А	U, В	U_R, В	U_L, В	U_C, В	R, Ом	X_L, Ом	X_C, Ом	Z, Ом	I_P, Ом	$\frac{I-I_P}{I}\cdot 100\%$
1000											
2000											

1. Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 1.

2. Включите звуковой генератор и частоту колебаний напряжения установите равной 1000 Гц.

3. Меняя величину подаваемого напряжения, установите силу переменного тока **I** в цепи в пределах 0,03–0,05 А.

4. Вольтметром переменного тока (или авометром) измерьте общее напряжение **U** на всем участке и напряжения U_R, U_L, U_C на отдельных отрезках цепи – **R, L, C**.

5. Используя снятые показания приборов, вычислите:

– активное сопротивление резистора по формуле: $R = \frac{U_R}{I}$;

– индуктивное сопротивление катушки: $X_L = \frac{U_L}{I}$;

– емкостное сопротивление конденсатора: $X_C = \frac{U_C}{I}$;

– общее сопротивление цепи: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$;

– силу тока в цепи: $I_P = \frac{U}{Z}$, (I_p – расчетная сила тока).

6. Вычислите относительную ошибку для расчетного значения силы тока I_p по сравнению с экспериментальным ее значением **I**.

Примечание. **В работе активное сопротивление катушки не учитывалось, но оно есть. Проверьте это, подключив к ее выводам омметр.**

Задание 2

Повторите опыт при частоте напряжения на выходе звукового генератора 2000 Гц, выполняя действия, указанные в пунктах 3–6 задания 1. Результаты измерений и вычислений занесите во вторую строку табл. 1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему полное сопротивление последовательной цепи переменного тока не равно алгебраической сумме активного, индуктивного и емкостного сопротивлений участков?

2. Выполняется ли в последовательно соединенной цепи переменного тока, состоящей из резистора, катушки и конденсатора, равенство $U=U_R+U_L+U_C$ для действующих значений напряжений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 49

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗОНАНСА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель: изучить явление резонанса в последовательном колебательном контуре.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; миллиамперметр переменного тока; вольтметр переменного тока (или авометр); конденсатор неполярный емкостью 1 мкФ (использование оксидно-электролитических конденсаторов не желательно) — 2 шт.; катушка индуктивности (см. лабораторную работу № 28); резистор 51 Ом; звуковой генератор; омметр; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Последовательно соединенные резистор **R**, катушка индуктивности **L** и конденсатор **C** образуют последовательный колебательный контур (рис. 1), во всех элементах которого течет одной и той же силы ток.

Но на конденсаторе ток опережает напряжение на $\frac{\pi}{2}$, а ток через катушку отстает от напряжения на ней на $\frac{\pi}{2}$. Значит, напряжение на катушке $U_L = IX_L$ и напряжение на конденсаторе $U_c = IX_c$ сдвинуты по фазе на 180° и действует друг против друга.

Рассмотрим результат постепенного увеличения частоты тока с помощью звукового генератора в контуре при неизменном напряжении. Для этого проанализируйте экспериментально полученную кривую (рис. 2). Вначале сила тока в цепи возрастает, достигая максимального значения при некоторой частоте ν_0, называемой резонансной, затем начинает постепенно убывать.

Такая зависимость силы тока в контуре от частоты объясняется следующим образом. При увеличении частоты тока индуктивное сопротивление постепенно увеличивается, а емкостное — уменьшается. При резонансной частоте ν_0 индуктивное сопротивление

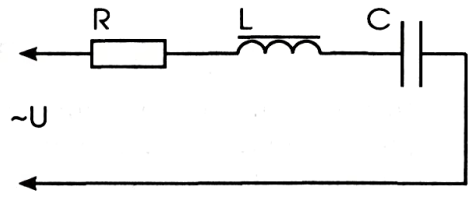


Рис. 1

катушки становиться равным емкостному сопротивлению контура: $X_L=X_C$. Уравняются также противофазные напряжения U_L и U_C, которые полностью скомпенсируют друг друга. Общее сопротивление цепи, определяемое формулой $Z=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}$, резко уменьшается. В цепи как бы остается только активное сопротивление контура R, из-за чего сила тока резко возрастает.

При частотах, меньших резонансной, в цепи преобладает емкостное сопротивление над индуктивным, а при частотах, больших резонансной, в цепи, в основном, действует индуктивное сопротивление. В том и другом случае общее сопротивление цепи растет, вызывая уменьшение силы тока и напряжений U_L, U_C.

Из условия равенства сопротивлений $X_L=2\pi\nu L$ и $X_C=\frac{1}{2\pi\nu C}$ при резонансе определяется значение собственной частоты контура $\nu_0=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ и периода колебаний $T=2\pi\sqrt{LC}$.

Величину $\sqrt{\frac{L}{C}}$, численно равную индуктивному или емкостному сопротивоению при условии резонанса, называют волновым сопротивлением колебательного контура и обозначают буквой ρ: $\rho=X_{OL}=X_{OC}=\sqrt{\frac{L}{C}}$.

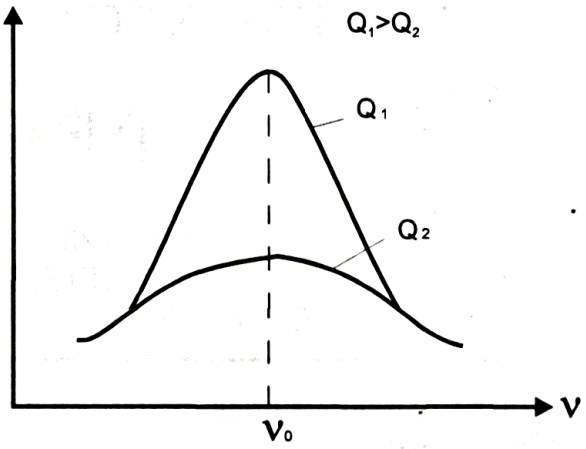


Рис. 2

Отношение волнового сопротивления к активному сопротивлению контура называют добротностью контура и обозначают буквой Q:

$$Q=\frac{\rho}{R}=\frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R}.$$

Добротность контура тем выше, чем меньше в цепи активное сопротивление и емкость конденсатора и чем больше индуктивность катушки. Чем выше добротность контура, тем медленнее затухают колебания, уменьшается ширина резонансного пика и резонанс становится более острым (см. рис. 2, $Q_1>Q_2$).

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое явление резонанса?
2. При каком условии наступает электрический резонанс в колебательном контуре, состоящем из последовательно соединенных резистора, катушки и конденсатора?
3. Как выглядит резонансная кривая?

4. Что происходит в колебательном контуре при электрическом резонансе?

5. По каким формулам можно рассчитать собственную частоту контура и период его колебаний?

6. Что называется волновым сопротивлением контура?

7. Что такое добротность контура? От чего она зависит и как характеризует контур?

8. Где и для чего можно использовать явление резонанса в последовательном колебательном контуре?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Постройте резонансную кривую функции I=f(ν). Показания миллиамперметра занесите в первую строку табл. 1.

Таблицы 1

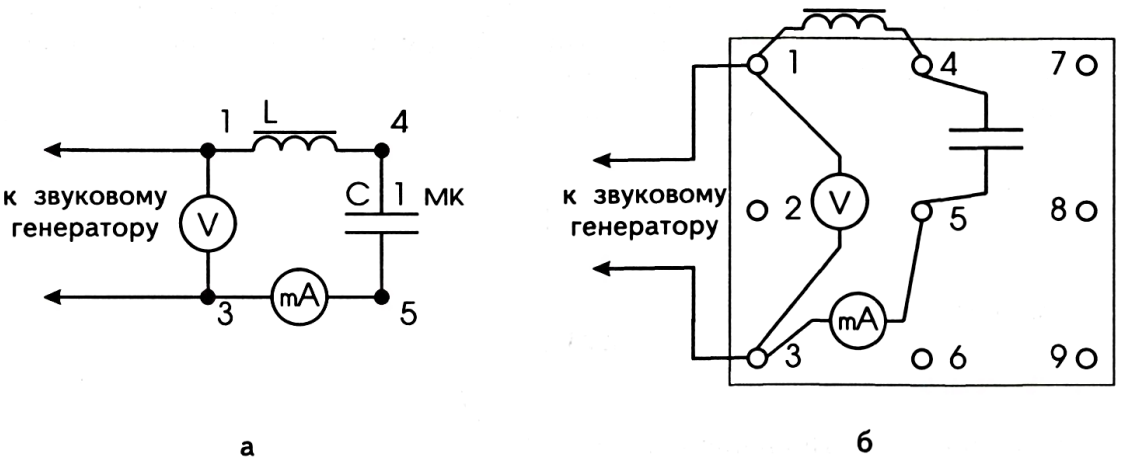
Частота колебаний ν, Гц		200	400	600		2600	2800	3000
Сила тока в цепи I, мА	без резистора							
	с резистором							

1. Соберите электрическую цепь по рис. 3.

2. При неизменном выходном напряжении звукового генератора в пределах 3–4 В снимите показания миллиамперметра через каждые 200 Гц между частотами 200 Гц и 3000 Гц.

3. Постройте резонансную кривую **I=f(ν)**.

4. По графику определите резонансную частоту контура ν_0.



а б

Рис. 3

Задание 2

Постройте резонансную кривую для контура, состоящего из участков с активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями. Показания приборов занесите во вторую строку табл. 1.

1. Включите в имеющуюся цепь (рис. 3) последовательно с катушкой и конденсатором резистор 51 Ом.
2. Выполните измерения, описанные в пункте 2 задания 1.
3. Постройте в тех же осях координат по полученным данным вторую резонансную кривую.
4. Определите резонансную частоту контура.
5. Сравните кривые, выявите их сходства и различия.

Задание 3

Определите параметры последовательного колебательного контура при резонансе. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Измерения					Вычисления					
ν_0, Гц	I_0, А	U_{0L}, В	U_{0C}, В	R, Ом	L, Гн	C, Ф	ρ, Ом	Q	$\nu_{рез}$, Гц	$\frac{\nu_0-\nu_{рез}}{\nu_0}$ 100%

1. Исключив из цепи резистор **R**, восстановите электрическую схему, изображенную на рис. 3.
2. Настройте колебательный контур на резонанс и измерьте силу тока I_0, частоту генератора ν_0, напряжение U_{0L} на катушке индуктивности, напряжение U_{0C} на конденсаторе.
3. Выключите катушку индуктивности из цепи; омметром измерьте ее электрическое сопротивление **R**, которое будем принимать за активное сопротивление колебательного контура.

4 Используя снятые показания приборов, вычислите:

– индуктивность катушки: $L = \frac{U_{0L}}{2\pi\nu I_0}$;

– емкость конденсатора: $C = \frac{I_0}{2\pi\nu U_{0C}}$;

– волновое сопротивление контура: $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$;

– добротность контура: $Q = \frac{\rho}{R}$;

– резонансную частоту контура: $\nu_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$;

– относительную ошибку для расчетного значения резонансной частоты $\nu_{рез}$ контура по сравнению с экспериментальным ее значением ν_0:

$$\varepsilon = \frac{\nu_0 - \nu_{рез}}{\nu_0} \cdot 100\% .$$

Задание 4

Исследуйте, как изменяется резонансная частота:

а) при уменьшении индуктивности катушки частичным выдвижением (на 1/3 длины) из нее стержня;

б) при увеличении емкости параллельным подключением к первому конденсатору второго.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №50

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗОНАНСА В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель: исследовать явление резонанса в параллельном колебательном контуре.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; миллиамперметр переменного тока на 50 мА; вольтметр переменного тока (или авометр, мультиметр); конденсатор неполярный емкостью 1 мкФ – 2 шт.; катушка индуктивности (см. лабораторную работу № 28); звуковой генератор; соединительные провода – 6 шт.

Краткая теория

В радиотехнических устройствах часто встречается так называемый параллельный колебательный контур, элементы которого (конденсатор и катушка) подключаются к источнику переменного тока параллельно (рис. 1).

Под действием переменного напряжения **U** через конденсатор **C** протекает ток $\mathbf{I_c}$, опережающий напряжение на нем на $\frac{\pi}{2}$, сила которого прямо пропорционально зависит от частоты: $\mathbf{I_c}=2\pi\nu\mathbf{CU}$.

Ток $\mathbf{I_L}$, протекающий через катушку **L**, отстает от наряжения на ней на $\frac{\pi}{2}$ и обратно пропорционально зависит от частоты: $I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi\nu L}$.

Отсюда следует, что в цепи переменного тока при низких частотах малое индуктивное сопротивление катушки $\mathbf{X_L}$ шунтирует большое емкостное сопротивление конденсатора $\mathbf{X_C}$. На высших частотах, наоборот, большое индуктивное сопротивление катушки шунтируется малым емкостным сопротивлением конденсатора. Только при частоте ν_0, называемой резонансной, эти два реактивных сопротивления равны ($\mathbf{X_L}=\mathbf{X_C}$) и друг друга не шунтируют.

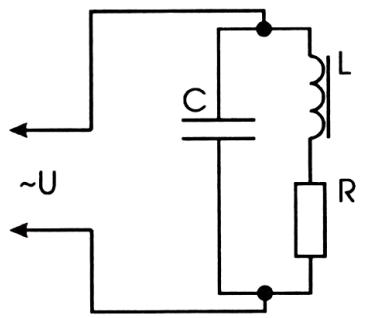


Рис. 1

При этом по ним протекают равные, но противоположно направленные токи (сдвиг фаз равен $\frac{\pi}{2}$), т. е. в контуре протекает кольцевой переменный ток. Если контур идеальный (активное сопротивление **R** равно нулю), то в цепи, соединяющей параллельный колебательный контур с источником переменного напряжения, сила тока равна нулю. Следовательно, идеальный параллельный колебательный контур при резонансе представляет собой бесконечно большое сопротивление.

В реальном контуре всегда имеется некоторое активное сопротивление **R** (рис. 1), складывающееся из сопротивления катушки, соединительных проводов и т. д. Поэтому полной компенсаци токов I_L и I_C никогда не происходит. Параллельный контур при резонансе оказывает току источника питания большое активное сопротивление. На рис. 2 представлен график изменения силы тока при изменении подаваемого на колебательный контур напряжения. Видно, что при резонансной частоте сопротивление контура максимально и в цепи течет минимальный ток.

Значение резонансной частоты параллельного колебательного контура определяется так же, как и для последовательного контура: $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

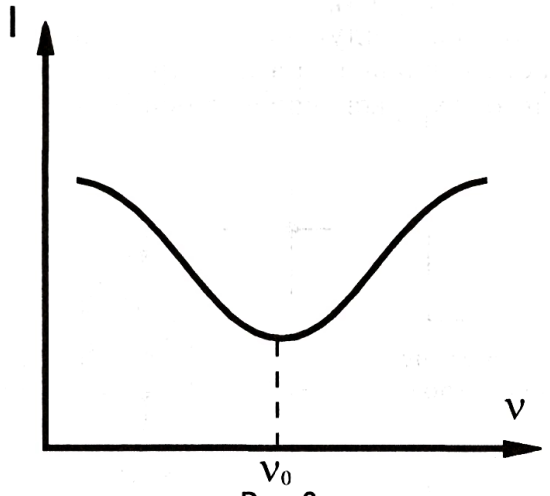


Рис. 2

Вопросы для самоконтроля по теории

1. При каком условии наступает электрический резонанс в колебательном контуре, состоящем из параллельно включенных катушки и конденсатора?
2. Каковы физические особенности, характеризующие явление резонанса в параллельном колебательном контуре?
3. Как определить собственную частоту параллельного колебательного контура?
4. Как выглядит резонансная кривая для параллельного колебательного контура?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Постройте резонансную кривую I=f(ν) для колебательного контура, содержащего параллельно включенные катушку и конденсатор, и определите его собственную (резонансную) частоту. Данные занесите в табл. 1.

Таблицы 1

Частота ν, Гц	200	400	600		2600	2800	3000
Сила тока I, мА							

1. Соберите электрическую цепь по рис. 3.
2. Установите выходное напряжение звукового генератора в пределах 3–4 В и снимите показания миллиамперметра через каждые 200 Гц между частотами 200 Гц и 3000 Гц.
3. По полученным данным постройте график зависимости **I=f(ν).**
4. Определите по графику собственную (резонансную) частоту колебательного контура ν_0.
5. Зная индуктивность катушки из предыдущих лабораторных работ и емкость конденсатора по маркировке на его корпусе, рассчитайте резонансную частоту $\nu_{рез}$ контура и сравните ее с экспериментально полученным значением ν_0.

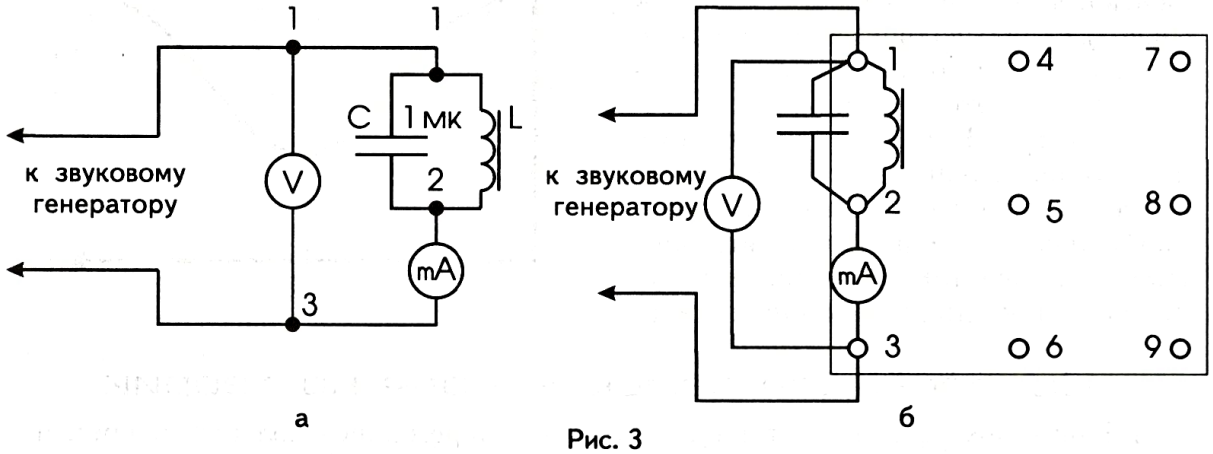


Рис. 3

Задание 2

Исследуйте, как изменяется резонансная частота контура с изменением характеристик его элементов:

а) при уменьшении индуктивности катушки (частичным выдвижением из нее стержня);

б) при увеличении емкости конденсатора (параллельном подключении к первому конденсатору второго).

1. Составьте план работы по пункту а) и по пункту б) задания.
2. Составьте таблицу для записи результатов опыта.
3. Проведите исследования и данные занесите в составленную Вами таблицу.
4. Постройте по полученным данным в общих координатных осях графики и сделайте сравнительный вывод.

Задание 3

Пользуясь результатами, полученными при выполнении задания 1 предыдущей лабораторной работы и задания 1 данной лабораторной работы, постройте резонансную кривую для последовательного и параллельного колебательных контуров, составленных из одних и тех же элементов, в одних и тех же координатных осях.

Сравните полученные графики и сделайте вывод.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависит значение резонансной частоты от:
   а) индуктивности катушки?
   б) емкости конденсатора?
2. Где используется явление электрического резонанса в параллельном колебательном контуре?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

№51

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ АКТИВНОГО, ИНДУКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель: изучить особенности прохождения токов разных частот по резистору, катушке, конденсатору.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; звуковой генератор; резистор 10 Ом; катушка индуктивности (из лабораторной работы № 28); оксидный конденсатор на 10 мкф; лампа МН 6,3 В х 0,3 А – 3 шт.; головной телефон ТОН-2; соединительные провода – 4 шт.

Краткая теория

Краткая теория описана в лабораторных работах №№ 43, 46, 50. Повторите ее.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Что такое активное сопротивление?
2. Зависит ли значение активного сопротивления от частоты тока?
3. Что такое емкостное сопротивление?
4. Как емкостное сопротивление зависит от частоты тока?
5. Что такое индуктивное сопротивление?
6. Как индуктивное сопротивление зависит от частоты тока?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Наблюдайте за прохождением переменного тока по резистору, катушке и конденсатору.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 1. В ней на каждую из трех миниатюрных ламп накаливания переменное напряжение от звукового генератора подается через сопротивление: в одном случае через активное **R**, в другом – индуктивное $\mathbf{X_L}$, в третьем – емкостное $\mathbf{X_C}$. Подключенный к ним параллельно головной телефон **BF** служит для звуковой индикации частоты тока в цепи.

2. Установите такое выходное напряжение генератора, чтобы лампа **HL1** горела достаточно ярко.

3. Плавно меняйте частоту звукового генератора от 200 Гц до 2000 Гц и обратно. За изменением частоты тока следите по характеру звучания телефона.

Наблюдайте одновременно за изменением яркости свечения ламп.

4. Объясните наблюдаемое явление.

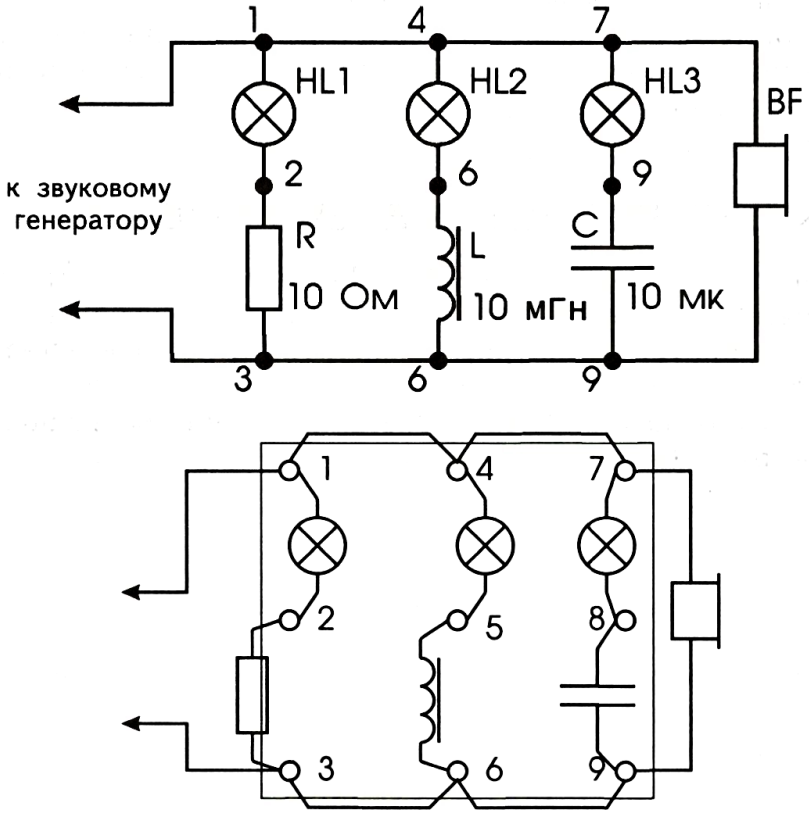


Рис. 1

Задание 2

Наблюдайте явление резонанса в контуре.

1. Из схемы, изображенной на рис. 1, исключите лампу **HL1** с резистором **R**.

2. Меняя частоту генератора, добейтесь того, чтобы обе оставшиеся лампы горели одинаково. Объясните эту ситуацию.

3. Подумайте, как надо изменить частоту генератора для восстановления данного эффекта, если из катушки частично выдвинуть стержень. Вашу гипотезу проверьте на опыте.

4. Подумайте как изменится резонансная частота этого контура, если в него включить конденсатор а) большей емкостью, б) меньшей емкостью. Ваше предположение проверьте на опыте.

Примечание. **Емкость участка можно менять, включив к имеющемуся конденсатору такой же конденсатор а) параллельно, б) последовательно.**

Задание 3

Сделайте простейшее цветомузыкальное устройство и испытайте его.

1. Изображенную на рис. 1 конструкцию подключите не к звуковому генератору, а к выходу звуковоспроизводящего устройства (магнитофона, проигрывателя) и наблюдайте за изменением яркости горения ламп при проигрывании музыки. Лампы можно окрасить пастой от шариковых ручек в разные цвета, например, красный, синий, зеленый.

2. Объясните наблюдаемые эффекты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему яркость горения ламп **HL2** и **HL3** зависит от частоты тока?

2. Почему свечение лампы **HL1** не изменяется при изменении частоты тока?

3. Можно ли на этой установке (рис. 1) обнаружить явление электрического резонанса? Как?

4. Как будут светить лампы **HL1**–**HL3**, если эту конструкцию подключить в цепь постоянного тока? Обоснуйте Ваш ответ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 52

ЗНАКОМСТВО С ТРАНЗИСТОРАМИ И ПРОВЕРКА ИСПРАВНОСТИ ИХ ПЕРЕХОДОВ

Цели: изучить устройство транзистора; проверить его исправность.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; транзисторы p-n-p- и n-p-n-типов (например, КТ209 и КТ315); лампа МН 6,3 В х 0,3 А; светодиод АЛ307 с огранчительным резистором; омметр (или авометр); соединительные провода — 2 шт.

Краткая теория

Слово «транзистор» происходит от английских слов «**transfer**» — преобразователь и «**resistor**» — сопротивление. Транзистор — это трехэлектродный полупроводниковый прибор. В зависимости от типов проводящих зон могут быть *n-p-n-* и *p-n-p*-транзисторы, в которых происходят однотипные физические процессы. Такие транзисторы называются биполярными, так как их работа основана на использовании носителей заряда обоих знаков: электронов (−) и дырок (+).

Схематическое изображение *n-p-n*-транзистора показано на рис. 1, *а*, *p-n-p*-транзистора — на рис. 2, *а*, а их условные и графические обозначения — на рисунках 1, *б* и 2, *б* соответственно. Средняя область называется базой, одна крайняя область — эмиттером, другая — коллектором.

В транзисторе, в отличие от диода, имеется два *p-n*-перехода: эмиттерный — между эмиттером и базой — и коллекторный — между базой и коллектором. Условно транзистор можно представить как два диода с одной проводящей зоной (рис. 1, *в*, рис. 2, *в*).

Внешний вид распространенных транзисторов приведен на рис. 3.

Прежде чем использовать транзистор обычно проверяют его исправность: целостность переходов. Делают это тем же способом, что и проверку диода (см. лабораторную работу № 34): измеряют сопротивления переходов омметром (авометром) или проверяют цепочкой, состоящей из источника питания и лампы (или источника питания и светодиода). У исправного транзистора оба перехода в прямом направлении (т. е. когда у *p-n-p*-транзистора на базе отрицательный потенциал, а у *n-p-n*-транзистора — положительный) имеют малое сопротивление: несколько ом, а в обратном направлении (когда у *p-n-p*-транзистора на базе «+», у *n-p-n*-транзистора — «−») — большое сопротивление: несколько сотен килоом.

У транзисторов возможны следующие неисправности:

1) пробиты оба перехода – тогда они в обоих направлениях имеют незначительные сопротивления;

2) оборваны один или оба перехода – тогда они имеют бесконечно большие сопротивления;

3) один переход пробит, другой оборван;

4) пробит участок эмиттер – коллектор – тогда он имеет малое сопротивление.

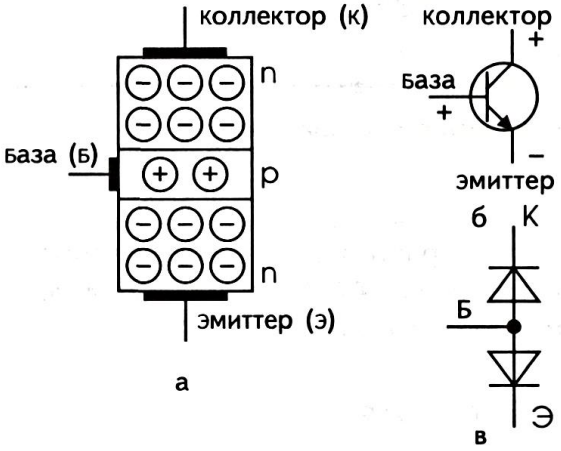


Рис. 1

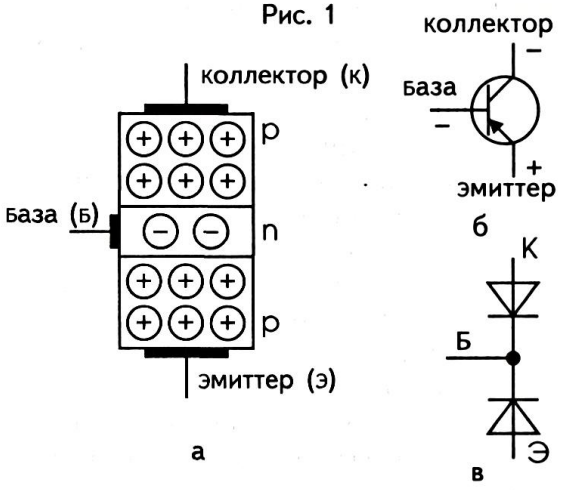


Рис. 2

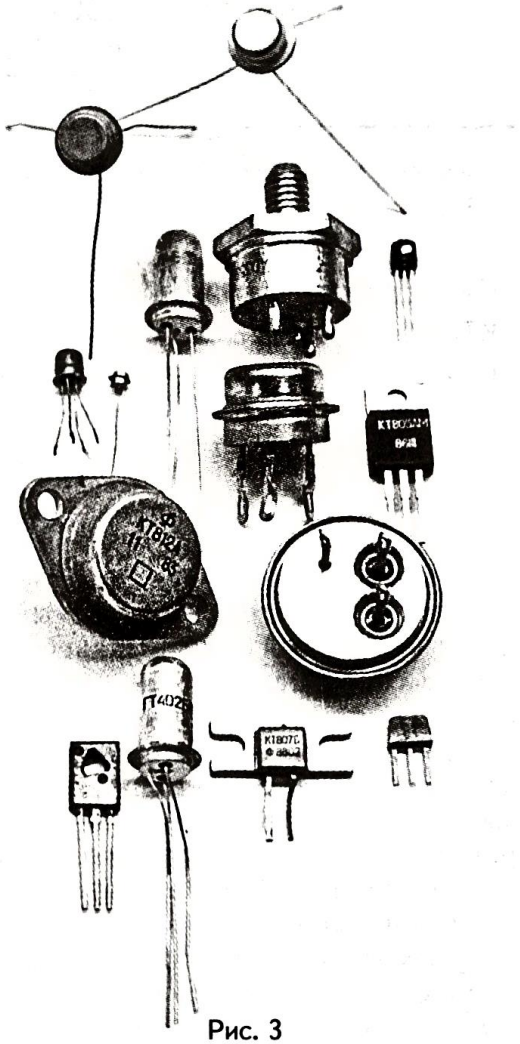


Рис. 3

Вопросы самоконтроля по теории

1. Что такое транзистор? Как он устроен?
2. Чем транзистор отличается от диода по конструкции?
3. Какие бывают типы транзисторов? Чем они отличаются друг от друга?
4. Какие неисправности возможны у транзисторов и по каким признакам их можно обнаружить?
5. Как можно проверить исправность транзистора?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Примечание. При выполнении работ имейте в виду, что: а) вывод «Общ» омметра, входящего в состав авометра АВО-63, обладает положительным потенциалом; б) на некоторых рисунках эмиттерные и коллекторные переходы условно показаны пунктиром в виде диодов; в) во избежание порчи переходов процесс измерения их сопротивлений должен быть кратковременным.

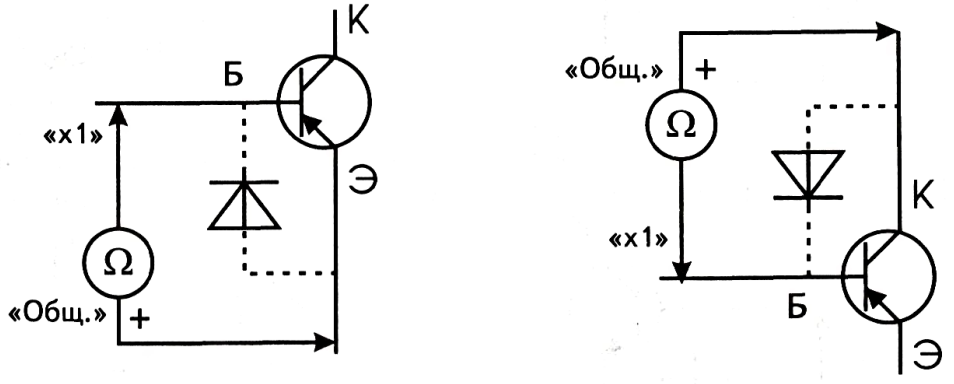
Задание 1

Измерьте омметром сопротивления переходов транзистора р-n-р-типа. Результаты измерений занесите в первую строку табл. 1.

Таблица 1

Тип транзистора	Сопротивления переходов, Ом				Вывод
	Прямое включение		Обратное включение		
	база – эмиттер	база – коллектор	база – эмиттер	база – коллектор	
р-n-р					
n-р-n					

1. Измерьте омметром сопротивления переходов эмиттер—база и коллектор—база при прямом включении транзистора. Для этого подключите омметр к транзистору так, как показано на рис. 4, *а* и *б*.



а б

Рис. 4

2. Измерьте омметром сопротивления этих же переходов при обратном включении транзистора. Для этого соедините их с омметром так, как показано на рис. 5, *а* и *б*.

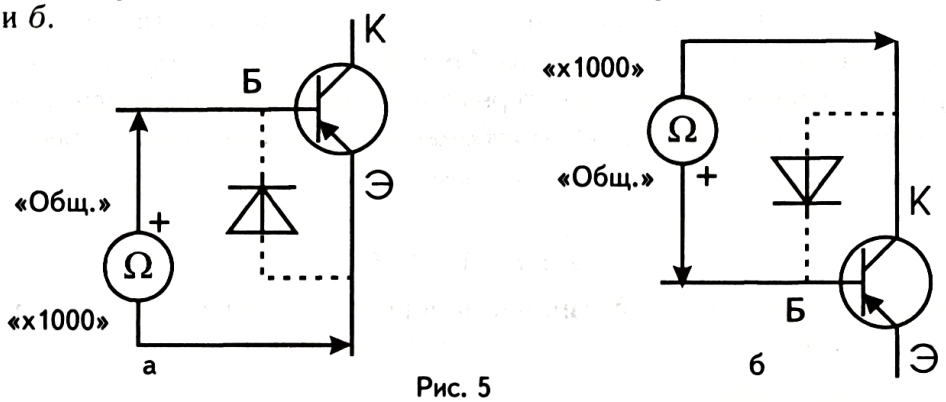


Рис. 5

3. Проанализируйте результаты и сделайте вывод об исправности или неисправности транзистора.

Задание 2

Измерьте сопротивления переходов транзистора *n-p-n*-типа. Результаты измерений занесите во вторую строку табл. 1.

1. Возьмите транзистор *n-p-n*-типа и измерьте омметром сопротивления его переходов база—эмиттер, база—коллектор при прямом включении транзистора. Для этого подключите к нему омметр так, как показано на рис. 6, *а* и *б*.

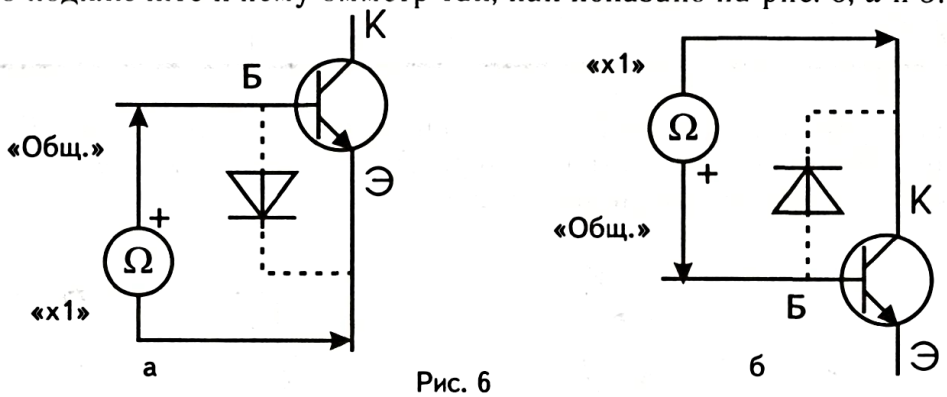


Рис. 6

2. Измерьте сопротивления этих же переходов при обратном включении транзистора. Для этого соедините его с омметром так, как показано на рис. 7, *а* и *б*.

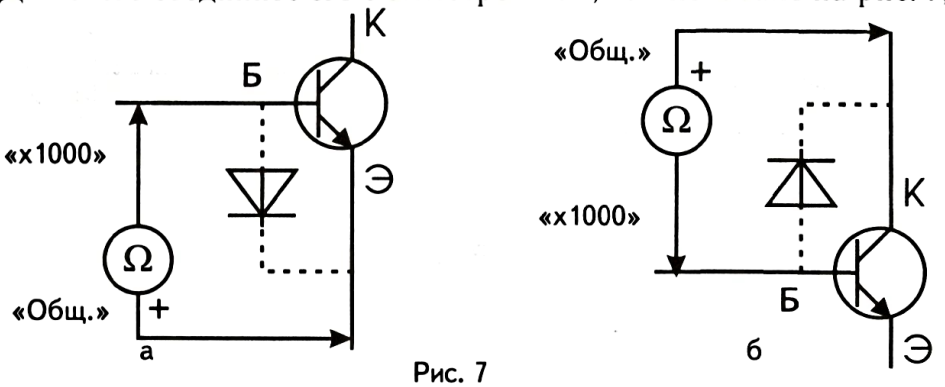


Рис. 7

3. Проанализируйте результаты опытов и сделайте вывод об исправности транзистора.

Задание 3

Измерьте сопротивления участков эмиттер—коллектор и коллектор—эмиттер транзисторов *p-n-p-* и *n-p-n*-типов. Результаты измерений занесите в табл. 2.

Таблица 2

Тип транзистора	Сопротивления участков, Ом		Вывод
	эммитер – коллектор	коллектор – эммитер	
p-n-p			
n-p-n			

1. Подключите омметр к транзистору *p-n-p*-типа так, как показано на рис. 8, *а* и *б* и измерьте сопротивления участков эмиттер—коллектор и коллектор—эмиттер.
2. Измерьте сопротивления этих же участков у *n-p-n*-транзистора (рис. 9, *а* и *б*).

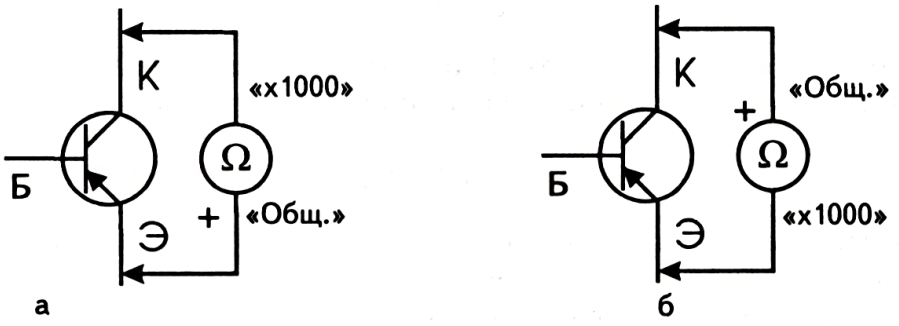


Рис. 8

3. Сравните результаты измерений и сделайте вывод.

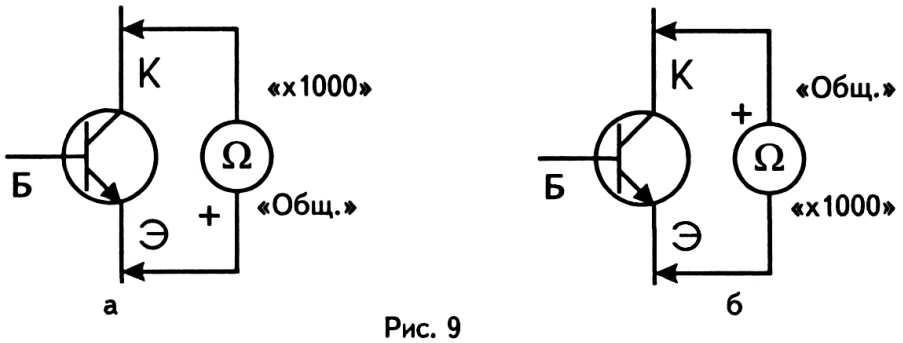


Рис. 9

Задание 4

Проверьте исправность переходов транзистора *p-n-p*-типа лампой накаливания или светодиодом.

1. Изучите изображенные на рис. 10 (*а, б, в, г*) электрические цепи и ответьте, в каких случаях лампы или светодиоды светят, а в каких нет. Объясните почему.

2. Ваши предположения проверьте на опытах.

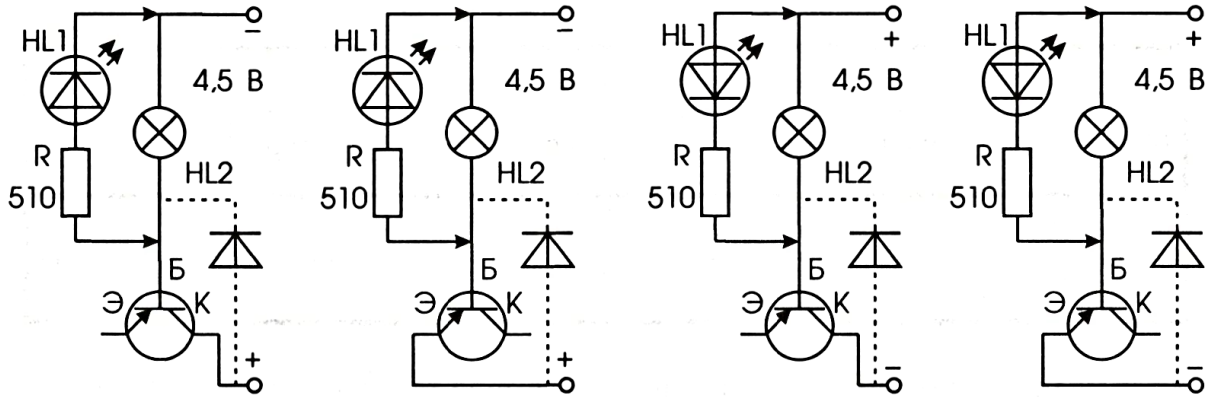


Рис. 10

Задание 5

По аналогии с заданием 4 составьте схемы и проведите испытания транзистора *n-p-n*-типа лампой накаливания или светодиодом.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На чем основана проверка исправности переходов транзистора омметром, лампой накаливания и светодиодом?

2. Какие меры предосторожности нужно соблюдать при измерении сопротивлений переходов транзистора?

3. Как, имея только омметр, можно определить выводы транзистора и его структуру?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №53

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

Цель: исследовать работу транзистора в импульсном режиме.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; транзисторы p-n-p- и n-p-n-типов (например, КТ 209 и КТ 315); лампа МН 6,3 Вх0,3 А (можно заменить светодиодом с ограничительным резистором; включают с учетом полярностей вместо лампы); резистор 300 Ом; переменный резистор 500 кОм; вольтметр; источники питания 1,5 В (элемент 316, 332 и др.) и 4,5 В (ИПФ или квадратная батарея); соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

В зависимости от способа включения эмиттерного и коллекторного переходов к внешним источникам питания транзистор может работать в активном режиме (режиме усиления) и в импульсном (режимах отсечки и насыщения). Схема для испытания транзистора *p-n-p*-типа в импульсном режиме, который еще называют ключевым или режимом переключения, приведена на рис. 1.

Принцип работы транзистора заключается в том, что малый базовый ток $\mathbf{I_б}$, создаваемый малым напряжением $\mathbf{U_{бэ}}$, действующим между базой и эмиттером, существенно влияет на токи эмиттера $\mathbf{I_э}$ и коллектора $\mathbf{I_к}$. Эмиттерный p-n-переход является управляющим переходом. Происходит это следующим образом. Напряжение источника **G**, подаваемое через ограничительный резистор **R** между базой и эмиттером в отрицательной полярности к базе, открывает эмиттерный *p-n*-переход. Открытый *p-n*-переход «впрыскивает» (инжектирует) дырки (у *n-p-n*-транзистора электроны) в область базы, где их небольшая часть рекомбинируется с электронами, создавая малый базовый ток $\mathbf{I_б}$. Ширина базы в транзисторах столь мала, что 90–99 % дырок, прошедших через эмиттерный переход, не успевают рекомбинировать. Они за счет диффузии достигают коллекторного перехода, где, попадая под прямое для них отрицательное напряжение коллектора, создаваемое источником питания **GB**, резко уменьшают его сопротивление. Коллекторная цепь, до этого разорванная большим сопротивлением закрытого *p-n*-перехода, начинает проводить ток $\mathbf{I_к}$, создаваемый источником питания **GB**.

Итак, небольшое прямое напряжение $\mathbf{U_{бэ}}$, приложенное к эмиттерному переходу, открывает его. Прямой ток, прошедший через эмиттерный переход,

открывает второй переход транзистора – коллекторный. Транзистор оказывается открытым, и по цепи эмиттер–база–коллектор идет коллекторный ток $I_к$. Транзистор входит в режим насыщения. Сила тока насыщения определяется отношением напряжения питания к сопротивлению нагрузки коллектора: $I_{к.нас} = \frac{U_{пит}}{R_н}$.

Между токами в электродах транзистора существует такая связь: $I_э = I_б + I_к$, причем $I_б << I_к$. В режиме насыщения напряжение $U_н$ на нагрузке (резисторе $R_н$) намного больше напряжения $U_к$ на коллекторе, а их сумма равна напряжению источника питания GB: $U_{пит} = U_к + U_н$.

Для того чтобы открыть транзистор, напряжение $U_{бэ}$ между базой и эмиттером должно быть не менее 0,15 В для германиевых транзисторов и не менее 0,5 В для кремниевых (см. лабораторную работу № 35 «Снятие вольт-амперной характеристики диода»).

При изменении полярности включения элемента G на обратную (рис. 1, показано пунктиром) его напряжение, приложенное плюсом к базе, закрывает эмиттерный переход, а значит и коллекторный. Теперь прямого тока через транзистор нет. Он находится в закрытом состоянии (режиме отсечки). В цепи коллектора остался лишь неуправляемый небольшой обратный коллекторный ток $I_{кбо}$, обусловленный неосновными носителями зарядов в зонах транзистора.

На рис. 2 описанные процессы, происходящие при работе транзистора *p-n-p*-типа в импульсном режиме, представлены графически: изменениям полярности напряжения на базе соответствуют изменения коллекторного тока.

Выше мы рассмотрели физические явления, происходящие в транзисторе *p-n-p*-структуры. Аналогичные же процессы протекают в транзисторе *n-p-n*-типа, где меняются ролями дырки и электроны, а также изменяются полярности напряжений и направления токов. Транзистор *n-p-n*-типа открывается положительным потенциалом на базе относительно эмиттера, а отрицательным – закрывается.

Работа транзистора в импульсном режиме широко используется в электронных автоматических устройствах.

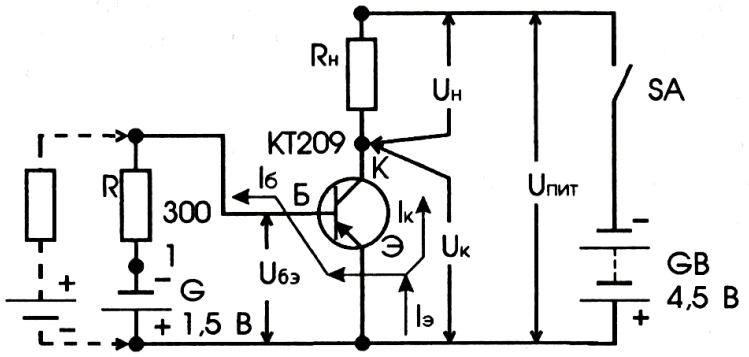


Рис. 1

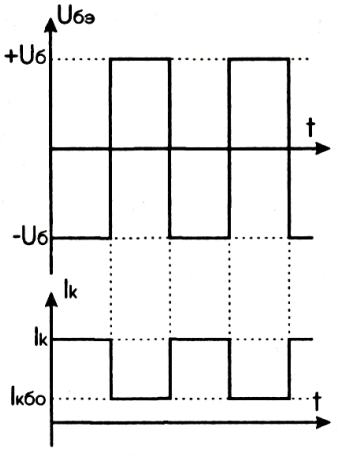


Рис. 2

Внимание! **Во избежание порчи транзистора отключение цепи питания базы при включенной коллекторной цепи не допускается.**

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какую роль играет база в работе транзистора?
2. Какой переход транзистора называют управляющим? Почему?
3. Опишите импульсный режим работы транзистора.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Исследуйте работу транзистора р-n-р-типа в импульсном режиме, питаемого от двух источников. Показания приборов занесите в табл. 1.

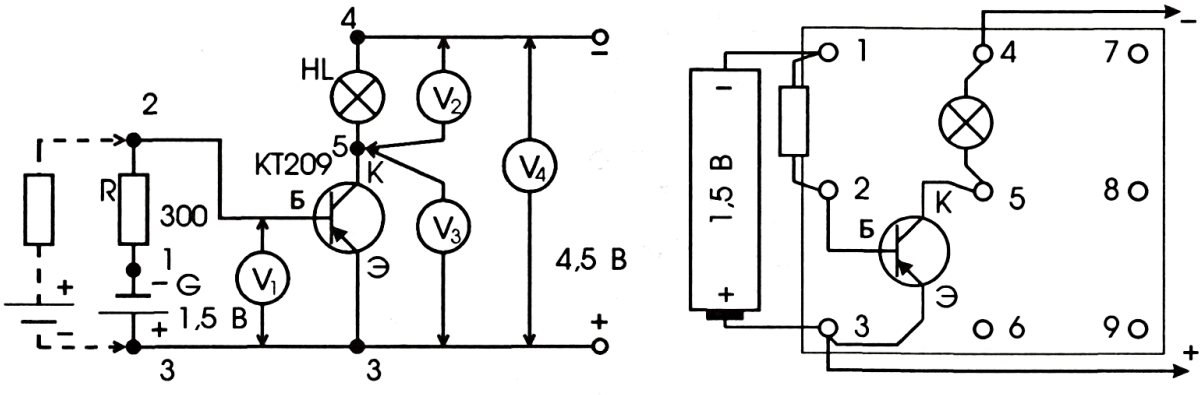
Таблица 1

Тип транзистора	Знак потенциала на базе	$U_{пит}$, В	$U_н$, В	$U_к$, В	$U_{бэ}$, В	Состояние транзистора
р-n-р	отрицательный					
	положительный					

1. Соберите схему по рис. 3, *а* и *б*, где на базу транзистора *р-n-р*-типа от источника **G** подайте небольшое отрицательное напряжение смещения $\mathbf{U_{бэ}}$ относительно эмиттера.

Транзистор открыт, лампа горит.

2. Измерьте вольтметром по очереди напряжение:
   – смещения $\mathbf{U_{бэ}}$ (вольтметром **PV1**);
   – на нагрузке (лампе) $\mathbf{U_н}$ (вольтметром **PV2**);
   – на коллекторе $\mathbf{U_к}$ (вольтметром **PV3**);
   – питания $\mathbf{U_{пит}}$ (вольтметром **PV4**).
3. Подайте на базу транзистора небольшое положительное напряжение смещения от источника питания **G** (рис. 3, пунктирный контур).



а б

Рис. 3

Транзистор закрыт, лампа не горит.

4. Произведите измерения напряжений, указанные в пункте 2.

5. Сделайте вывод:

а) как режим работы транзистора *p-n-p*-типа зависит от знака потенциала на базе относительно эмиттера;

б) как распределяется напряжение питания $U_{пит}$ между коллектором ($U_к$) и нагрузкой ($U_н$) в зависимости от состояния транзистора.

Задание 2

Исследуйте работу транзистора p-n-p-типа в импульсном режиме, питаемого от одного источника. Таблицу для занесения показаний прибора разработайте самостоятельно.

Примечание. **Использование двух источников питания (см. рис. 1 и 3), оправданное целями эксперимента, не всегда целесообразно на практике. Поэтому базовые и коллекторные цепи основной массы электронных конструкций питают от одного и того же источника, расположенного в коллекторной цепи (рис. 4).**

1. Соберите конструкцию по схеме, изображенной на рис. 4 *а*, или *б*.

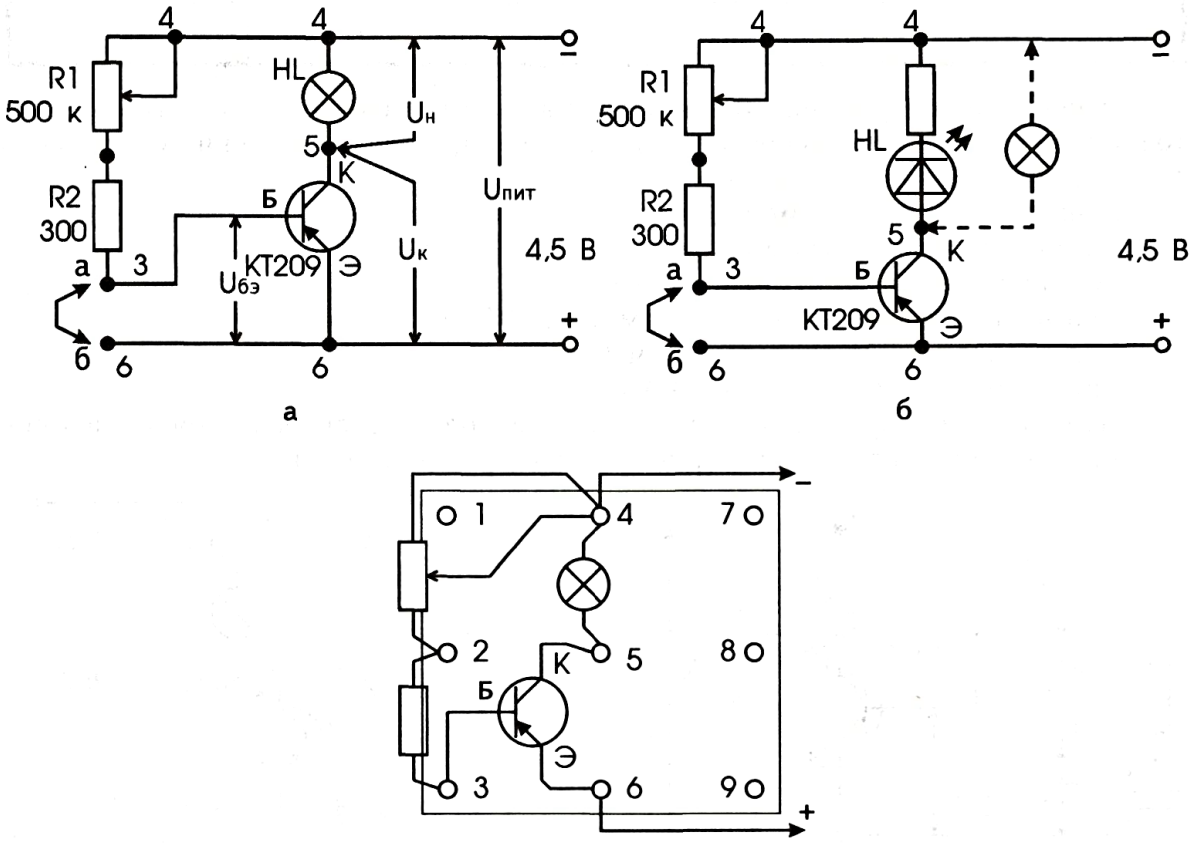


Рис. 4

2. Установите переменным резистором **R1** такое напряжение смещения $U_{бэ}$ между базой и эмиттером, при котором транзистор откроется и лампа горит вполнакала.

3. Измерьте напряжение:

– смещения $U_{бэ}$;

– на нарузке (лампе или светодиоде с резистором) $U_{н}$;

– на коллекторе $U_{к}$;

– питания $U_{пит}$.

4. Замкните проводом **аб** вывод базы с выводом эмиттера. При этом лампа (светодиод) гаснет, т.к. транзистор закрыт. Теперь повторите измерение напряжений, указанные в пункте 3.

5. Сделайте вывод:

а) как состояние транзистора *p-n-p*-типа зависит от значения и знака напряжения $U_{бэ}$;

б) как распределяется напряжение питания $U_{пит}$ между коллектором и нагрузкой в открытом и закрытом состояниях транзистора.

Задание 3

Проведите аналогичные описанным в заданиях 1 и 2 исследования для транзистора *n-p-n*-структуры.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается отличие включения в электрическую цепь транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n*?

2. Как распределяется напряжение питания между коллектором и нагрузкой в открытом и запертом состояниях транзистора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №54

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ТОКА ТРАНЗИСТОРА

Цель: научиться измерять коэффициент усиления транзистора опытным путем.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; переменные резисторы 1 кОм и 500 кОм; резисторы 300 Ом и 360 кОм; транзисторы p-n-p- и n-p-n-структур (КТ209 и КТ315); микроамперметр на 500 мкА; миллиамперметр на 50 мА; вольтметр лабораторный; источники питания 1,5 В (элементы 316, 332 и др.) и 4,5 В (ИПФ или квадратная батарея); соединительные провода – 8 шт.

Краткая теория

Маркировка транзистора. В настоящее время действует система обозначения транзисторов, состоящая из трех элементов.

Первый элемент – буква Г или I – присваивается транзисторам, сделанным из германиевого полупроводника, буква К или цифра 2 – кремниевым транзисторам, буква А или цифра 3 – транзисторам из арсенида галлия. Цифра вместо буквы указывает на способность транзистора работать при повышенных температурах: германий – выше +60°С, кремний – выше +85°С.

Второй элемент – буква Т – начальная буква слова «транзистор».

Третий элемент – трех- или четырехзначное число, характеризующее частотные свойства и мощности транзисторов.

Четвертый элемент – буква, характеризующая разновидность группы транзисторов данной серии.

Приведем несколько примеров расшифровки биполярных транзисторов: КТ315Б – кремниевый маломощный высокочастотный транзистор группы Б серии КТ315; ГТ108А – германиевый маломощный низкочастотный транзистор группы А серии ГТ108; КТ361В – кремниевый маломощный высокочастотный транзистор группы В серии КТ361.

Однако очень часто встречаются транзисторы старой системы маркировки, например: МП26А, МП42Б, П416А, П214Г. Буква М свидетельствует о том, что корпус транзистора холодносварной, буква П – первая буква слова «плоскостной».

Параметры транзистора. Каждый транзистор характеризуется множеством параметров, основные из которых перечислены ниже.

$h_{21э}$ – статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером; характеризует усилительные свойства транзистора.

$I_{к\ макс}$ – максимально допустимый постоянный ток коллектора, превышение которого не допускается.

$I_{кбо}$ – неуправляемый обратный ток через коллекторный p-n-переход, создаваемый неосновными носителями тока; чем он меньше, тем выше качество транзистора.

$U_{кэ\ макс}$ – максимально допустимое постоянное напряжение между коллектором и эмиттером.

$f_{гр}$ – граничная частота коэффициента передачи тока, при которой транзистор перестает усиливать.

Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$. Транзистор имеет три вывода: базу, эмиттер, коллектор. В зависимости от того, какой из выводов транзистора является общим для входных и выходных цепей, различают три возможных способа включения, приведенные на рис. 1: а) схема с общей базой (ОБ), б) схема с общим эмиттером (ОЭ) и в) схема с общим коллектором (ОК).

В усилительных каскадах чаще всего транзисторы включаются по схеме с общим эмиттером. Простые измерения, проведенные во входной цепи, силы базового тока $I_б$ и напряжения $U_б$ показывают, что транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером, многократно усиливает и силу тока, и напряжение. Значит, он также является усилителем мощности входного сигнала, определяемого как произведение силы тока и напряжения: $P=IU$.

Усилительные свойства транзистора, включенного по схеме ОЭ, характеризует статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$, равный отношению изменения силы тока коллектора $\Delta I_к$ к изменению силы тока базы $\Delta I_б$ при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером $U_к$: $h_{21Э} = \frac{\Delta I_К}{\Delta I_Б}$.

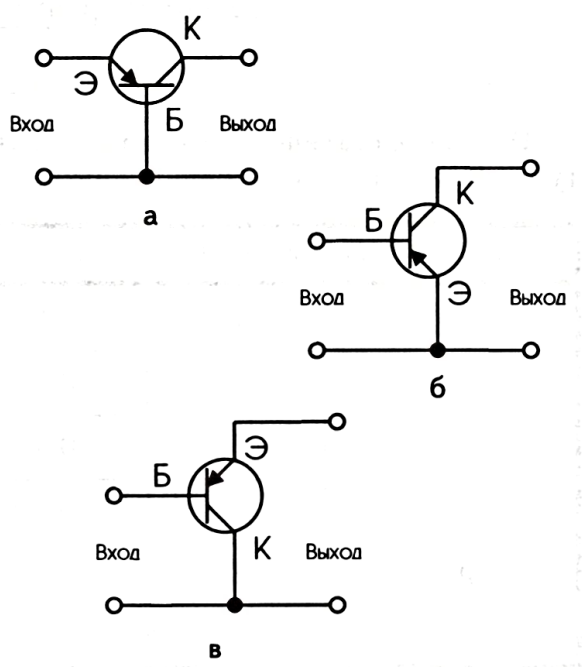


Рис. 1

Приближенно статический коэффициент передачи тока можно измерить по формуле $h_{21Э} = \frac{I_К}{I_Б}$, если изменения базового тока $\Delta I_б$ вызывают почти пропорциональные изменения коллекторного тока $\Delta I_к$.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Как маркируются транзисторы?
2. Какими параметрами характеризуются транзисторы?
3. Какими способами можно включать транзисторы в электрическую цепь?
4. Как определяется статический коэффициент передачи тока? Каков его физический смысл?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Измерьте статический коэффициент передачи тока транзистора *p-n-p*-структуры. Результаты измерений и вычислений занесите в табл. 1.

Таблица 1

Тип транзистора	№ опыта	$I_б$, мА	$I_к$, мА	$h_{21Э}$	$h_{21Эср}$
p-n-p	1	0,1			
	2	0,2			
	3	0,3			
n-p-n	1	0,1			
	2	0,2			
	3	0,3			

1. Соберите электрическую схему по рис. 2.

В начале опыта движок резистора **R2** установите в нижнем по схеме положении, когда приборы показывают нулевые значения.

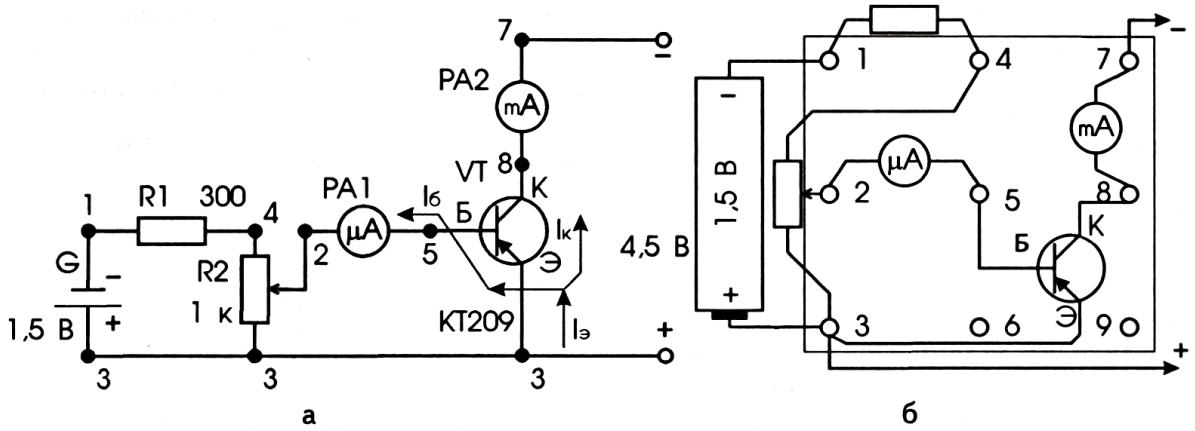


Рис. 2

2. Резистором **R2** устанавливайте силу тока базы $I_б$ поочередно равными 100 мкА (0,1 мА), 200 мкА, 300 мкА и фиксируйте соответствующие значения силы коллекторного тока $I_к$.

3. Вычислите статические коэффициенты передачи тока и определите их среднее значение.

Задание 2

Измерьте статический коэффициент передачи тока транзистора *n-p-n*-структуры. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.

1. Соберите электрическую схему по рис. 3, которая отличается от предыдущей полярностью включения источников питания и измерительных приборов.

2. Произведите измерения и вычисления согласно пунктам 2 и 3 задания 1.

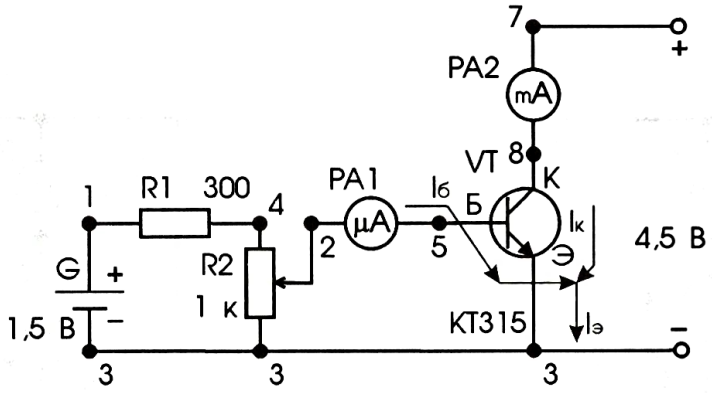


Рис. 3

Задание 3

Измерьте статический коэффициент передачи тока транзисторов по схеме питания от одного источника. Составьте таблицу и занесите в нее результаты измерений и вычислений.

1. Соберите схему по рис. 4, *а* и измерьте статический коэффициент передачи тока транзистора *p-n-p*-типа.

2. Соберите схему по рис. 4, *б* и измерьте статический коэффициент передачи тока транзистора *n-p-n*-типа.

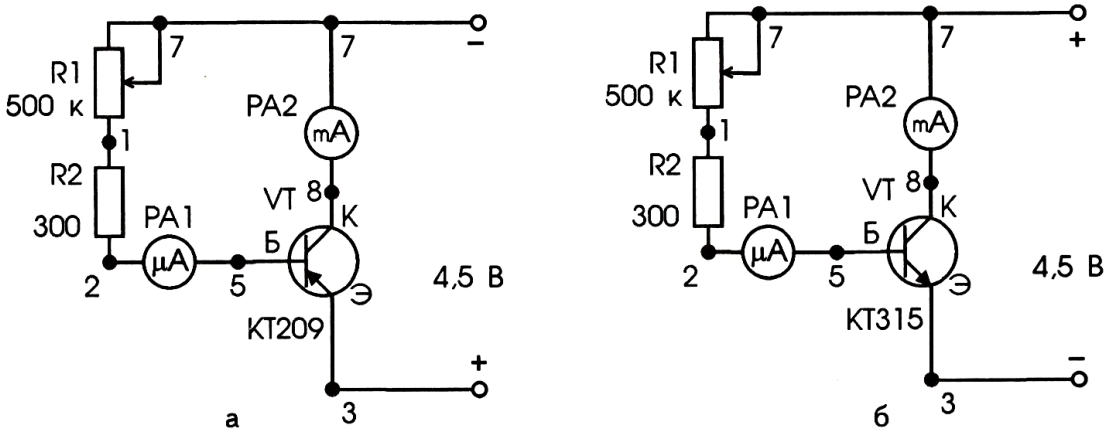


Рис. 4

Задание 4

Вычислите приблизительные значения статических коэффициентов передачи тока транзисторов обоих типов по упрощенным схемам, приведенным на рис. 5, *а* и *б*. Силу коллекторного тока измерьте миллиамперметром, а силу базового тока определите как отношение напряжения источника питания к сопротивлению базового резистора: $I_б = \frac{U_{пит}}{R_б}$.

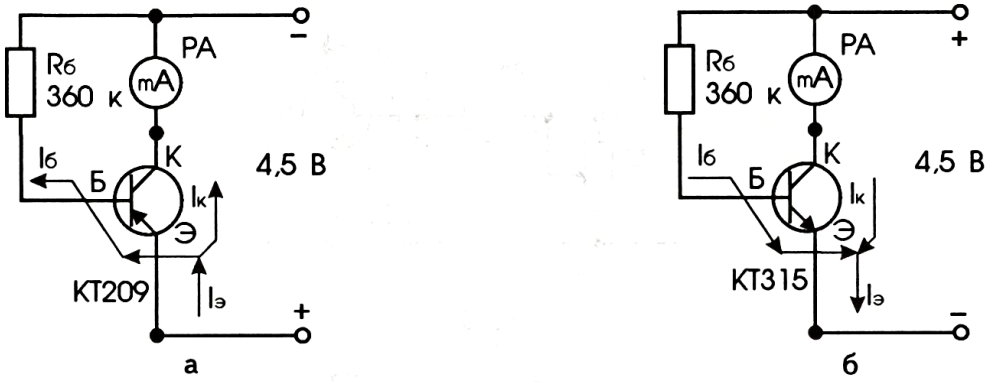


Рис. 5

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы особенности работы установок для определения статического коэффициента передачи тока, изображенных на рис. 2, *а* и 4, *а*?
2. В чем заключаются принципиальные отличия схем, по которым собираются установки для определения статического коэффициента передачи тока для транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n*?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №55

ПОСТРОЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА

Цель: исследовать зависимость силы тока коллектора от напряжения между коллектором и эмиттером при постоянной силе тока базы.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; транзистор p-n-p-типа (КТ209); переменный резистор 1 кОм — 2 шт.; резистор 300 Ом; микроамперметр на 500 мкА; миллиамперметр на 50 мА; вольтметр лабораторный; источники питания 1,5 В (элементы 316, 332 и др.) и 4,5 В (ИПФ или квадратная батарея); соединительные провода — 10 шт.

Краткая теория

Важные сведения о транзисторе можно получить из его семейства выходных характеристик (рис. 1), которые представляют собой вольт-амперные характеристики коллекторного p-n-перехода, на который питающее напряжение подано в обратной полярности. Они отражают зависимость коллекторного (выходного) тока от коллекторного напряжения при разных базовых (входных) токах $I_{б1}$, $I_{б2}$, $I_{б3}$, и т. д.

Схема установки для исследования зависимости силы тока $I_к$ коллектора от напряжения $U_к$ между коллектором и эмиттером при постоянных значениях сил базового тока $I_б$ изображена на рис. 2. Напряжение смещения на базе (сила базового тока) устанавливается переменным резистором **R2**. Напряжение на коллекторе, измеряемое вольтметром PV, регулируется переменным резистором **R3**.

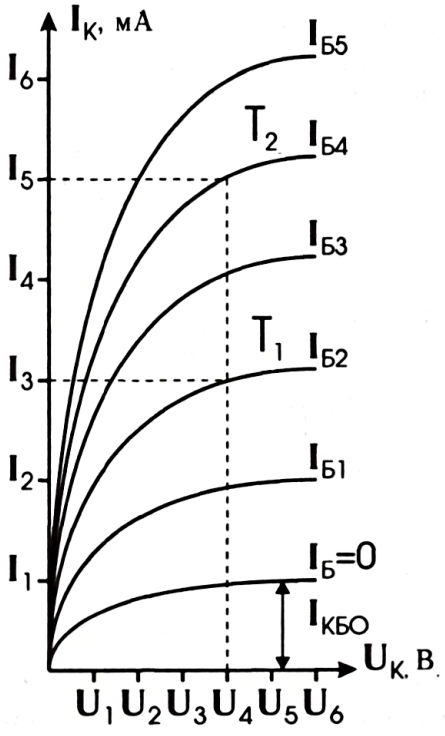


Рис. 1

Анализируя графики выходных характеристик, можно увидеть, что с увеличением напряжения на коллекторе $U_к$ коллекторный ток $I_к$ сначала быстро нарастает, а потом уже почти не меняется. Дело в том, что при некотором напряжении $U_к$ почти все заряды, которые диффундируют из базы в коллекторную область, участвуют в создании коллекторного тока. Теперь, чтобы увеличить коллекторный ток $I_к$, нужно увеличить количество носителей зарядов, т. е. увеличить базовый ток $I_б$, что достигается повышением прямого напряжения $U_б$ на эмиттерном переходе. С другой стороны, нужный коллекторный ток при неизменном напряжении на коллекторе может быть получен при определенном токе базы. Например, при коллекторном напряжении U_4 для получения коллекторного тока I_3 нужен базовый ток $I_{б2}$, а для получения коллекторного тока I_5 при том же коллекторном напряжении силу базового тока придется повысить до $I_{б4}$.

По выходным характеристикам транзистора можно определить статический коэффициент передачи тока для различных точек. Например, для точки T_1 он равен $h_{21Э} = \frac{I_3}{I_{Б2}}$, а для точки T_2 – $h_{21Э} = \frac{I_5}{I_{Б4}}$.

Из графика выходных характеристик транзистора, изображенного на рис. 1, видно, что при отсутствии тока в базовой цепи ($I_б$=0) в коллекторной цепи существует небольшой ток $I_{кбо}$. Это есть обратный ток коллектора, порождаемый неосновными носителями зарядов в зонах транзистора. При комнатной температуре для германиевых транзисторов он составляет 20–30 мкА, а для кремниевых – около 1 мкА. Опасность обратного тока $I_{кбо}$ для электронных конструкций заключается в том, что он, во-первых, не управляется, во-вторых, с повышением температуры на каждые 10 °С увеличивается в 2–2,5 раза.

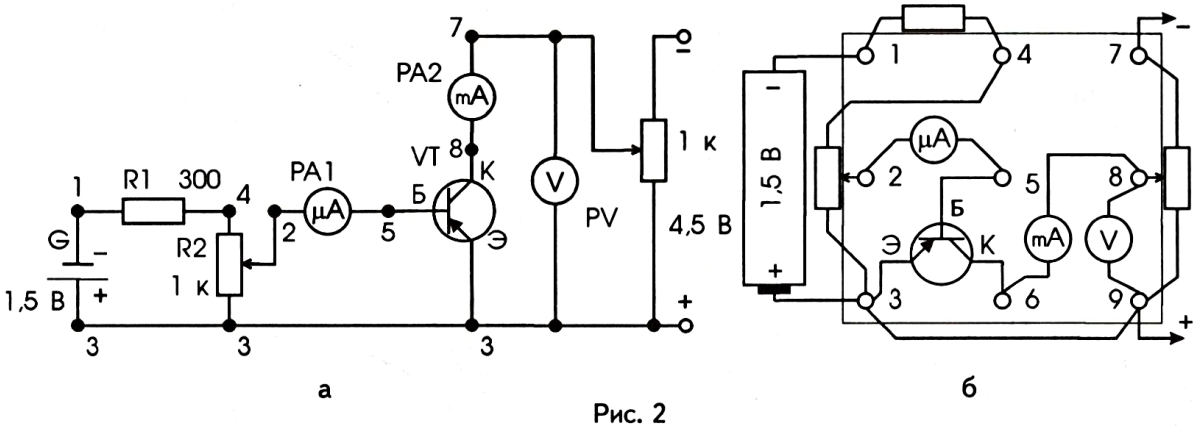


Рис. 2

Внимание! Во время опытов недопустимо превышение ни тока базы $I_б$, ни тока коллектора $I_к$, ни напряжения на коллекторе $U_к$ предельных значений, данных для данной серии транзисторов в справочниках. Например, превышение коллекторного напряжения больше предельного приводит к тепловому пробою переходов вследствие резкого увеличения коллекторного тока.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Каковы назначения деталей и приборов, используемых в установке, изображенной на рис. 2?
2. Какие сведения о транзисторе можно получить, анализируя графики выходных характеристик?
3. Как зависит сила тока коллектора $I_к$ от силы тока базы $I_б$?
4. Как по выходным характеристикам транзистора можно определить статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$?
5. Какова природа возникновения обратного тока коллектора $I_{кбо}$?
6. В чем заключается опасность влияния обратного тока коллектора $I_{кбо}$ на работу транзистора?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Постройте выходные характеристики транзистора *p-n-p*-типа и изучите их. Показания приборов занесите в табл. 1.

Таблица 1

U_k, В	0,2	0,4	0,6	1	2	3	4
$I_б$=0,1 мА $I_к$, мА							
$I_б$=0,2 мА $I_к$, мА							
$I_б$=0,3 мА Iк, мА							
Iб=0,4 мА $I_к$, мА							

1. Соберите электрическую схему по рис. 2. В начале опыта движки переменных резисторов **R2** и **R3** установите на нижние по рисунку положения, соответствующие нулевым значениям снимаемых напряжений.
2. Исследуйте зависимость силы тока в коллекторной цепи от напряжения между коллектором и эмиттером при постоянных значениях силы тока базы: 0,1 мА (100 мкА); 0,2 мА; 0,3 мА; 0,4 мА. Для этого, установив резистором **R2** оговоренные выше значения силы базового тока, резистором **R3** постепенно увеличивайте напряжение на коллекторе до 0,2 В, 0,4 В, 0,6 В, 1 В, 2 В, 3 В, 4 В и записывайте в табл. 1 соответствующие им значения силы коллекторного тока.
3. По полученным данным таблицы постройте коллекторные (выходные) характеристики транзистора, ожидаемый вид которых показан на рис. 1.
4. По выходным характеристикам определите статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$: а) для точки T_1 ($I_б$=0,2 мА, $U_к$=3 В), б) для точки T_2 ($I_б$=0,4 мА, $U_к$=3 В).

5. Анализируя графики выходных характеристик, ответьте на следующие вопросы:
а) как изменяется коллекторный ток при увеличении напряжения на коллекторе?
б) каким способом можно увеличить силу коллекторного тока?

Задание 2

Снимите выходные характеристики транзистора *n-p-n*-типа и изучите их, повторив действия, указанные в задании 1. Схему установки соберите по рис. 2, где измените полярность включения источников питания и измерительных приборов.

Задание 3

Измерьте силу обратного тока коллектора $I_{кбо}$.

1. Соберите установку по рис. 3 и измерьте силу обратного тока коллектора $I_{кбо}$ при комнатной температуре и обратном напряжении на коллекторном *p-n*-переходе около 4 В.

2. Убедитесь в увеличении силы обратного тока коллектора с ростом температуры, касаясь транзистора нагретым до 50–70°С предметом.

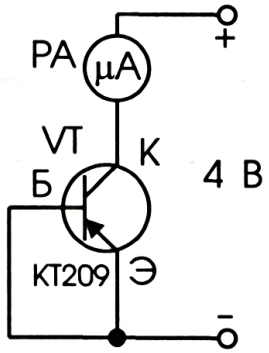


Рис. 3

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №56

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В АКТИВНОМ РЕЖИМЕ

Цель: исследовать работу транзистора в режиме усиления.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; капсюль от высокоомного головного телефона (например, ТОН-2) — 2 шт.; конденсатор емкостью в пределах 0,5—22 мкФ; переменный резистор 500 кОм, резистор 300 Ом; танзисторы p-n-p- и n-p-n-типов (КТ209 и КТ315); источник стабилизированного питания на 4—6 В (лучше всего подходят квадратные батареи; можно использовать лабораторные двухполупериодные выпрямители ИПФ, но для сглаживания пульсаций параллельно к его выходу нужно включить с учетом полярностей конденсатор емкостью в пределах 500 — 2000 мкФ); вольтметр лабораторный — 2 шт.; осциллограф лабораторный; звуковой генератор; соединительные провода — 6 шт.

Краткая теория

Простейший опыт, проведенный по схеме, изображенной на рис. 1, позволяет убедиться в усилительных свойствах транзистора. Здесь источником входного сигнала служит электромагнитный микрофон **ВМ**. При колебании мембраны под действием звуковых волн на входе усилителя (точки 1 и 6) возникает переменное напряжение звуковой частоты (рис. 2, *а*), которое, будучи приложенным между базой и эмиттером, влияет на сопротивление эмиттерного *p-n*-перехода.

Конденсатор С, расположенный во входной цепи усилителя между источником сигнала и базой транзистора, является препятствием для постоянного тока и оказывает емкостное сопротивление $X_c=1/(2\pi\nu C)$ переменному току. Без такого разделительного конденсатора база транзистора оказалась бы замкнутой с эмиттером по постоянному току через сопротивление катушки микрофона. Сопротивление конденсато-

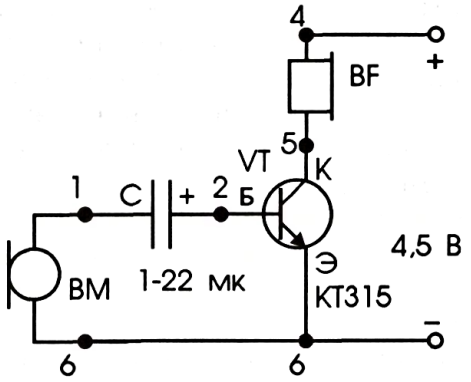


Рис. 1

ра при значениях емкости, указанных возле обозначения конденсатора, мало для токов звуковой частоты, и они беспрепятственно достигают базы.

Транзистор *n-p-n*-типа, на котором собран усилитель, открывается только положительными полупериодами входного сигнала. Во входной цепи возникает базовый ток $I_б$ (рис. 2, *б*), который вызывает аналогичные пульсации коллекторного тока $I_к$ и напряжение на нагрузке (телефоне **BF**) $U_н$ (рис. 2, *в*, *г*).

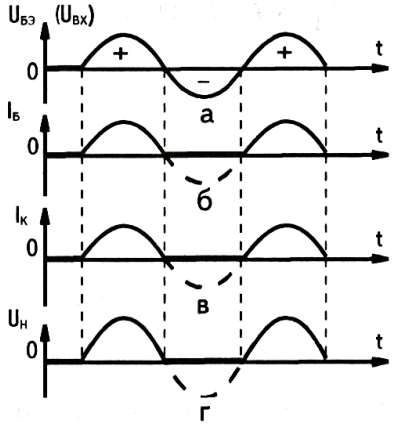


Рис. 2

Из рис. 2 видно, что транзистор усиливает только один полупериод сигнала и одновременно выпрямляет как диод. В результате на нагрузке (телефоне **BF**) выделяется сильно искаженный сигнал. В этом можно убедиться даже на слух, если говорить в микрофон и слушать в телефоне: речь сильно искажается.

Причину искажений, вносимых транзистором в форму входного сигнала, легко объяснить графически (рис. 3). К входной характеристике транзистора $I_б=f(U_{бэ})$ снизу пристыкован (наложен) график входного сигнала $U_{вх}=f(t)$; их совместное действие дает форму базового тока $I_б=f(t)$, который в свою очередь в коллекторной цепи синхронно усиливается транзистором в $h_{21э}$ раз. Видно, что причина искажений в виде пульсаций, вносимых транзистором, заключается в том, что входной сигнал проецирутся на нелинейную, сильно искривленную начальную часть прямой ветви вольтамперной характеристики эмиттерного *p-n*-перехода.

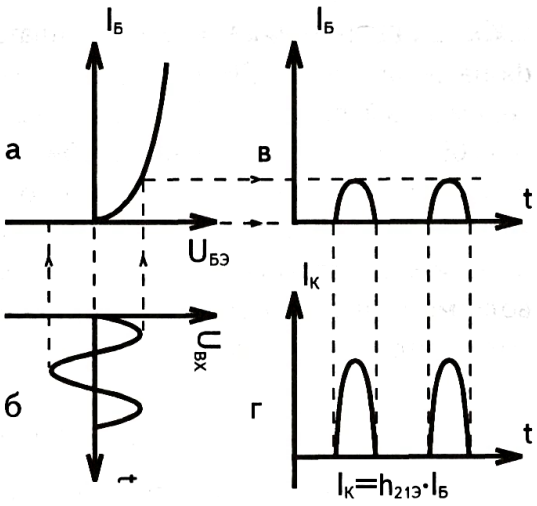


Рис. 3

Если сдвинуть график входного сигнала направо настолько, чтобы он проецировался на прямолинейную часть входной ВАХ (рис. 4), базовый ток, а вслед за ним и коллекторный ток в точности повторяют форму входного сигнала.

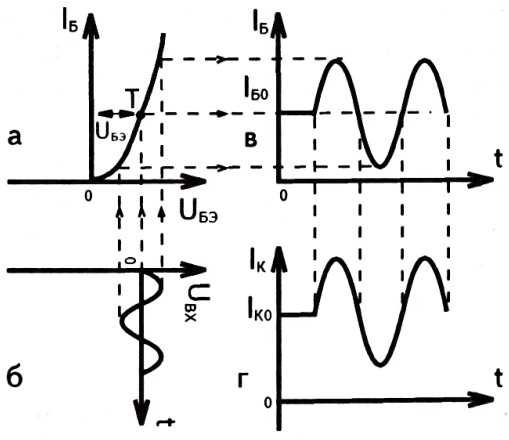


Рис. 4

Начальное напряжение, поданное на эмиттерный переход, называется **напряжением смещения**. Оно порождает начальный ток покоя базы $I_{бо}$ и в $h_{21э}$ раз усиленный начальный ток коллектора $I_{ко}$ (рис. 4, *а, в, г*).

Схематически напряжение смещения на базе обеспечивается разными способами. Один из них показан на рис. 5, где через цепочку резисторов **R1** и **R2** на

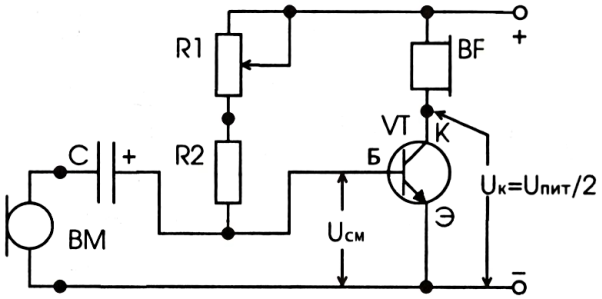


Рис. 5

базу подается небольшой положительный потенциал (для транзистора *p-n-p*-типа – отрицательный) относительно эмиттера. Переменный резистор **R1** позволяет регулировать напряжение смещения $U_{см}$, которое для германиевых транзисторов составляет 0,1–0,2 В, а для кремниевых – 0,5–0,6 В. Резистор **R2** защищает переход база-эмиттер от короткого замыкания с источником питания при нулевом значении сопротивления переменного резистора **R1**.

На рис. 6 приведены несколько графиков выходного сигнала, иллюстрирующих усиление транзистора в зависимости от напряжения смещения.

а – напряжение смещения на базу подано в обратной полярности, большая часть коллекторного тока отсекается.

б – напряжение смещения на базе отсутствует, отсекается половина сигнала.

в – напряжение смещения слишком мало, часть усиливаемого сигнала отсекается.

г – напряжение смещения слишком большое, оно излишне открывает транзистор; в коллекторной цепи течет большой ток покоя, неэкономно расходуя энергию источника питания.

д – напряжение смещения подобрано удачно, подаваемый на вход транзистора сигнал усиливается без искажения при малом коллекторном токе покоя.

Усилительный каскад считается настроенным, если напряжение на коллекторе составляет половину питающего напряжения: $U_К = \frac{U_{пит}}{2}$ (см. рис. 5). Этого добиваются подбором базового резистора **R1**.

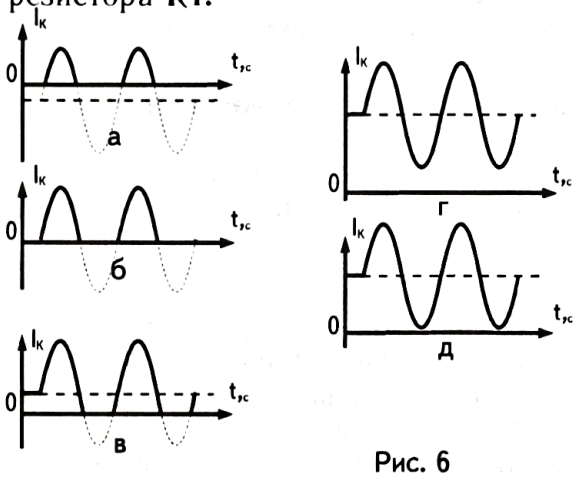


Рис. 6

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Какова роль конденсатора **C** в цепи базы (рис. 5)?
2. Какую роль играют резисторы **R1** и **R2** в цепи базы (рис. 5)?
3. Зачем между базой и эмиттером транзистора нужно создавать напряжение смещения $U_{см}$?
4. Как настраивают усилительный каскад?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Соберите и настройте усилительный каскад на одном транзисторе *n-p-n*-типа.

1. Соберите схему усилителя звуковой частоты (УЗЧ) по рис. 7. В качестве микрофона **BM** и телефона **BF** служат высокоомные капсюли от головного телефона ТОН-2.

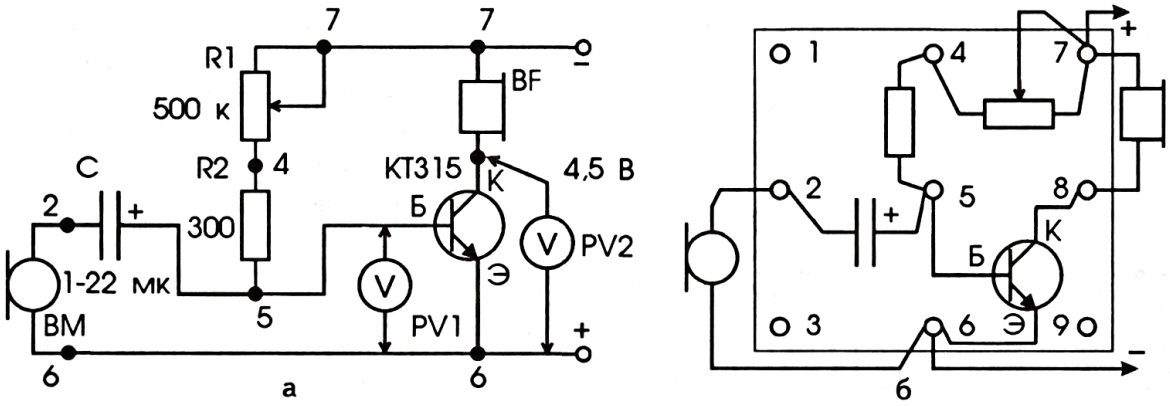


Рис. 7

2. Увеличивая и уменьшая сопротивление переменного резистора **R1** в цепи базы, следите за тем, как меняется напряжение смещения на базе (показание вольтметра **PV1**) и напряжение на коллекторе (показание вольтметра **PV2**).

3. Настройте усилительный каскад, добившись резистором **R1** того, чтобы напряжение между коллектором и эмиттером (показание вольтметра **PV2**) равнялось половине напряжения питания, даваемого источником тока: $U_К = \frac{U_{пит}}{2}$.

В дальнейшем не вращайте ручку резистора **R1.**

4. Говорите в микрофон **BM** и слушайте в телефоне **BF** усиленные звуки.

Задание 2

Исследуйте работу транзистора в качестве усилителя.

1. Подключите параллельно к нагрузке УЗЧ (телефону **BF**) вертикальный вход «Y» осциллографа и наблюдайте осциллограмму звуковых колебаний.

2. Включите вместо микрофона выход звукового генератора (ЗГ), настроенного на частоту 500–1000 Гц. Регулятором уровня ЗГ установите такую амплитуду сигнала, чтобы на экране осциллографа наблюдались неискаженные звуковые колебания.

3. Подключая щупы от входа осциллографа поочередно то к входу УЗЧ (точкам 2, 6), то к его выходу (точкам 7, 8), убедитесь в работе транзистора как усилителя.

4. Отключите цепочку резисторов **R1, R2** в цепи базы и наблюдайте осциллограмму сигналов, усиленных транзистором, работающим без напряжения смещения на эмиттерном переходе (рис. 8). Удостоверьтесь, что транзистор *n-p-n*-типа работает как выпрямитель, пропуская только положительные полуперио-

ды электрических колебаний и одновременно усиливая их. Отрицательные полупериоды отсекаются эмиттерным *p-n*-переходом, работающим без смещения.

5. Восстановите цепочку резисторов **R1, R2** на место и, убедившись в том, что УЗЧ настроен ($U_к = \frac{U_{пит}}{2}$), регулировкой уровня сигнала ЗГ получите неискаженную синусоиду на экране.

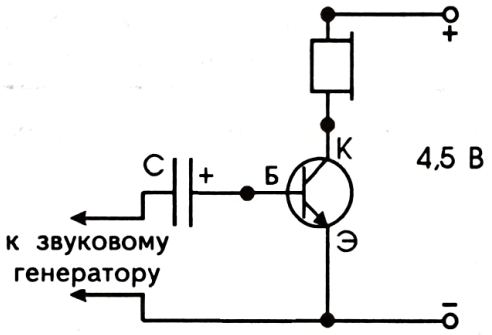


Рис. 8

Внимание! **Все изменения в конструкции схемы нужно производить при отключенном питании.**

Задание 3

Соберите и настройте усилительный каскад на *p-n-p*-транзисторе.

1. Начертите принципиальную схему УЗЧ на *p-n-p*-транзисторе. Она отличается от аналогичной схемы на рис. 7 тем, что изменены полярность включения источника питания и оксидных конденсаторов.

2. Соберите, настройте УЗЧ и проверьте его работу, выполняя действия, указанные в пунктах 1–4 задания 1.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается активный режим работы (режим усиления) транзистора от работы в импульсном режиме?

2. Как напряжение смещения на эмиттерном *p-n*-переходе влияет на режим работы транзистора?

3. Какую роль играют детали УЗЧ, приведенного на рис. 7?

4. Как настраивается однотранзисторый усилительный каскад?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №57

ИСПЫТАНИЕ ДИОДОВ, ТРАНЗИСТОРОВ И УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ ЦИФРОВЫМ МУЛЬТИМЕТРОМ

Цель: научиться использовать цифровой мультиметр для проверки диодов, транзисторов и усилительных каскадов.

Литература: _____

_____

Краткая теория

Описание цифрового мультиметра серии М83 изучите по материалу краткой теории лабораторной работы № 27 «Изучение цифрового мультиметра М83»

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Проверка исправности диодов

Внимание! **В режиме проверки диодов напряжение между щупами составляет около 3 В с полярностью «+» у гнезда** «VΩmA».

Детали: мультиметр М83, макетная плата, диод кремниевый (КД 209), диод германиевый (Д9).

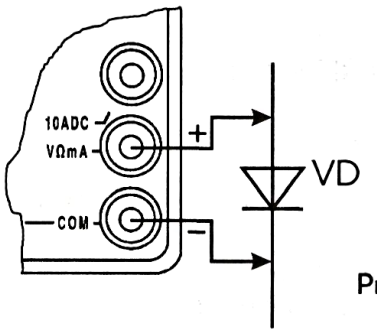


Рис. 1

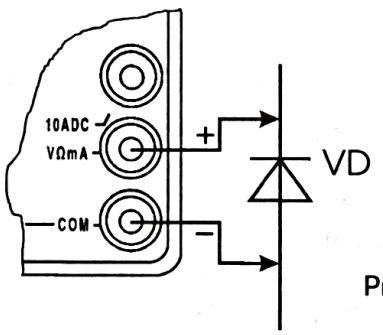


Рис. 2

Задание 1

Подготовьте мультиметр для проверки диодов.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 1).

2. Установите ручку переключателя функций в положение «⊣▶⊢».

Задание 2

Проверьте исправность диодов.

1. Коснитесь щупом красного провода, включенного в среднее гнездо «VΩmA», анода исправного диода, а другим щупом катода (рис. 1). Это будет прямое включение диода к щупам. При этом на дисплее высветиться падение напряжения на p-n-переходе диода, выраженное в милливольтах. Оно составляет около 500-700 мВ для кремниевых диодов и около 150–350 мВ для германиевых.

2. Смените полярность включения щупов к выводам исправного диода (рис. 2) и на экране появится знак перегрузки «1».

Примечание. **В диодах возможны следующие виды неисправности: p-n-переходы пробиты и имеют малое сопротивление или переходы сгорели (дисплей в обоих направлениях показывает символ «1»).**

Проверка исправности транзисторов

Внимание! **Транзистор p-n-p-структуры условно можно представить как два диода, включенные навстречу друг другу и соединенные катодами, которые можно рассматривать как базу (рис. 3, а, б). Эквивалент транзистора n-p-n-типа показан на рис. 4, а, б.**

Детали: мультиметр М83, макетная плата, транзистор p-n-p-типа (КТ 209), транзистор n-p-n-типа (КТ 315).

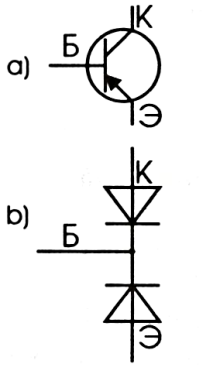


Рис. 3

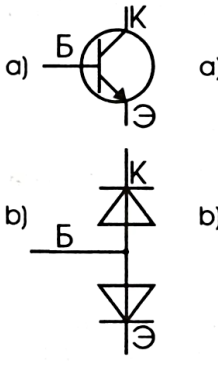


Рис. 4

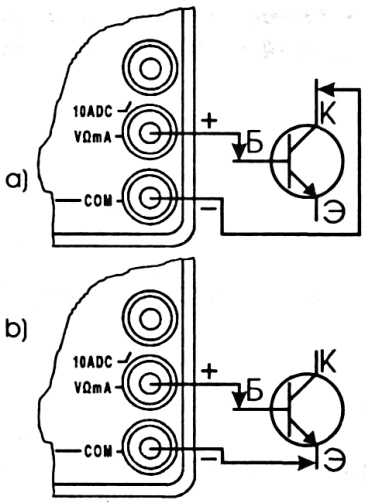


Рис. 5

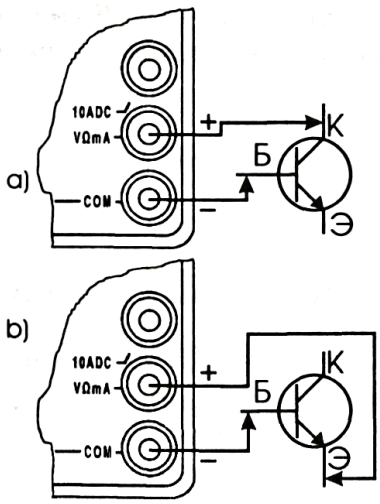


Рис. 6

Задание 1

Подготовьте мультиметр для проверки транзисторов.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо).

2. Установите ручку переключателя функций в положение « —▶|— ».

Задание 2

Проверьте исправность переходов транзистора n-p-n-типа.

1. Коснитесь щупом красного провода базы транзистора, а другим щупом поочередно коллектора и эмиттера (рис. 5, а, б). Это будет прямое включение переходов «база-коллектор» и «база-эмиттер». Если переход исправен, то на дисплее высветиться падение напряжения на нем, выраженное в милливольтах.

2. Смените полярность включения щупов к выводам «база-коллектор» и «база-эмиттер» (рис. 6, а, б). У исправных переходов на дисплее высветится символ «1».

Задание 3

Проверьте исправность переходов транзистора p-n-p-типа.

По примеру действий задания 2 проверьте исправность переходов транзистора p-n-p-типа.

Примечание. **В транзисторах, как и в диодах, возможны следующие виды неисправности: p-n-переходы пробиты и имеют малое сопротивление или переходы сгорели (дисплей в обоих направлениях показывает символ «1»).**

Измерение коэффициента усиления транзистора

Внимание! **Функцией измерения коэффициента усиления транзистора снабжены мультиметры марок M-830B, M-830C, M-830D, M-832, M-838.**

Детали: мультиметр М83, транзистор p-n-p-типа (КТ 209), транзистор n-p-n-типа (КТ 315).

Задание 1

Подготовьте мультиметр для измерения коэффициента усиления транзистора.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо).

2. Установите ручку переключателя функций в положение сектора «hFE».

3. Найдите на панели прибора связанные с сектором «hFE» гнезда «NPN и PNP» для включения выводов транзистора n-p-n-типа и p-n-p-типов. Они обозначены буквами «E» – эмиттер, «B» – база, «C» – коллектор,

Задание 2

Измерьте коэффициент усиления транзистора.

1. Возьмите транзистор p-n-p-типа и его выводы эмиттер, база, коллектор вставьте в соответствующие гнезда сектора «PNP». На дисплее прибора высветится число в диапазоне 0-1000, соответствующее коэффициенту усиления испытываемого транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером.

2. Повторяя действия предыдущего пункта, определите коэффициент усиления транзистора n-p-n-типа. Выводы транзистора эмиттер, база, коллектор включите в одноименные гнезда сектора «NPN».

Испытание усилительных каскадов

Внимание!

1. Встроенный генератор импульсов содержат мультиметры марок М-830D, М-832, М-833, М-835, М-837. Частота сигнала может быть 50 Гц или 1000 Гц.

2. В целях защиты прибора по постоянному току к исследуемым цепям его необходимо включать через разделительный конденсатор.

Детали: мультиметр М83, макетная плата, транзистор n-p-n-типа КТ315, резистор 360 кОм, конденсатор 1 (10) мкФ, телефонный капсюль ТОН-2, источник постоянного напряжения 4-6 В (например, «квадратная батарея»), соединительные провода – 2 шт.

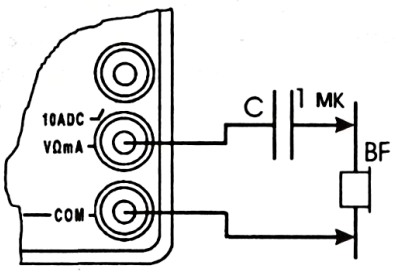


Рис. 7

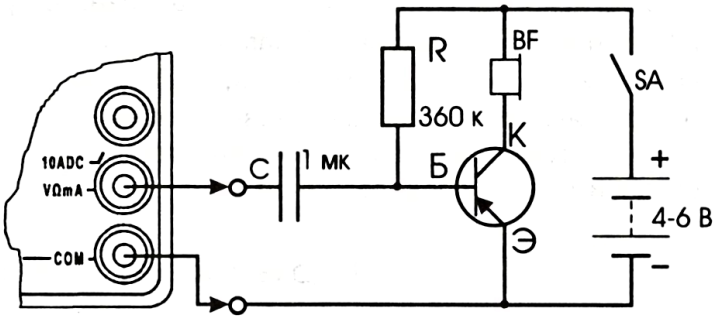


Рис. 8

Задание 1

Подготовьте мультиметр для испытания усилительных каскадов.

1. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. 7, 8).

2. Установите ручку переключателя функций в положение сектора генератора импульсов «⎍».

Задание 2

Исследуйте электрические цепи сигналом генератора импульсов.

1. Соберите цепь по рис. 7, где сигнал генератора импульсов через разделительный конденсатор С подается на телефонный капсюль BF. При этом в капсюле слышен звуковой сигнал определенной частоты.

2. Соберите усилительный каскад на транзисторе VT (рис. 8). На его вход (p-n-переход «база-эмиттер») подайте сигнал генератора мультиметра и на выходе (в телефоне BF) услышите усиленные звуки, соответствующие частоте генератора. Это свидетельствует об усилительных свойствах каскада.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №58

СБОРКА И ИСПЫТАНИЕ ПЕРЕГОВОРНОГО УСТРОЙСТВА

Цель: собрать и испытать в работе переговорное устройство, собранное на базе двух однокаскадных усилителей звуковой частоты.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата; транзисторы p-n-p- и n-p-n-типов, например, КТ209 и КТ315; телефонный капсюль ТОН-2 — 2 шт.; резистор 360 к; конденсатор емкостью в пределах 0,5—22 мкФ; источник постоянного тока 4—6 В (квадратная батарея или ИПФ; при использовании ИПФ для сглаживания пульсаций параллельно выходу нужно включить конденсатор емкостью в пределах 500—2000 мкФ; соединительные провода — 4 шт.

Краткая теория

Схема однотранзисторного (однокаскадного) усилителя звуковой частоты (УЗЧ) приведена на рис. 1. Переменный ток звуковой частоты, порождаемый микрофоном **BM**, проходит через конденсатор **C**, усиливается транзистором и поступает в телефон **BF**.

Резистором **R** обеспечивают необходимое положительное (для транзисторов *p-n-p*-типа отрицательное) напряжение смещения на базе транзистора для его работы в качестве усилителя.

Конденсатор **C** предотвращает замыкание базы транзистора с положительной шиной источника питания через катушку микрофона **BM**.

Для питания УЗЧ можно использовать батарею элементов или стабилизированный источник сетевого питания (выпрямитель).

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Объясните назначение всех деталей, применяемых в однотранзисторном УЗЧ (рис. 1).
2. Чем отличаются принципы работы транзисторов структур *p-n-p* и *n-p-n* друг от друга?
3. Перечертите схему УЗЧ на транзисторе *n-p-n*-типа для использования транзистора *p-n-p*-типа.
4. Объясните физический принцип работы микрофона и телефона.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Соберите и настройте усилитель звуковой частоты на одном транзисторе *n-p-n*-типа.

1. Соберите однотранзисторный УЗЧ (рис. 1).

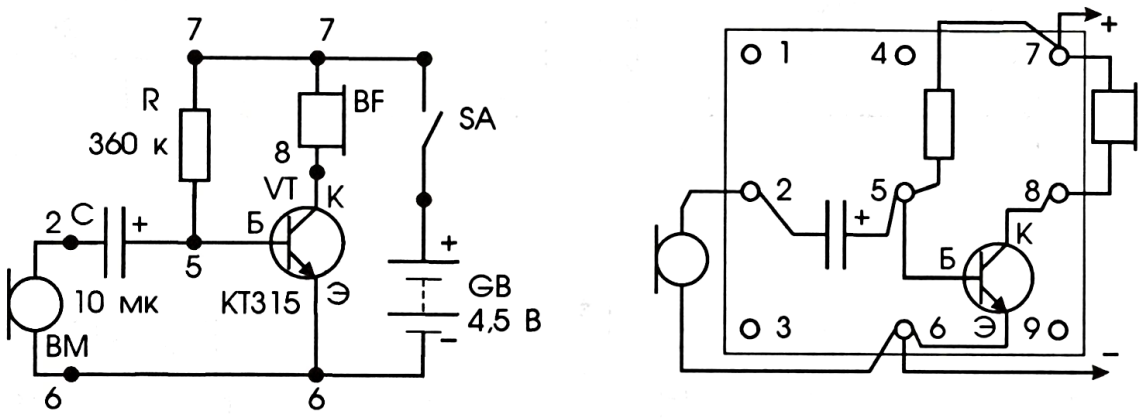


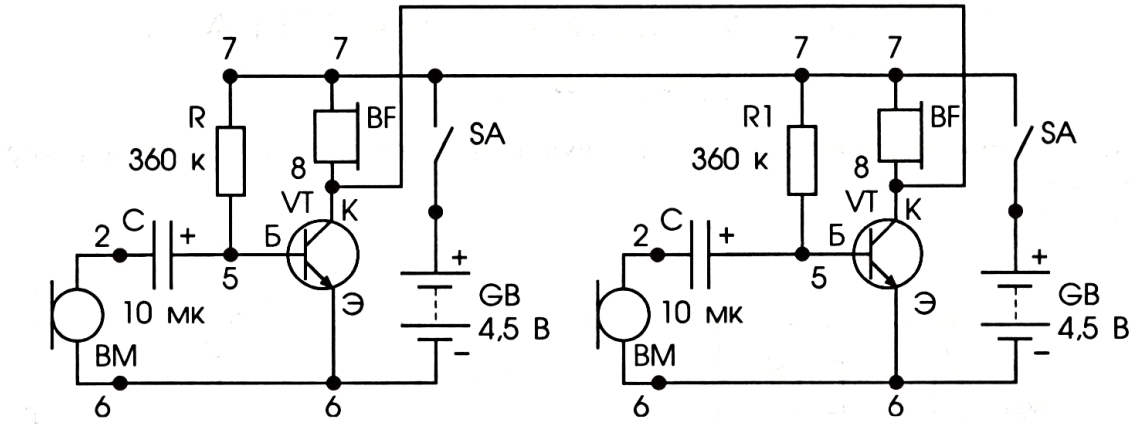
Рис. 1

2. Говорите в микрофон **ВМ** и слушайте усиленные звуковые сигналы в телефоне **BF**.

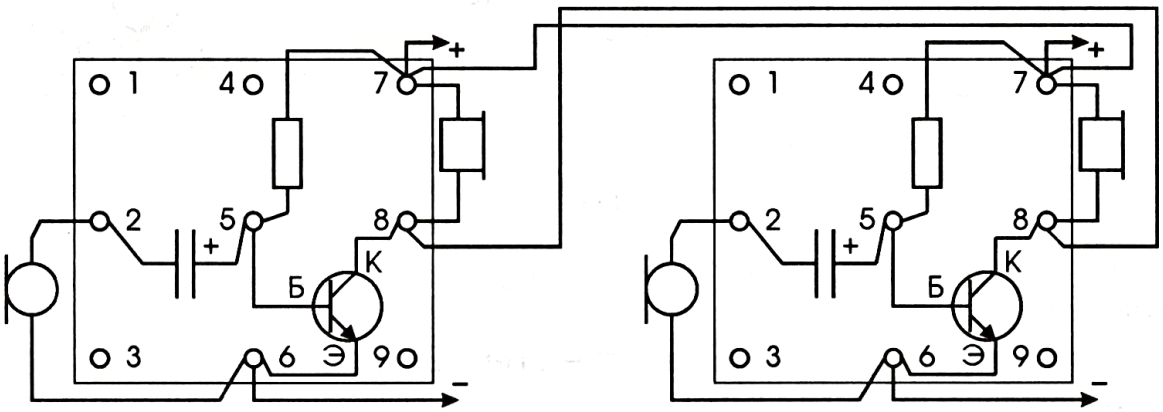
Задание 2

Соберите и испытайте в работе переговорное устройство.

Соедините Ваш УЗЧ с усилителем Ваших соседей по рабочему месту двухпроводной линией, как показано на рис. 2, и переговаривайтесь с ними в режиме телефона.



а



б

Рис. 2

Задание 3

Соберите и испытайте конструкцию УЗЧ (рис. 1), используя транзистор *p-n-p*-типа. При этом измените полярность включения источника питания и оксидных конденсаторов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №59

РАДИОПРИЕМНИК ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

Цель: ознакомиться с принципом работы радиоприемника прямого усиления.

Литература: _____

Оборудование: макетная плата на пружинах или самодельная для сборки схем посредством электрической пайки; электропаяльник с принадлежностями для пайки; магнитная антенна (ферритовый стержень, контурная катушка и катушка связи), настроенная на одну из радиостанций; набор конденсаторов 100 пФ, 200 пФ, 300 пФ, 470 пФ для настройки колебательного контура или конденсатор переменной емкости; моток провода ПЭВ-2 0,2 для намотки катушек антенны; комнатная антенна или медный провод диаметром около 1 мм и длиной 2—3 м; транзистор КТ 315 (Б, Г, Е) с коэффициентом передачи тока не менее 100—3 шт.; резистор 360 кОм — 3 шт.; резистор 2 кОм — 2 шт., резистор 10 кОм — 1 шт.; диод точечный из серии Д9 — 2 шт.; конденсатор полярный (оксидный, электролитический) емкостью 5—22 мкФ — 1 шт.; конденсатор постоянный 0,01—0,05 мкФ — 5 шт.; головной телефон ТОН-2М — капсюль или пара; источник стабилизированного питания 4,5—9 В.

Краткая теория

Детекторный радиоприемник

Простейший радиоприемник — детекторный — состоит всего из нескольких деталей. Его схема приведена на рис. 1. Он состоит из обязательной части любого радиоприемника — колебательного контура, составленного из катушки **L1** и конденсатора переменной емкости **C1**.

Каждая радиостанция работает на определенной частоте, называемой несущей. Радиоволны разных станций в антенном проводе возбуждают очень слабые токи тех частот, на которых они работают. Колебательный контур позволяет из всех электрических колебаний радиочастот выделить токи только той радиостанции, несущая частота которой совпадает с его собственной частотой. Подбирая частоту собствен-

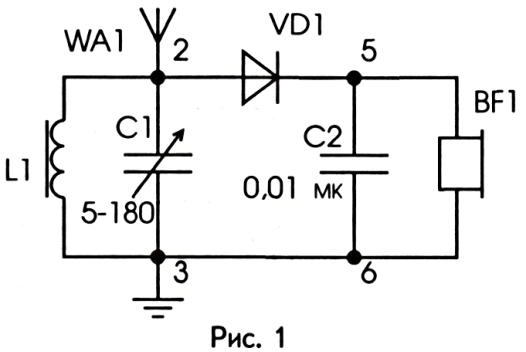


Рис. 1

ных колебаний контура изменением индуктивности катушки (двигая находящийся внутри ферритовый стержень или изменяя число витков) или емкость конденсатора (вращая подвижную часть – ротор), можно настроиться на радиочастоту нужной радиостанции.

Диод **VD1**, входящий в состав простейшего радиоприемника, выпрямляет (детектирует) модулированные колебания радиочастоты. Выпрямленный диодом ток состоит из импульсов радиочастоты, амплитуда которых изменяется в соответствии со звуковыми колебаниями. Благодаря блокировочному конденсатору **C2**, подключенному параллельно телефонному капсюлю, происходит разделение сигнала звуковой частоты от составляющей радиочастоты. Высокочастотные пульсирующие токи свободно проходят через конденсатор **C2**, а токи звуковой частоты, наоборот, идут через катушку капсюля **BF1** и преобразуются мембраной в звук.

Колебательный контур детекторного приемника непременно нужно с одной стороны подключить к антенному проводу длиной 10–15 м, протянутому по комнате, а с другой стороны необходимо надежно заземлить (если в помещении нет специальной точки заземления, то можно использовать батарею отопления или водопроводную трубу).

Настройку на радиостанцию производят медленным вращением ручки конденсатора переменной емкости или движением ферритового стержня внутри катушки. Нужно помнить о том, что детекторный радиоприемник работает только за счет энергии принимаемых радиоволн. Поэтому громкость звука очень мала и зависит от длины антенного провода и надежности заземления.

Радиоприемник с усилителем звуковой частоты

Радиоприемник, схема которого приведена на рис. 2, отличается от простейшего радиоприемника наличием однотранзисторного усилителя звуковой частоты, расположенного после детекторного каскада.

Принятые антенной и выделенные колебательным контуром модулированные колебания радиочастоты детектируются диодом **VD1.** Их высокочастотные пульсации сглаживаются блокировочным конденсатором **C2**. На резисторе **R1**, служащем нагрузкой детектора, колебания звуковой частоты создают напряжение, которое через оксидный (электролитический) конденсатор **C3** поступает на базу транзистора **VT1**. На нем собран однокаскадный усилитель звуковой частоты. В телефонном капсюле, включенном в коллекторную цепь транзистора, слышны довольно громкие сигналы передающей станции.

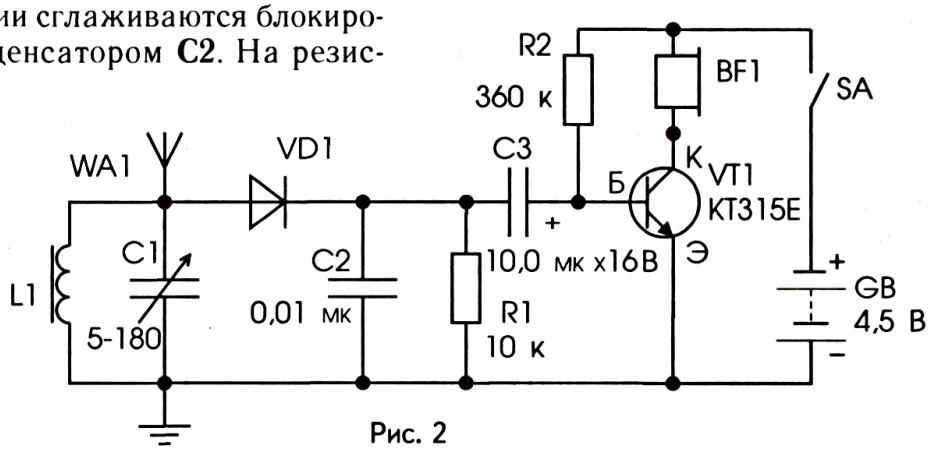


Рис. 2

Радиоприемник с усилителем радиочастоты

Можно поступить по-другому: сначала усилить, радиочастотные колебания, а после этого их детектировать. Схема такого радиоприемника показана на рис. 3. Этот радиоприемник отличается несколькими особенностями.

Антенна, применяемая в транзисторных радиоприемниках, носит название магнитной. Простейшая магнитная антенна состоит из двух катушек **L1** и **L2**, внутри которых расположен ферритовый стержень. Катушка **L1** вместе с конденсатором переменной емкости **C1** образует колебательный контур. Катушка **L2**, содержащая не более 10–20 витков, носит название катушки связи. Часть энергии радиоволн, выделяемой колебательным контуром, эта катушка через разделительный конденсатор **C2** передает для усиления.

Вторая особенность этого радиоприемника – наличие усилителя радиочастоты, собранного на транзисторе **VT1**. Он усиливает модулированные высокочастотные колебания, состоящие из несущей и звуковой составляющей.

Третья особенность конструкции – наличие детекторного каскада, состоящего из двух диодов **VD1**, **VD2**. При таком их включении на нагрузочном капсюле **BF1** создается почти вдвое большее напряжение звуковой частоты, чем на нагрузке однодиодного детектора (см. лабораторные работы № 40 и №41). Токи звуковой частоты, фильтрованные конденсатором **C4** от высокочастотной составляющей, оставшейся после детектирования, в телефонном капсюле преобразуются в звуки.

В радиоприемнике конденсатор **C2** разделяет вход усилителя радиочастоты (УРЧ) от катушки связи по постоянному току, конденсатор **C3** разделяет выход УРЧ (коллектор транзистора) с детекторным каскадом по постоянному току. Конденсатор **C4** фильтрует выделенный детекторным каскадом сигнал звуковой частоты на телефонном капсюле **BF1**, т. е. «очищает» его от пульсаций радиочастоты.

При настройке радиоприемника надо помнить о том, что магнитная антенна обладает направленным приемом. Она лучше всего улавливает радиосигналы тогда, когда расположена в горизонтальном положении и ось стержня направлена перпендикулярно к направлению на радиостанцию. В этом можно убедиться, поворачивая лежащее на столе антенное устройство и слушая в телефоне сигналы радиостанции.

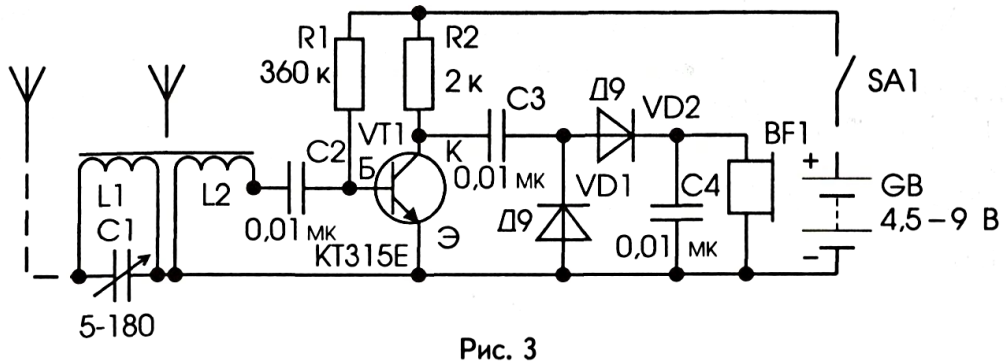


Рис. 3

Радиоприемник прямого усиления с усилителями радиочастоты и звуковой частоты

В радиоприемнике прямого усиления происходит только одно преобразование модулированных колебаний радиочастоты – детектирование. Для нормальной работы детектора выделенный колебательным контуром модулированный радиосигнал усиливается до детектирования (усилитель РЧ). После детектирования усиливаются колебания звуковой частоты (усилитель ЗЧ) для нормальной работы телефонного капсюля или динамической головки.

Радиоприемник прямого усиления, схема которого показана на рис. 4, содержит один каскад усиления радиочастоты на транзисторе **VT1**, детекторный каскад на диодах **VD1**, **VD2** и один каскад усиления звуковой частоты на транзисторе **VT2**. Например, детекторный приемник (рис. 1) содержит только детекторный каскад на диоде **VD1**. Этот радиоприемник обеспечивает уверенный прием радиосигналов без дополнительной антенны и заземления, но с ними он работает лучше.

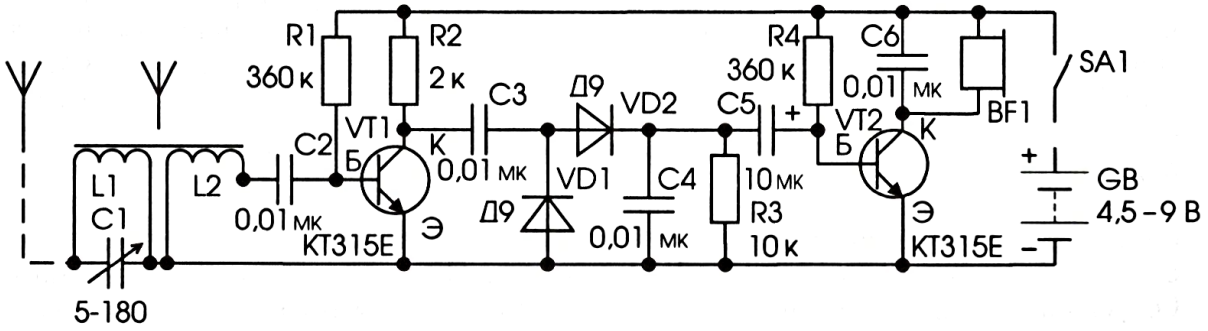


Рис. 4

Радиоприемник с двухкаскадным усилителем радиочастоты

На рис. 5 представлен радиоприемник, имеющий два каскада УРЧ на транзисторах **VT1**, **VT2** и детекторный каскад на диодах **VD1**, **VD2**. Здесь конденсатор **C3** разделяет каскады усиления по постоянному току.

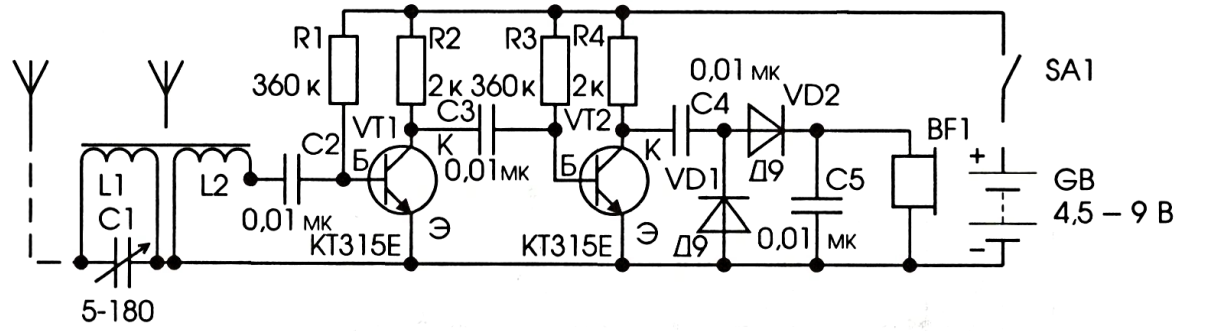


Рис. 5

Радиоприемник прямого усиления на трех транзисторах

Представленный на рис. 6 радиоприемник, имеющий два каскада усиления радиочастоты на транзисторах **VT1**, **VT2**, детекторный каскад на диодах **VD1**, **VD2** и усилитель звуковой частоты на транзисторе **VT3**, объединяет достоинства всех предыдущих конструкций и надежно работает в различных регионах страны без дополнительной антенны и заземления (проверено автором).

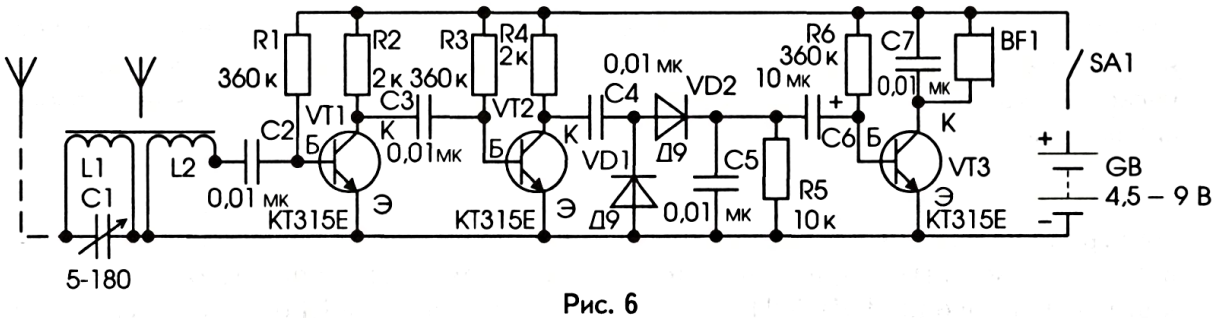


Рис. 6

К сведению

1. Вышеописанные радиоприемники прямого усиления рассчитаны для работы в диапазоне средних волн (200–600 м) и длинных волн (700–2000 м). Они способны принимать уверенно сигналы местных и мощных отдаленных радиостанций, расположенных в радиусе до 150–300 км.

2. Для работы радиоприемников, схемы которых приведены на рисунках 1–3, их колебательные контуры обязательно нужно подключить к наружной (уличной или комнатной) антенне и надежно заземлить.

Комнатная антенна представляет собой многожильный провод, свитый из тонких медных проводников, или медную проволоку толщиной 1,5–2 мм и длиной 10–15 м, которая протянута под потолком между стенами и изолирована от них (рис. 7, *а*).

В комнатах с малыми размерами можно использовать антенну, представляющую собой вышеуказанный провод, свитый в спираль и подвешенный на капроновой леске между стенами (рис. 7, *б*).

3. В качестве детектора можно взять любой точечный диод из серии Д2 или Д9 (плоскостные выпрямительные диоды, например, из серии Д226, КД209 и т.д., не подходят).

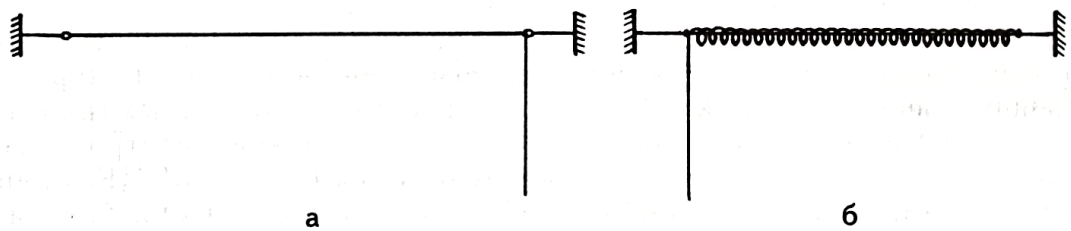


Рис. 7

4.Головные телефоны должны быть высокоомные, например ТОН-1, ТОН-2, сопротивлением обмоток около 3000 Ом.

5. Антенна, используемая в приемниках, называется магнитной (улавливает магнитную составляющую радиоволн). Для их изготовления используют цилиндрические (или плоские) ферритовые стержни диаметром 8–9 мм и длиной 1000–1600 мм марки 400НН и 600НН (низкочастотные никель-цинковые с магнитной проницаемостью 400 и 600).

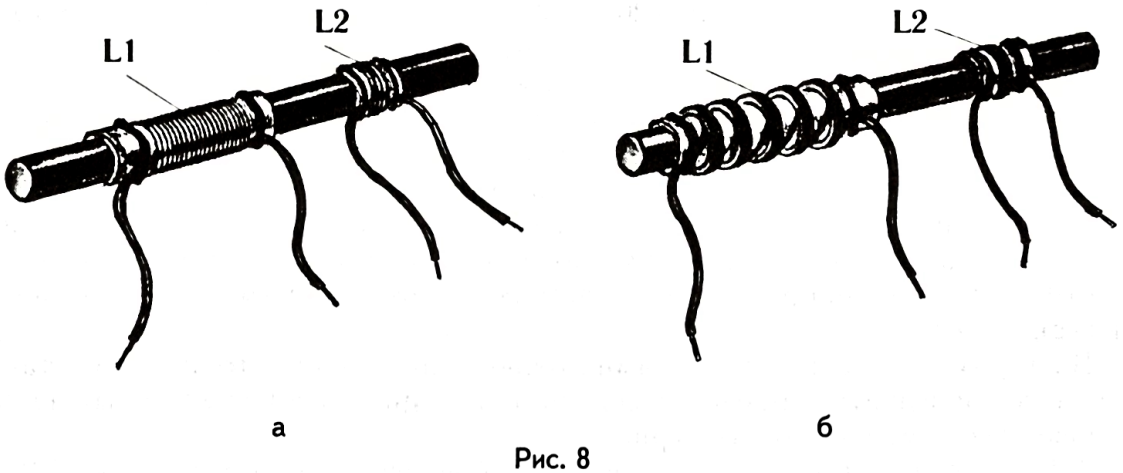
Внимание! Ферритовый стержень очень хрупок. Оберегайте его от ударов и механических нагрузок. Например, при ударе об пол он может расколоться на несколько частей. Если, к сожалению, это случилось, то куски можно склеить эпоксидным клеем.

Для средневолнового диапазона контурная катушка **L1** содержит 70–80 витков, уложенных в один слой виток к витку из провода ПЭВ-1, ПЭВ-2 диаметром 0,15–0,2 мм, а катушка связи **L2** имеет 5–6 витков того же провода (рис. 8, *а*). Контурную катушку длинноволнового диапазона **L1**, содержащую 250–350 витков, для уменьшения межвитковой емкости лучше всего намотать внавал (без соблюдения порядка укладки) пятью-шестью секциями, содержащими равное число витков. Катушка связи **L2** имеет 10–15 витков (рис.8, *б*).

Бумажные каркасы для намотки катушек изготавливаются из бумаги (смотрите лабораторную работу № 28). Каркасы должны с небольшим трением перемещаться по каркасу.

Если катушка **L1** будет иметь 160–180 витков, а наибольшая емкость конденсатора настройки **C1** составит 250–350 пФ, то приемник будет работать в конце средневолнового и в начале длинноволнового диапазонов (450–900 м).

Для настройки колебательного контура на частоту радиостанции можно использовать конденсатор переменной емкости от старых транзисторных приемников, подстроечные конденсаторы КПК-2 и КПК-3 или набор конденсаторов постоянной емкости 100–300 пФ.



а б

Рис. 8

Вопросы самоконтроля по теории

1. Для чего передаваемые радиосигналы надо модулировать?
2. Какие виды модуляции Вы знаете?
3. Какую роль играет колебательный контур в работе радиоприемника?
4. Что такое демодуляция (детектирование)?

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Примечание. **Трудоемкую работу по изготовлению макетной платы и магнитной антенны, которая настроена на одну из мощных радиостанций, работающих в Вашей местности, рекомендуем выполнить заранее и в дальнейшем пользоваться ими.**

Изготовление макетной платы

1. Радиоприемник можно макетировать на пружинных контактах без электрической пайки, как это Вы делали в предыдущих лабораторных работах. Для этого из трех 9-пружинных макетных плат нужно составить одну, расположив их рядом друг с другом. При этом нужно соединить оголенным проводом у всех трех плат пружины *1, 4, 7* верхнего ряда (положительная шина) и отдельно пружины *3, 6, 9* нижнего ряда (отрицательная шина). Теперь соединение деталей между собой производится посредством пружин *2, 5, 8* (всего 9) среднего ряда всех трех плат (рис. 9).

2. Для сборки конструкции приемника посредством электрической пайки способом навесного монтажа необходимо изготовить самодельную плату (рис. 10, *а*). Она состоит из жесткого диэлектрика – картона, фанеры, текстолита (мы делаем из ДВП). В пластине *1* делают отверстия *2*, в которые встав-

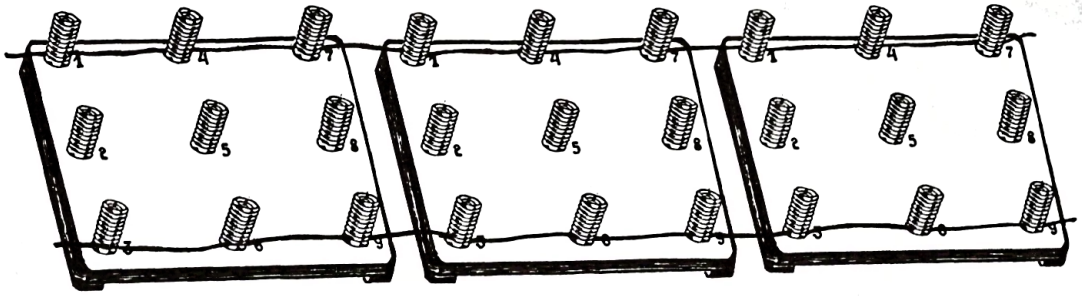


Рис. 9

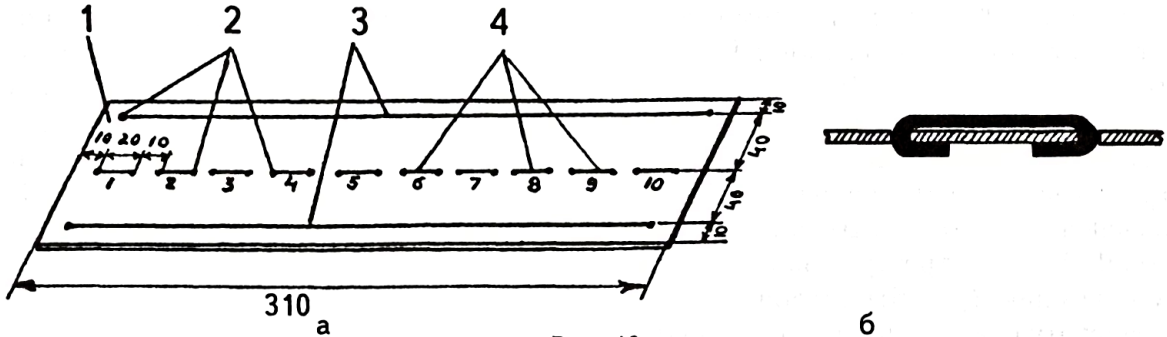


Рис. 10

ляют залуженные медные провода диаметром около 1 мм. Концы проводов длиной 10 мм на обратной стороне платы загибают навстречу друг другу (рис. 10, *б*). Длинные провода *3*, протянутые по краям платы, образуют шины для подключения питания, короткие провода *4* между ними — опорные площадки для соединения деталей между собой.

На рис. 11 приведен пример сборки части радиоприемника, схема которого приведена на рис. 6. Для облегчения процесса сборки на электрической схеме (рис. 4–6) точки соединения деталей между собой можно пронумеровать в соответствии номерам используемых опорных площадок макетной платы. Это помогает начинающим радиолюбителям собирать конструкции без ошибок.

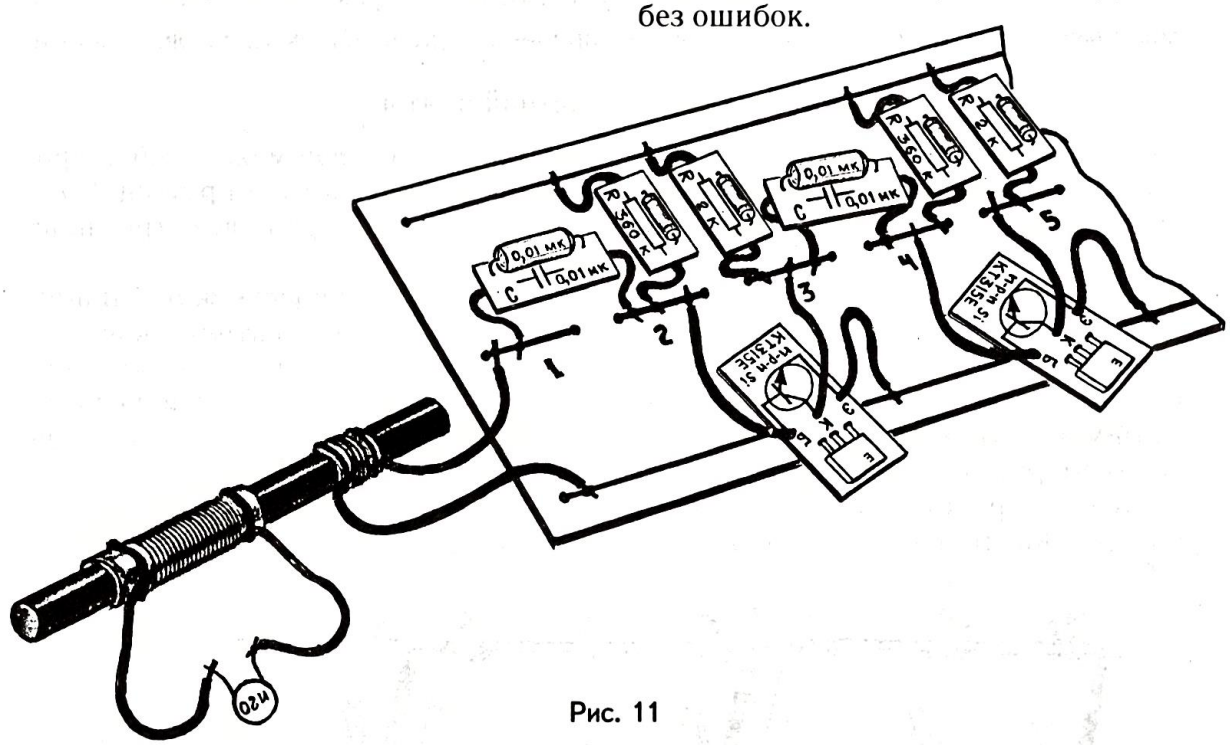


Рис. 11

Изготовление магнитной антенны

Рекомендуем пользоваться нашим опытом изготовления и настройки магнитной антенны. Мы на бумажном каркасе длиной 90 см наматываем виток к витку 300 витков катушки **L1**, делая отводы через каждые 30 витков, начиная с 70-го. В связи с тем, что конденсаторы переменной емкости стоят дорого, для настройки контура мы используем набор конденсаторов 100 пф, 200 пФ, 300 пФ и 470 пФ. На базе трехтранзисторного радиоприемника (рис. 6) настройку на радиочастоту станции производим подбором числа витков и соответствующих конденсаторов. Точную настройку на станцию осуществляем движением контурной катушки вдоль стержня и поворачивая горизонтально расположенную магнитную антенну. Например, в нашей местности наиболее громко и стабильно слышен сигнал радиостанции г. Казани при контурной катушке **L1**, состоящей из 180 витков, конденсаторе **C1** емкостью 200 пФ и катушке связи **L2** из 12-ти витков.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

1. Соберите на макетной плате схему радиоприемника прямого усиления на трех транзисторах (рис. 6, 11).

2. Перемещая колебательный контур вдоль ферритового стержня, настройте приемник на волну местной радиостанции. Произведите более точную настройку, ориентируя ферритовый стержень в горизонтальной плоскости.

3. Подключите к левому по схеме выводу катушки **L1** наружную антенну (показано пунктиром) в виде провода длиной 2–3 м и вновь настройте радиоприемник. Возможно, Вам удастся настроиться на более удаленную радиостанцию.

Убедитесь в том, что в этом случае ориентировать приемник в горизонтальной плоскости не нужно.

4. Соберите поочередно радиоприемники по схемам, приведенным на рис. 5 и 4 и проверьте их работоспособность.

Примечание. **Если Вы желаете иметь радиоприемник для постоянного пользования, рекомендуем настроить каждый каскад усиления по примеру, приведенному в лабораторной работе № 56 «Изучение работы транзистора в активном режиме».**

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Опишите принцип работы детекторного радиоприемника.

2. Каково назначение деталей радиоприемника, схема которого приведена на рис. 6?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №60

ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПАЙКИ

Цель: ознакомиться с физико-техническими основами электрической пайки; получить начальные электромонтажные навыки; изучить правила техники безопасности при работе с паяльником.

Литература: _____

Примечание. Навыки электромонтажа, приобретённые на этом занятии, будут полезны при выполнении текущих ремонтных работ по восстановлению сломанных деталей, используемых в лабораторных работах, учебного оборудования физического кабинета, домашних бытовых приборов.

Оборудование: электрический паяльник на подставке, припой, канифоль, макетная плата (её конструкция описана ниже), медные провода длиной 10 см и диаметром 0,2 – 0,5 мм – 5 – 7 шт., пинцет, нож или наждачная бумага.

Краткая теория

Электропаяльник. Элементы электрической цепи соединяют друг с другом различными зажимами или пайкой. Первый способ используют, в частности, в «конструкторах», состоящих из наборов деталей со специально изготовленными выводами. Например, этим способом мы пользовались в вышеописанных лабораторных работах. Он удобен тем, что позволяет быстро собирать электрические цепи, но не может быть долговечным и надёжным. На радиотехнических предприятиях, в ремонтных мастерских и в радиолюбительстве применяют для соединения элементов цепи пайку. Этот вид соединения более прочен и долговечен, но зато выполнить его сложнее. Он осуществляется при помощи инструмента, который называется электрическим паяльником (рис.1).

Паяльник состоит: из медного стержня 1, конец которого заточен в виде «лопатки» и называется «жалом»; электронагревателя 2, где ток, протекая по высокоомному проводнику, нагревает

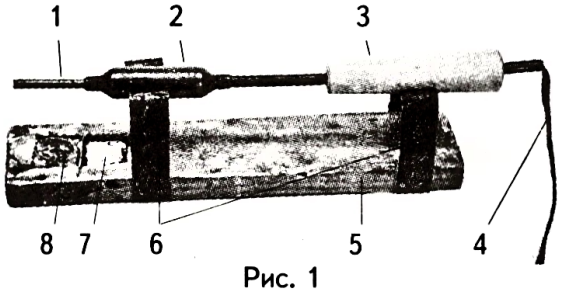


Рис. 1

медный стержень; ручки 3 из изолирующего материала; гибкого шнура 4, служащего для подключения электропаяльника к источнику тока. Паяльник располагается на металлических опорах 6, установленных обычно на деревянной подставке 5 с углублениями 7 для припоя и 8 для канифоли (припой и канифоль можно разместить вместе).

Припой — это сплав цветных металлов, предназначенный для пайки. Для электромонтажных работ широко применяют оловянно-свинцовые припои ПОС-40 (40 % олова; температура плавления 235°С и ПОС-61 (61 % олова; температура плавления 190°С). Пайка только припоем невозможна, так как нагретая металлическая поверхность быстро окисляется при взаимодействии с кислородом воздуха и припой её не смачивает.

Флюс — это вещество, защищающее спаиваемые поверхноси от окисления. Флюсы при нагревании образуют жидкую или газообразную защитную среду, растворяют и удаляют оксиды с соединяемых (спаиваемых) поверхностей, предохраняют их от окисления в процессе пайки, улучшая смачиваемость припоев. Бескислотные флюсы изготавливают из сосновой канифоли, применяемой в виде кусков, порошка или 30 %-ного раствора в спирте.

Подготовка паяльника к работе. В условиях школы паяльные работы производятся электрическим паяльником мощностью 40 — 75 Вт, рассчитанным на безопасное напряжение 42 В.

Чтобы произвести пайку, вначале нужно приготовить паяльник: подключить его к источнику питания и нагреть; затем зачищенным жалом коснуться сначала канифоли, потом припоя, который должен ровным слоем покрыть конец жала (это называется облужением).

Если жало паяльника новое или покрыто нагаром, то его следует обточить напильником и облудить.

Технология пайки. Для прочного соединения спаиваемых деталей необходимо, чтобы жидкий припой их хорошо смачивал в месте пайки и, застыв, образовал прочное соединение металлов. Для этого рекомендуются следующие операции:

— тщательно очистить спаиваемые поверхности от грязи, изоляции, окислов напильником, мелкой наждачной бумагой или ножом (рис. 2);

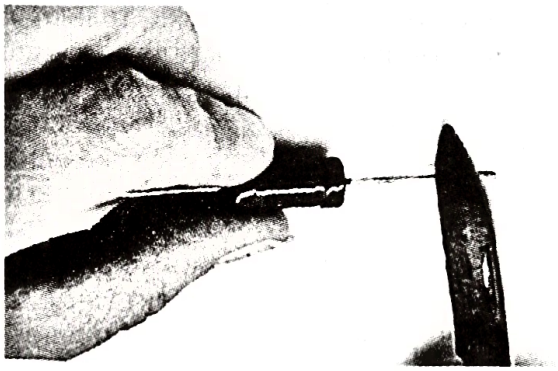


Рис. 2

— подогнать спаиваемые поверхности друг к другу;

— облудить спаиваемые поверхности; для этого жало нагретого паяльника опускают поочерёдно в канифоль (флюс) и припой; затем им совершают возвратно-поступательное движение по облуживаемой поверхности (рис. 3).

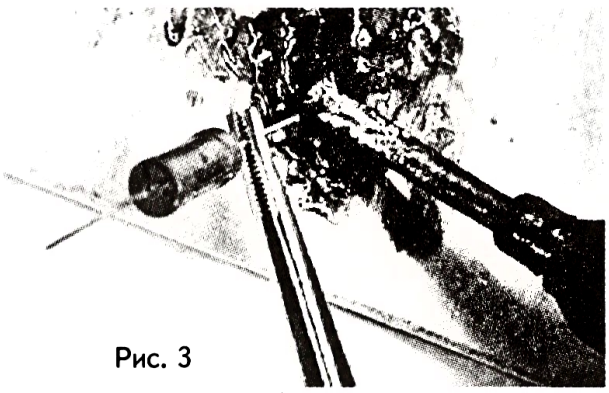


Рис. 3

Правила техники безопасности. При работе с паяльником надо строго соблюдать Запомните:

1. Паяльник берут только за ручку, являющуюся одновременно электрическим и тепловым изолятором.

2. При включении и выключении паяльника вилку берут только за изолированную часть.

3. Во время работы нельзя совершать паяльником резких движений, так как горячий жидкий припой и флюс могут легко слететь с жала и попасть на одежду или в глаза.

4. Детали припаиваются и отпаиваются осторожно, плавно, без рывков.

5. Паяльник берут в руки только на период пайки, и после выполнения нужных действий сразу же кладут на специальную изолированную подставку с металлическими опорами.

6. После окончания работы паяльник выключают.

7. Так как припой и флюс токсичны, электромонтажные работы с использованием паяльника производят в хорошо проветриваемом помещении. После окончания работы рабочее место и руки тщательно моют теплой водой с мылом.

8. Если электромонтажные работы с пайкой производятся в домашних условиях, то к ним нельзя допускать малолетних детей, так как горячий паяльник, припой и флюс могут стать причиной серьезных травм.

Вопросы для самоконтроля по теории

1. Из каких частей состоит паяльник?

2. Каков порядок действий при пайке?

3. Какие правила техники безопасности нужно соблюдать при работе с электропаяльником?

4. Какова роль флюса при пайке?

5. От чего зависит качество пайки?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Задание 1

Изготовьте макетную плату для осуществления электромонтажных работ.

Её конструкция показана на рис. 4, а. Она состоит из жесткого диэлектрика – картона, фанеры, текстолита и т. д. В пластине 1 делают отверстия 2, в которые вставляют залуженные медные провода диаметром около 1 мм. Концы проводов длиной до 10 мм на обратной стороне пластины загибают навстречу друг другу (рис. 4, б). Длинные провода 3, протянутые по краям платы, образуют шины для подключения питания, короткие провода 4 между ними – опорные площадки (они пронумерованы). Необходимое Вам количество площадок определите самостоятельно.

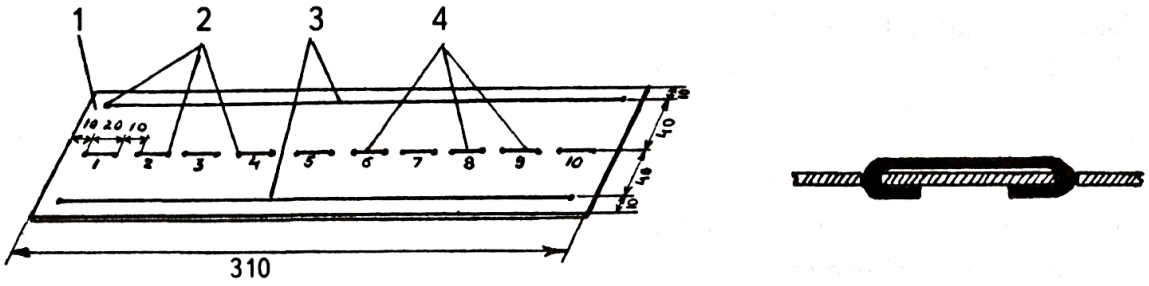


Рис. 4

Задание 2

Припаяйте медные провода к макетной плате .

1. Включите электрический паяльник в сеть наряжением 36 – 42 В.
2. Пока паяльник нагревается, с помощью ножа снимите изоляции с концов монтажных проводов по длине примерно 1 – 1,5 см и зачистите их ножом или наждачной бумагой.
3. Коснитесь нагретым жалом паяльника поочерёдно канифоли, припоя и, соблюдая условия качественной пайки, облудите концы данных Вам проводников, т. е. покройте их тонким слоем припоя.
4. Припаивайте проводники к шинам и опорным площадкам платы и отпаивайте их.

Задание 3

Пронаблюдайте и сравните процессы плавления и отвердевания кристаллического тела – припоя и аморфного – канифоли.

Сделайте вывод.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 5
От автора 6
Введение 7
ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ (№ 1)
Лабораторная работа № 1
Изучение явления электризации и взаимодействия заряженных тел 11
СИЛА ТОКА, НАПРЯЖЕНИЕ, СОПРОТИВЛЕНИЕ.
ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ (№№ 2–7)
Лабораторная работа № 2
Измерение силы тока в электрической цепи 14
Лабораторная работа № 3
Измерение напряжения в электрической цепи 19
Лабораторная работа № 4
Изучение роли сопротивления в электрической цепи 22
Лабораторная работа № 5
Знакомство с резисторами 25
Лабораторная работа № 6
Измерение сопротивления участка цепи при помощи амперметра и вольтметра 32
Лабораторная работа № 7
Изучение закона Ома для участка цепи 34
СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ (№№ 8–12)
Лабораторная работа № 8
Изучение последовательного соединения проводников 38
Лабораторная работа № 9
Расчет и измерение напряжения на участках цепи при их последовательном соединении 42
Лабораторная работа № 10
Изучение параллельного соединения проводников 46
Лабораторная работа № 11
Изучение смешанного соединения проводников 50
Лабораторная работа № 12
Изучение переменного резистора 53
ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОВОДНИКОВ (№№ 13–14)
Лабораторная работа № 13
Построение вольт-амперной характеристики резистора 57
Лабораторная работа № 14
Построение вольт-амперной характеристики лампы накаливания 61

ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА
ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ, МАТЕРИАЛА И ТЕМПЕРАТУРЫ (№№15–16)
Лабораторная работа №15
Исследование зависимости сопротивления металлического проводника от длины, площади поперечного сечения и материала 63
Лабораторная работа №16
Определение температуры нити накала лампы и построение графика зависимости ее сопротивления от температуры 67
РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА (№17)
Лабораторная работа №17
Определение работы и мощности электрического тока 70
ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА.
ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ (№№18–20)
Лабораторная работа №18
Изготовление и испытание химического источника тока 74
Лабораторная работа №19
Изучение химического действия электрического тока 78
Лабораторная работа №20
Определение электродвижущей силы и внутреннего сопротивления источника тока 82
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ: АМПЕРМЕТР, ВОЛЬТМЕТР, ОММЕТР,
АВОМЕТР, МУЛЬТИМЕТР (№№ 21–27)
Лабораторная работа №21
Определение сопротивления амперметра 86
Лабораторная работа №22
Расширение предела измерения амперметра 89
Лабораторная работа №23
Измерение сопротивления вольтметра 92
Лабораторная работа №24
Расширение предела измерения вольтметра 95
Лабораторная работа №25
Сборка и испытание модели омметра 98
Лабораторная работа №26
Изучение авометра 101
Лабораторная работа №27
Изучение цифрового мультиметра М83 108
ИНДУКТИВНОСТЬ. КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ (№№ 28–30)
Лабораторная работа №28
Изготовление катушки индуктивности и изучение ее магнитных свойств 118
Лабораторная работа №29
Наблюдение тока самоиндукции 121
Лабораторная работа №30
Изучение электромагнитного реле 125

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОР (№№ 31–33)
Лабораторная работа №31
Знакомство с конденсаторами 129
Лабораторная работа №32
Определение электроемкости конденсатора 137
Лабораторная работа №33
Определение заряда, емкости и энергии конденсатора 140
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД (№№ 34–35)
Лабораторная работа №34
Изучение односторонней проводимости диода 143
Лабораторная работа №35
Снятие вольт-амперной характеристики диода 147
ЛАБОРАТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК.
ОСЦИЛЛОГРАФ. МИКРОФОН, ТЕЛЕФОН (№№ 36–39)
Лабораторная работа №36
Знакомство с лабораторным источником питания – ИПФ
и его усовершенствование 152
Лабораторная работа №37
Знакомство с осциллографом и определение параметров переменного тока
по его осциллограмме 155
Лабораторная работа №38
Изучение устройства и принципа работы электромагнитных
телефона и микрофона 161
Лабораторная работа №39
Сравнение амплитудного и действующего значений
переменного напряжения 165
СПОСОБЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (№№ 40–42)
Лабораторная работа №40
Однополупериодное выпрямление переменного тока 168
Лабораторная работа №41
Двухполупериодное выпрямление переменного тока двумя диодами 172
Лабораторная работа №42
Двухполупериодное выпрямление переменного тока четырьмя диодами 175
ИНДУКТИВНОЕ, ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ.
ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.
ЯВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (№№ 43–51)
Лабораторная работа №43
Определение индуктивного сопротивления катушки 178
Лабораторная работа №44
Исследование зависимости индуктивного сопротивления
от частоты тока 181

Лабораторная работа №45
Определение индуктивности катушки 183
Лабораторная работа №46
Определение емкостного сопротивления конденсатора 185
Лабораторная работа №47
Определение емкости конденсатора по его сопротивлению переменному току 188
Лабораторная работа №48
Изучение закона Ома для цепи переменного тока 191
Лабораторная работа №49
Изучение резонанса в последовательном колебательном контуре 195
Лабораторная работа №50
Изучение резонанса в параллельном колебательном контуре 200
Лабораторная работа №51
Изучение роли активного, индуктивного и емкостного сопротивлений в цепи переменного тока 204
ТРАНЗИСТОР (№№ 52–56)
Лабораторная работа №52
Знакомство с транзисторами и проверка исправности их переходов 207
Лабораторная работа №53
Изучение работы транзистора в импульсном режиме 213
Лабораторная работа №54
Определение статического коэффициента передачи тока транзистора 218
Лабораторная работа №55
Построение и изучение выходных характеристик транзистора 223
Лабораторная работа №56
Изучение работы транзистора в активном режиме 227
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО МУЛЬТИМЕТРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ (№ 57)
Лабораторная работа №57
Испытание диодов, транзисторов и усилительных каскадов цифровым мультиметром 232
УСИЛИТЕЛЬ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ. РАДИОПРИЕМНИК ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ (№№ 58–59)
Лабораторная работа №58
Сборка и испытание переговорного устройства 236
Лабораторная работа №59
Радиоприемник прямого усиления 239
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПАЙКА (№ 60)
Лабораторная работа №60
Изучение основ электропайки 248

Литература

Головин П. П. Практическая электродинамика. Ульяновск: Областное газетное издательство, 1994.

Головин П. П. Лабораторные работы и практикум по электродинамике. Ульяновск: Рекламно-издательский центр «Реклама», 1995.

Головин П. П. Школьный физико-технический кружок. М.: Просвещение, 1991.

Дик Ю. И. и др. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики. М.: Просвещение, 1993.

Головин П. П. Учимся радиоэлектронике. Ульяновск: Рекламно-издательский центр «Реклама», 1999.

Петр Петрович Головин

ФРОНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

Книга издана в авторской редакции

Издательство
«Корпорация технологий продвижения».
Лицензия ЛР №066539.
432012, Россия, г. Ульяновск, ул. Державина, 7а.
Тел./факс (8422) 66-53-63.

Ответственная за выпуск Винник О. К.
Редактор-корректор Знахарчук О. Н.
Художественный редактор Василькин Н. А.
Компьютерное обеспечение издания Долговой Т. Е.

Подписано в печать 04.10.2005
Формат 70x90 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,72.
Тираж 5000 экз. Заказ № 3761.

Отпечатано с готовых диапозитивов в типографии
ОГУП «Областная типография «Печатный двор».
432049, г. Ульяновск, ул. Пушкарева, 27.