

Головин Петр Петрович (старший, автор)
Головин Пётр Петрович (младший, ассистент)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ



**Методическое пособие по физике для практического
экспериментирования на уроках и внеклассных занятиях**

**Ульяновск
2021**

УДК 53 (072.3)
ББК 74.262.22
Г 61

Печатается по решению редакционно-издательского совета ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»

Рецензенты:

Белышев Андрей Юрьевич, двукратный финалист конкурса «Учитель года Москвы», учитель физики школы № 1080 г. Москвы, подготовивший 12 стобалльников ЕГЭ и 6 призеров Всероссийской олимпиады школьников, телеведущий.

Шишкарёв Виктор Вячеславович, заведующий кафедрой физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», кандидат технических наук, доцент, председатель методической комиссии Всероссийской олимпиады школьников по физике Ульяновской области.

Научный руководитель:

Замятнин Михаил Юрьевич, тьютор лаборатории по работе с одаренными детьми МФТИ, преподаватель физики АНОО «Физтех–лицей» им. П.Л. Капицы, почетный работник образования РФ.

Г 61 Экспериментальные задания по электродинамике: методическое пособие по разделу «Электродинамика» школьного курса физики / П.П. Головин, П.П. Головин. – Ульяновск: ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2021. – 189 с.

ISBN 978-5-907216-46-4

В книге представлены методика и технология проведения фронтальных, лабораторных, самостоятельных исследований с использованием комплекта «Экспериментальные задания по электродинамике».

Комплект предназначен для экспериментального изучения электродинамических явлений в общеобразовательных организациях, на внеклассных занятиях и в домашних условиях.

Предложенные авторами экспериментальные задания способствуют формированию практических учебных умений и функциональной грамотности в области школьного курса электродинамики.

Мы доступны и всегда на связи:

- канал в YouTube «Жизнь счастливого школьника» (плейлист «Физика» с фильмами научных экспериментов);
- www.golovin73.ru (описания УМК, книги для скачивания, программа авторских занятий);
- golovin_pp@mail.ru (оперативная связь по приобретению УМК, заказ онлайн уроков, приглашения на авторские занятия).



УДК 53 (072.3)
ББК 74.262.22

© П.П. Головин, П.П. Головин, 2021
© ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2021

ПРЕДИСЛОВИЯ

В настоящее время важной задачей педагогической науки является развитие функциональной грамотности учащихся в области практической электро- и радиотехники и электродинамики. Многолетний опыт работы Народного учителя СССР Головина Петра Петровича (старшего) послужил основой для написания нового учебного пособия для учащихся школ, включающего теоретические основы современной практической электроники, с детальным описанием необходимых законов физики доступным научным языком. При изложении материала приводятся простые и понятные из повседневного опыта аналогии процессов протекания электрического тока, работы различных электрических схем и приборов на их основе, детально объясняются процессы пайки и электромонтажа, разработки школьных научных проектов, решение простых и сложных физических задач. Следует также отметить, что ценный вклад в подготовку пособия внёс и Головин Петр Петрович (младший), который принимал активное участие в разработке и тестировании практических устройств, вносил корректировки в процесс освоения предлагаемого учебного материала, на своем опыте демонстрируя способы повышения интереса учащихся к изучению точных наук.

Материал учебного пособия изложен в соответствии с четкой логической структурой и может успешно быть освоен учащимися самостоятельно. Наряду с получением необходимых сведений о электрических свойствах различных веществ (металлов, полупроводников и диэлектриков), законов взаимодействия электрических зарядов, законов протекания электрического тока, в данном пособии поясняются физические принципы работы различных электрических приборов: резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов, трансформаторов и др. Учебный материал способствует развитию навыков использования современных электроизмерительных приборов вольтметров, амперметров, мультиметров и осциллографов.

Следует отметить, что представленный в пособии практический курс заданий и лабораторных работ может быть выполнен как с использованием стандартного школьного оборудования, так и с помощью специального учебного комплекта, разработанного авторами и производимого ими же.

Представленное авторами учебное методическое пособие рассчитано на детей различного школьного возраста, может быть также полезно студентам технических и педагогических направлений подготовки вузов, а также и начинающим учителям физики при изучении основ электродинамики и знакомству с основами работы современной электронной техники.

Следует отметить хороший научно-методический уровень разработки рассматриваемых вопросов, подбор и детальную проработку представленных материалов, достаточно хорошее качество их выполнения.

Несомненным достоинством работы является эффективное сочетание различных видов занятий учащихся от изучения теоретического материала до решения сложных экспериментальных олимпиадных задач по электродинамике с учётом степени усвоения учебного материала. В заключительной части работы представлены приложения, которые могут быть использованы учителем при проведении факультативных занятий со школьниками по основам работы современной электронной техники.

Считаю, что данное методическое пособие Головина П.П. (ст.), Головина П.П. (мл.) «Экспериментальные задания по электродинамике: методическое пособие по разделу «Электродинамика» школьного курса физики», соответствует всем необходимым требованиям и может быть успешно рекомендовано для работы с учащимися.

Шишкарёв Виктор Вячеславович, заведующий кафедрой физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», кандидат технических наук, доцент, председатель методической комиссии Всероссийской олимпиады школьников по физике Ульяновской области.

Электродинамика – третий по объему заданий раздел на ЕГЭ по физике. Опираясь на анализ результатов освоения программы и личный опыт, могу сказать, что данный раздел является едва ли не самым сложным в школьной программе по физике. Тому есть ряд объективных причин, например, избыток теории. В этой связи каждый практический материал по электродинамике приобретает особый вес и ценность для педагогов.

Разработанный учителем физики Головиным П.П. учебно-методический комплект «Экспериментальные задания по электродинамике», включающий в себя одноименную книгу, набор деталей, измерительные приборы и источник питания, предназначен для исследования электродинамических явлений, изучаемых в школьном курсе физики.

В начале каждой темы приводятся краткие теоретические сведения, которые подкрепляются результатами практической работы. Всего в книге представлено более 300 заданий.

Оригинальные методика и технология, предлагаемые автором, позволяют быстро и безошибочно макетировать условия заданий, освобождая учебное время занятия для экспериментального исследования явлений и обобщения полученных результатов.

В содержании пособия четко прослеживается последовательность выполнения дидактических принципов научного познания и обучения: наблюдение – гипотеза – эксперимент – вывод; более сложные задания предлагаются после простых; изучение неизвестных явлений базируется на пройденном ранее материале.

Доступность описания явлений, наглядность моделирования экспериментов, обеспеченная приложенными макетными схемами и фотографиями изучаемых конструкций, позволяют учащемуся самостоятельно проводить научные исследования.

Считаю, что комплект «Экспериментальные задания по электродинамике» имеет следующие достоинства:

- простота и быстрота проведения экспериментов;
- наглядность и вариативность изучаемых конструкций;
- универсальность применения в обучении независимо от учебной программы.

Уверен, что данный учебно-методический комплект успешно можно использовать как на уроке для проведения фронтальных кратковременных опытов и лабораторных работ, так и во внеклассных и внешкольных занятиях при выполнении проектов, а также для домашнего экспериментального изучения электродинамических явлений.

Фактический материал пособия дифференцирован по сложности. Его можно использовать как для привлечения к научным исследованиям учащихся начальных классов на уровне понимания, так и для школьников основного и среднего общего образования при подготовке к выполнению экспериментальных заданий олимпиад всех уровней, включая всероссийские.

Белышев Андрей Юрьевич, двукратный финалист конкурса «Учитель года Москвы», учитель физики школы № 1080 г. Москвы, подготовивший 12 стобалльников ЕГЭ и 6 призеров Всероссийской олимпиады школьников, телеведущий.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ

§ 1-1. При трении друг об друга многие вещества электризуются.	11
§ 1-2. В природе существует два рода электричества.	12
§ 1-3. Вокруг заряженных тел существует электрическое поле, а между заряженными телами действуют электрические силы.	13
§ 1-4. Кулон – единица измерения электрического заряда.	13
§ 1-5. Электрон – частица с наименьшим зарядом.	14
§ 1-6. Атом – мельчайшая частица вещества.	14
§ 1-7. Из атомов получаются ионы, а из ионов образуются молекулы.	15
§ 1-8. Отрицательные электроны удерживаются вокруг ядра атома за счет силы притяжения с положительным ядром.	15
§ 1-9. При электризации электроны с одного тела переходят на другое, заряжая их разноименно.	15
§ 1-10. Электрический потенциал – энергетическая характеристика электрического поля.	16
§ 1-11. Нулевой потенциал – это потенциал Земли.	17
§ 1-12. Электрическое напряжение – это разность потенциалов.	17
§ 1-13. Задача ОГЭ и ЕГЭ по электростатике.	18

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ТОКА. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

§ 2-1. Электрический ток – это направленное движение заряженных частиц.	20
§ 2-2. Электропроводность веществ зависит от наличия в них свободных зарядов.	21
§ 2-3. В источниках тока заряды разделяются на положительные и отрицательные.	23
§ 2-4. Химические источники тока самые простые, их можно сделать самому.	23
§ 2-5. Элемент Лекланше – очень распространенный химический источник тока.	26
§ 2-6. Прохождение тока в электролитах (растворах солей, кислот, щелочей) сопровождается химическими действиями.	27
§ 2-7. Электродвижущая сила – это способность источника напряжения создавать электрический ток.	29

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЗАКОНЫ ОМА

§ 3-1. Электрическая цепь – это путь движения электрических зарядов.	31
§ 3-2. Электрическое сопротивление – это характеристика противодействия проводника движению электрических зарядов.	32
§ 3-3. Амперметр – прибор для измерения силы тока, вольтметр – прибор для измерения напряжения.	33
§ 3-4. Цифровой мультиметр – универсальный прибор для измерения электротехнических величин.	35
§ 3-5. Сопротивление проводника зависит от рода материала и геометрических размеров.	38
§ 3-6. Закон Ома для участка цепи показывает зависимость между током, напряжением и сопротивлением.	39
§ 3-7. Закон Ома для полной цепи показывает зависимость силы тока от ЭДС источника и общего сопротивления.	40
§ 3-8. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока.	41
§ 3-9. Законы Кирхгофа позволяют рассчитать электрические параметры в сложных цепях.	44
§ 3-10. Задачи ОГЭ и ЕГЭ на законы Ома.	47

4. РЕЗИСТОРЫ

- § 4-1. Резисторы – это специальные приборы, оказывающие сопротивление электрическому току. 85
- § 4-2. Переменный резистор служит для плавного регулирования силы тока и напряжения. 58
- § 4-3. Переменный резистор может использоваться как делитель напряжения. 60

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЯ УЧАСТКОВ ЦЕПИ

- § 5-1. Последовательное соединение проводников – соединение, при котором конец предыдущего проводника соединяется с началом только одного последующего проводника. 61
- § 5-2. Расчет и измерение напряжения на участках цепи при их последовательном соединении. 62
- § 5-3. Параллельное соединение проводников – соединение, при котором все проводники подключаются между одной и той же парой точек, называемых узлами. 64
- § 5-4. Исследование параллельного соединения участков цепи. 66
- § 5-5. Последовательное соединение – делитель напряжения, параллельное соединение – делитель тока. 68
- § 5-6. Смешанное соединение проводников – это комбинация последовательного и параллельного соединений. 70
- § 5-7. Шунт – это обходной путь для электрического тока. 71
- § 5-8. Источники тока можно соединять последовательно, параллельно и смешанно. 73
- § 5-9. Вольт амперная характеристика – это зависимость силы тока от напряжения. 74
- § 5-10. Составление исследовательских творческих проектов по различным способам соединения проводников. 75
- § 5-11 Задачи ОГЭ и ЕГЭ на способы соединения участков цепи. 77

6. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

- § 6-1. Электрический ток, протекая по проводникам, совершает работу. 81
- § 6-2. Мощность электрического тока – это работа тока, выполненная за единицу времени. 81
- § 6-3. Коэффициент полезного действия (КПД) показывает долю полезной работы от полной. 86

7. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ: АМПЕРМЕТР, ВОЛЬТМЕТР, ОММЕТР, МУЛЬТИМЕТР, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ УИТСТОНА

- § 7-1. Еще раз об измерительных приборах: амперметре и вольтметре. 89
- § 7-2. Амперметр включается последовательно с участком цепи и измеряет силу тока. 89
- § 7-3. Вольтметр включается параллельно к участку цепи и измеряет напряжение. 91
- § 7-4. Омметр – прибор для измерения сопротивления. 94
- § 7-5. Цифровой мультиметр серии М83 – универсальный измерительный прибор. 95
- § 7-6. Измерительный мост Уитстона. 101
- § 7-7. Измерительный мост реохордный. 103
- § 7-8. Задачи ЕГЭ с использованием измерительных приборов. 104

8. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЁМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОРЫ

- § 8-1. Конденсатор – это накопитель электрического заряда. 108
- § 8-2. Электроёмкость характеризует способность конденсатора накапливать электрический заряд. 108

§ 8-3. Конденсаторы бывают постоянной емкости, переменные и подстроечные.	108
§ 8-4. Обозначение емкости конденсаторов на принципиальных схемах.	109
§ 8-5. Кодирование конденсаторов.	109
§ 8-6. Конденсатор – накопитель электрической энергии.	110
§ 8-7. Задачи ЕГЭ с использованием конденсатора.	113

9. ПОЛУПРОВОДНИКИ. Р-Н-ПЕРЕХОД. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

§ 9-1. Полупроводники по электрическим свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.	115
§ 9-2. Добавив в чистый полупроводник примеси, получают проводимости n- и p-типов.	115
§ 9-3. Полупроводники получили широкое применение.	116
§ 9-4. Диод – это полупроводниковый прибор, проводящий ток только в одном направлении.	116
§ 9-5. Почему p-n-переход обладает односторонней проводимостью?	116
§ 9-6. Вольтамперная характеристика диода – это зависимость силы тока в нем от напряжения.	119
§ 9-7. Задачи ЕГЭ с использованием шунтирующего и ограничительного действия диодов.	120

10. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 10-1. Постоянные магниты были известны издревле.	123
§ 10-2. Эрстед установил связь между электричеством и магнетизмом.	124
§ 10-3. Правило буравчика связывает направление тока в проводнике с направлением его магнитного поля.	125
§ 10-4. Сила Ампера – это сила, действующая на проводник с током в магнитном поле.	125
§ 10-5. Правило левой руки определяет направление действия силы Ампера.	126
§ 10-6. Катушка индуктивности – важный элемент радиотехнической цепи.	126
§ 10-7. Электромагнитная индукция – это порождение электрического тока в проводящем контуре переменным магнитным полем.	128
§ 10-8. Сила Ампера используется в шкальных измерительных приборах, громкоговорителях (динамиках), электродвигателях.	130
§ 10-9. Телефон – это прибор, преобразующий электрические колебания в звуковые.	131
§ 10-10. Микрофон – это прибор, преобразующий звуковые колебания в электрические.	132
§ 10-11. Самоиндукция – это явление возникновения индукционного тока (или ЭДС индукции) в проводнике при изменении тока в ней.	133
§ 10-12. Задачи ЕГЭ по теме «электромагнитные явления».	135

11. ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ТРАНСФОРМАТОР. ОСЦИЛЛОГРАФ. ЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР

§ 11-1. У переменного тока периодически изменяются сила и направление.	137
§ 11-2. Период, частота и амплитуда – основные характеристики переменного тока.	137
§ 11-3. Трансформатор, повышая напряжение, понижает силу тока и наоборот.	138
§ 11-4. Звуковой генератор вырабатывает переменный ток звуковой частоты.	139
§ 11-5. Осциллограф – это универсальный прибор, позволяющий видеть электрические колебания.	139
§ 11-6. Переменный ток выпрямляется диодом.	143

§ 11-7. Конденсатор сглаживает пульсации выпрямленного тока.	143
§ 11-8. Лабораторный источник питания – это двухполупериодный выпрямитель.	144

12. АКТИВНОЕ, ИНДУКТИВНОЕ, ЁМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

§ 12-1. Резистор (активное сопротивление) проводит постоянный и переменный токи.	148
§ 12-2. Индуктивное сопротивление катушки увеличивается с ростом частоты переменного тока.	149
§ 12-3. Ёмкостное сопротивление конденсатора уменьшается с ростом частоты переменного тока.	150
§ 12-4. Последовательный и параллельный колебательные контуры.	152
§ 12-5. Задачи ЕГЭ по темам «Переменный электрический ток», «Активное, индуктивное и ёмкостное сопротивления».	155

13. ТРАНЗИСТОР. ФОТОРЕЗИСТОР. ТЕРМОРЕЗИСТОР. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

§ 13-1. Знакомство с транзисторами и проверка исправности их переходов.	157
§ 13-2. Как маркируются транзисторы.	157
§ 13-3. Транзисторы разных структур отличаются полярностью питания.	158
§ 13-4. Проверка исправности переходов транзисторов.	158
§ 13-5. Эмиттерный переход – управляющий переход транзистора.	160
§ 13-6. Резистор в цепи базы управляет токами в транзисторе.	161
§ 13-7. Коэффициент усиления транзистора.	162
§ 13-8. Импульсный режим работы – это один из способов работы транзистора.	164
§ 13-9. Работа транзистора в режиме усиления.	165
§ 13-10 Фоторезистор – это резистор, сопротивление которого зависит от светового потока.	167
§ 13-11. Терморезистор – это резистор, сопротивление которого зависит от температуры.	168
§ 13-12. Реле времени обеспечивает задержку времени заданного алгоритма действий.	169

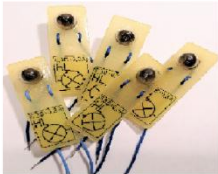
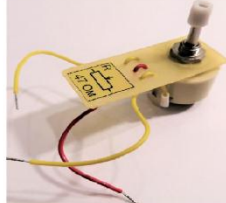
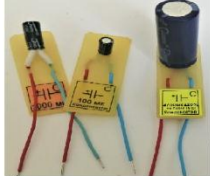
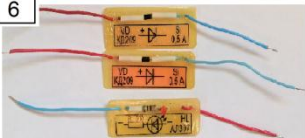
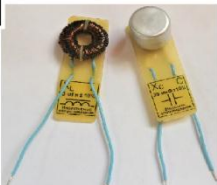
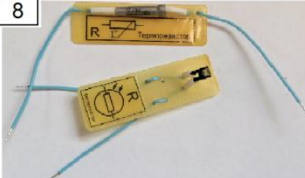
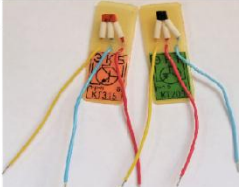
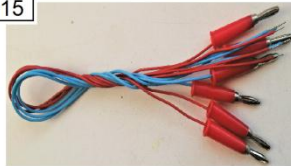
14. ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧАЩИХСЯ В ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

§ 14-1. Электропаяльник – главный инструмент для электромонтажных работ.	171
§ 14-2. Припой – это сплав цветных металлов, предназначенный для спаивания деталей.	172
§ 14-3. Флюс – это вещество, защищающее спаиваемые поверхности от окисления.	172
§ 14-4. Пайка – это способ соединения проводников посредством расплавленного припоя.	172
§ 14-5. Макетирование радиоэлектронных конструкций способом электрической пайки.	173
§ 14-6. От макетирования к печатному монтажу.	175
§ 14-7. Составление, изготовление и исследование «черных ящиков» как одно из направлений проектной деятельности.	176
§ 14-8. Возможные способы исследования содержимого «черных ящиков».	176
§ 14-9. Некоторые примеры «черных ящиков», предлагаемых для проектных исследований.	180
§ 14-10. Примеры электродинамических объектов, предлагаемых для проектной деятельности по конструированию.	183

ЛИТЕРАТУРА	183
-------------------	-----

КОНСТРУКЦИЯ И СОДЕРЖИМОЕ КОМПЛЕКТА «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ»

Детали комплекта

1  Лампы накаливания МН 6,3 В x 0,3 А 5 шт.	2  Резисторы: 10 Ом-2 шт., 20 Ом - 2 шт., 30 Ом - 2 шт., 0,05 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 300 кОм	3  Переменный резистор 47 Ом
4  Панель с фехралевым и нихромовым проводниками длиной 0,2 м + 0,2 м = 0,4 м	5  Электролитические конденсаторы 100 мкФ, 1000 мкФ, 4700 мкФ	
6  Диоды выпрямительные -2 шт., светодиод	7  Индуктивное сопротивление, ёмкостное сопротивление	8  Терморезистор, фоторезистор
9  Транзистор p-n-p-типа, транзистор n-p-n-типа	10  Медная и цинковая пластины	11  Угольные электроды - 2 шт.
12  Моток намоточного лакированного провода ПЭТВ-0,28	13  Мультиметры DT830B - 2 шт.	14  Один из типов магнита
15  Соединительные проводники 6 шт.	16  Плата для макетирования	17  Источник электропитания 4,5 В

Примеры макетирования исследуемых конструкций

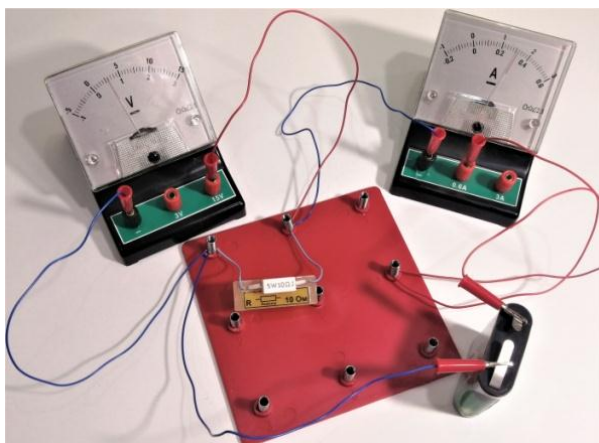


Фото 1

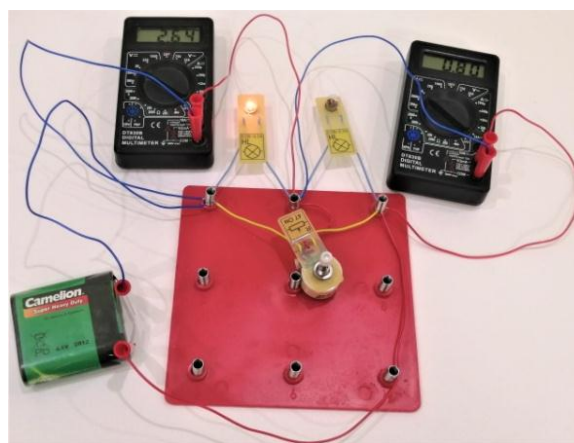


Фото 2

Фото 1 – эксперимент по изучению закона Ома для участка цепи.

Фото 2 – эксперимент по использованию переменного резистора как делителя напряжения (потенциометра).

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ

§ 1-1. ПРИ ТРЕНИИ ДРУГ ОБ ДРУГА МНОГИЕ ВЕЩЕСТВА ЭЛЕКТРИЗУЮТСЯ

Древние греки обратили внимание на то, что предметы, сделанные из янтаря, например, расчески, веретена, челноки и т.д., при натирании (например, мехом, шёлком, бумагой) приобретают свойство притягивать к себе мелкие предметы. Янтарь – это окаменевшая смола хвойных деревьев, служит хорошим изолятором в электротехнике. По-гречески «янтарь» – электрон. Свойство янтаря притягивать другие предметы называется электризацией.

Задание 1-1-1. Вспомните известные вам примеры электризации тел и повторите их.

1. Снимите синтетическую одежду через голову (рис. а) и слушайте потрескивание (в темноте можно увидеть искорки). Обратите внимание, что после снятия наэлектризованная одежда тянется к вам.

2. В домашних тапочках с синтетическими подошвами пройдитесь скользящими шагами по ковру. Теперь поднесите вашу руку (палец) к водопроводному крану, батарее отопления или открытому участку тела вашего товарища (рис. б). Что случилось?



а)



б)

3. Пластмассовой расческой расчешите сухие волосы и поднесите ее к мелким кускам бумаги, лежащим на столе и наблюдайте их взаимодействие с расческой.

4. Поднесите сухую электризованную расческу к тонкой струе воды, текущей из крана, и наблюдайте явление взаимодействия расчески и струи (фото 1).

5. Распушенный клоч ваты малых размеров электризуйте от расчески и стряхните с неё. Клок ваты будет витать на высоте 30-60 см над одноимённо заряженной расческой (фото 2).

6. Предварительно покрытый графитом (карандашом) теннисный шарик передвигайте заряженной расчёской по поверхности стола, не касаясь шарика (фото 3).

5. Прodelайте другие опыты по электризации тел натиранием и опишите их.



Фото 1



Фото 2



Фото 3

§ 1-2. В ПРИРОДЕ СУЩЕСТВУЕТ ДВА РОДА ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

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

Во времена зарождения электротехники знак "+" присвоили тем зарядам, которые появлялись на стекле при натирании его шёлком. Отрицательным, со знаком "-", назвали заряд сургуча, приобретаемого им после соприкосновения с шерстью.

В домашних условиях можно получить:

- отрицательный заряд на пластмассовой расческе при расчесывании волос;
- положительный заряд на стеклянной посуде (на стакане, например), натирая ее быстрыми движениями большим куском сухой бумаги (тетрадного листа, газеты).

Задание 1-2-1. Изучите взаимодействие одноименно и разноименно заряженных тел. Помните, что все тела, используемые в опытах, должны быть сухими (их лучше всего предварительно подсушить).

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

2. Гильзы подвесьте на шелковых (или капроновых) нитях длиной около 30 см, которые закрепите на изогнутых металлических проволоках, установленных в пробках на стеклянных бутылках или другим способом (рис. б).

3. Расположите гильзы близко друг от друга и коснитесь их:

- а) отрицательно заряженной расческой (фото 1);
- б) положительно заряженным стеклянным телом (рис. в).

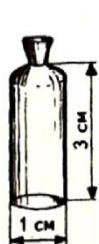
Обратите внимание на характер взаимодействия гильз и тел в каждом случае.

4. Зарядите:

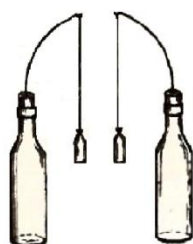
а) одну гильзу отрицательно от расчески и потом поднесите к ней положительно заряженное стеклянное тело. Наблюдайте взаимодействие;

б) вторую гильзу положительно от стеклянного тела и к ней поднесите отрицательно заряженную расческу. Наблюдайте взаимодействие.

5. Зарядите одну гильзу отрицательно, другую – положительно и поставьте их на некотором расстоянии друг от друга (рис. г). Наблюдайте взаимодействие.



а)



б)



Фото 1



в)



г)

6. По проделанным опытам ответьте, как взаимодействуют:

а) одноименно заряженные тела (положительные с положительными, отрицательные с отрицательными);

б) разноименно заряженные тела (положительные с отрицательными).

7. На основании проделанных выше исследований сделайте вывод о том, что:

а) одноименно заряженные тела отталкиваются;

б) разноименно заряженные тела притягиваются.

Задание 1-2-2.

1. Электризуйте различные неметаллические предметы и по их взаимодействию с отрицательно заряженной от расчески гильзой определите знаки их зарядов. Опишите ваши опыты.
2. Попробуйте зарядить металлические предметы. Заряжаются?

Задание 1-2-3.

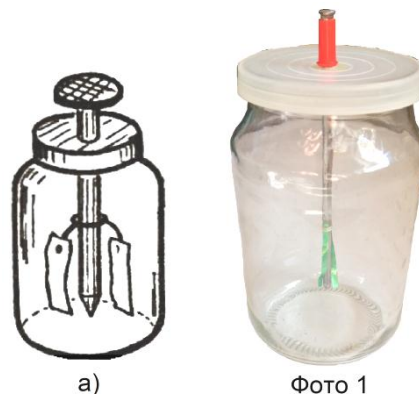
1. Изготовьте электроскоп (по-гречески «скопео» - наблюдать) – прибор для обнаружения наэлектризованности тел (рис. а, фото 1). Для этого:

а) возьмите стеклянную полулитровую банку с синтетической крышкой;

б) в середине крышки сделайте отверстие и вставьте туда металлический стержень (гвоздь) длиной около 10 см;

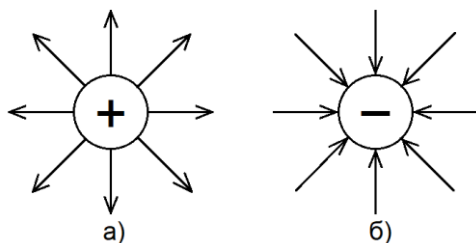
в) к середине стержня привяжите нить, к свободным концам которой приклейте полоски фольги шириной 1 см и длиной 3 см.

2. К наружной части стержня подносите различные заряженные (наэлектризованные) тела и наблюдайте взаимодействие лепестков фольги.



§ 1-3. ВОКРУГ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ СУЩЕСТВУЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, А МЕЖДУ ЗАРЯЖЕННЫМИ ТЕЛАМИ ДЕЙСТВУЮТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛЫ

Вы убедились в том, что заряженные тела взаимодействуют на расстоянии: притягиваются и отталкиваются. Почему? Оказывается, в пространстве, окружающем электрический заряд, существует электрическое поле, которое на всякий другой заряд, находящийся в нём, действует силой. Эту силу называют электрической. Вблизи заряженных тел электрическое поле сильнее, а по мере удаления поле ослабевает.



Все, что существует в природе, называется материей. В повседневной жизни мы видим материю в виде вещества. Это вода, воздух, железо, алюминий, деревья, глина и т.д. Из веществ делают предметы, которыми мы пользуемся: стулья, ложки, машины, книги и др. А вот электрическое поле мы не видим и не ощущаем.

Но оно, как показывают сделанные опыты, существует и тоже является материей. Значит, материя существует в виде вещества и поля.

На рисунках электрическое поле показывают в виде линий со стрелками (рис. а). Причем, у положительного заряда стрелки направлены от заряда, у отрицательного – к заряду. Эти линии называются силовыми линиями электрического поля.

§ 1-4. КУЛОН – ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Электрический заряд, как и всякая другая физическая величина, имеет свою единицу измерения. Заряд измеряется в кулонах, сокращенно «Кл».

Обратите внимание, единица заряда «Кл», в отличие от единиц м (метр), с (секунда), кг (килограмм), пишется с заглавной буквы. Это потому, что она названа в честь человека – французского ученого Шарля Кулона (1763 – 1806), установившего основные законы электрического взаимодействия заряженных тел.

Заряд условно обозначается буквой латинского алфавита q или Q . Читается «ку».

§ 1-5. ЭЛЕКТРОН – ЧАСТИЦА С НАИМЕНЬШИМ ЗАРЯДОМ

Вы уже убедились на предыдущих опытах, что заряженное тело (расческа) при соприкосновении с незаряженным телом (гильзой) отдает ему часть заряда. Заряженная гильза часть своего заряда может передать другому телу. Значит, электрический заряд можно делить. Но до каких пор?

Многочисленные опыты, проделанные учеными, позволили установить, что существует заряженная частица, имеющая самый малый электрический заряд, который дальше не делится. Эту частицу называли электроном (помним, что «электрон» по-гречески означает «янтарь»). Его открыл английский ученый Джозеф Джон Томсон в 1897 г.

Оказалось, что электрон имеет:

- отрицательный заряд $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (0,000 000 000 000 000 000 16 Кл);

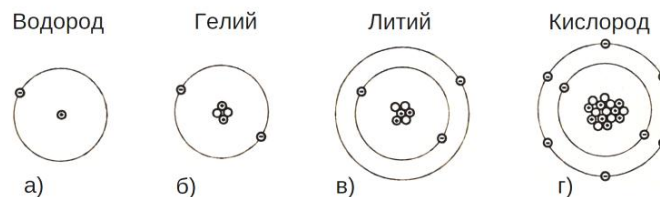
- массу $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг (0,000 000 000 000 000 000 000 000 91 кг).

Как видим, заряд и масса электрона чрезвычайно малы.

§ 1-6. АТОМ – МЕЛЬЧАЙШАЯ ЧАСТИЦА ВЕЩЕСТВА

Итак, в природе существуют электроны, имеющие наименьший электрический заряд. Но откуда берутся электроны?

Современное строение атома было обнаружено английским физиком Эрнестом Резерфордом (1871 – 1937). На рис. а приведены условные модели атомов водорода (а), гелия (б), лития (в) и кислорода (г).



Атом состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него отрицательных электронов, которые образуют оболочку.

Ядро состоит из протонов и нейтронов. Заряд протона такой же, как у электрона, но положительный: $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Он примерно в 1850 раз тяжелее электрона: $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг.

Нейтроны зарядом не обладают и по массе чуть тяжелее протонов: $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ кг.

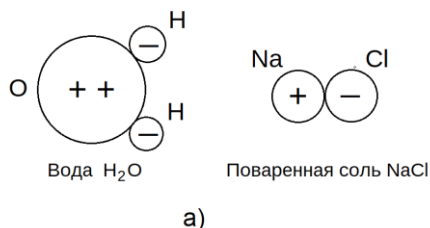
Обратите внимание, что в ядре водорода нейтрон отсутствует. У остальных атомов в ядрах содержится равное число протонов и нейтронов. Но у более сложных атомов обычно нейтронов бывает больше, чем протонов. Но нас чаще всего будет интересовать соотношение между протонами в ядре и электронами в оболочке, так как от этого зависит электрический заряд атома.

В нормальных условиях атомы электрически нейтральны: число отрицательных электронов в оболочке равно числу положительных протонов в ядре.

Размеры ядра очень малы по сравнению с размером атома. Если бы весь атом водорода увеличили так, чтобы ядро приняло размеры вишни, то расстояние до электрона увеличилось бы до километра! Это значит, что атом состоит (почти) из пустого пространства! А все тела состоят из атомов.

Что же, тела состоят из пустоты?

§ 1-7. ИЗ АТОМОВ ПОЛУЧАЮТСЯ ИОНЫ, А ИЗ ИОНОВ ОБРАЗУЮТСЯ МОЛЕКУЛЫ



Мы говорили, что атом в целом нейтрален (не имеет заряда), потому что положительный заряд ядра равен отрицательному заряду электронов оболочки.

Если один или несколько электронов отрываются от атома, то в нем преобладает число положительных протонов и атом в целом приобретает положительный заряд. Его теперь называют положительным ионом.

Если же к атому присоединяются дополнительные (лишние) электроны, то он превращается в отрицательный ион, так как в нем преобладают отрицательные электроны над положительными протонами.

Слово «ион» по-гречески означает «путник», «странник».

Положительные и отрицательные ионы разных элементов, объединившись, образуют более крупную частицу вещества – молекулу. Например, молекула воды H_2O состоит из двух отрицательных ионов водорода и одного положительного иона кислорода, а молекула поваренной соли $NaCl$ – из положительного иона натрия и отрицательного иона хлора (рис. а).

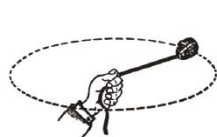
§ 1-8. ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ УДЕРЖИВАЮТСЯ ВОКРУГ ЯДРА АТОМА ЗА СЧЕТ СИЛЫ ПРИТЯЖЕНИЯ С ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ ЯДРОМ

Все тела в природе стремятся двигаться прямолинейно и равномерно. Это следует из первого закона И. Ньютона, закона инерции. Чтобы удерживать их на круговой траектории, нужно воздействовать силой, направленной к центру окружности (рис. а, б, в).

Камень вращается за счет силы упругости, возникающей в нити (а).

Планеты вращаются вокруг Солнца (Луна вокруг Земли) за счет силы Всемирного тяготения (б). Эту силу называют гравитационной.

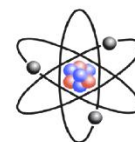
Электроны вращаются вокруг положительного ядра за счет электрических сил притяжения разноименных зарядов (в).



а)



б)

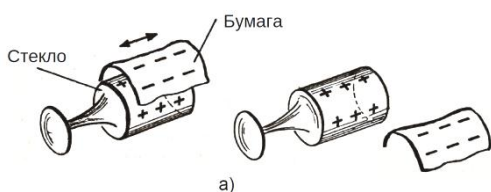


в)

§ 1-9. ПРИ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОНЫ С ОДНОГО ТЕЛА ПЕРЕХОДЯТ НА ДРУГОЕ, ЗАРЯЖАЯ ИХ РАЗНОИМЕННО

Все тела состоят из атомов, атомы – из равного числа протонов и электронов. Заряды электронов и протонов равны, но противоположны по знаку: электрон – отрицательный, протон – положительный. Поэтому тело электрически нейтрально. Но при электризации тело

получает или теряет электроны. Например, при расчесывании волос электроны с волос переходят на расческу; она приобретает избыточный отрицательный заряд, а волосы, потерявшие электроны, заряжаются положительно.



Стекло при натирании бумагой теряет электроны. Они переходят на бумагу, заряжая ее

отрицательно. Стекло же приобретает положительный заряд.

При трении оба тела заряжаются равными, но противоположного знака зарядами (рис. а).

Ошибочно думать, что при взаимодействии с другими веществами стекло всегда заряжается положительно, а янтарь – отрицательно. Дело в том, что энергия связи электрона с атомами зависит от рода вещества. В приведенной ниже таблице вещества расположены слева направо по мере увеличения энергии связи. Например, янтарь при взаимодействии со стеклом заряжается отрицательно (приобретает электроны), а при натирании с резиной – положительно (отдает электроны).

Таблица

Низкий < уровень энергии электрона с атомами вещества > высокий							
мех кролика	стекло	шерсть	мех кошки	шёлк	янтарь	резина	целлулоид

Следовательно, одно и то же вещество при трении с другими веществами может заряжаться и положительно (отдавать электроны), и отрицательно (приобретать электроны).

Задание 1-9-1. Определите, как заряжаются пары веществ при трении друг с другом.

Таблица

стекло - шерсть	кошка - кролик	целлулоид - стекло	шерсть - шёлк
янтарь - резина	шёлк - стекло	янтарь - стекло	стекло - резина

§ 1-10. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ – ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

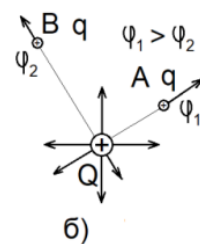
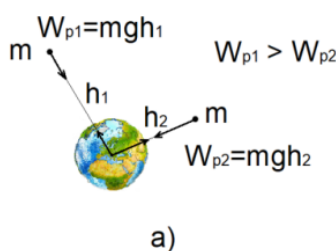
Всякая работа совершается под действием каких-то сил за счет какой-то энергии. В механике работа вычисляется формулой $A = FS \cos \alpha$, где A – работа, Дж (джоуль); F – сила, Н (ньютон); S – перемещение, м; α – угол между вектором силы и вектором перемещения.

В повседневной жизни мы имеем дело с потенциальной энергией взаимодействия в поле земного тяготения.

Вокруг Земли, как и вокруг любого тела, существует гравитационное поле (поле тяготения), и все тела, находящиеся в нем, обладают потенциальной энергией взаимодействия с Землей W_p .

Эти тела, приближаясь к Земле (падая с высоты h), под действием силы тяжести $F = mg$ ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$, ускорение свободного падения) совершают работу $A = mgh$ за счет потенциальной энергии W_p .

На рис. а показаны два тела массами m , которые вследствие взаимодействия с Землей обладают соответствующими потенциальными энергиями W_{p1} и W_{p2} .



Вокруг любого заряженного тела существует электрическое поле, которое убывает по мере удаления от него. Например, если в поле заряда $+Q$ (рис. б) помещен заряд $+q$ сначала в точку А, а потом в точку В, то в первой точке он, находясь ближе, обладает большей потенциальной энергией взаимодействия (здесь отталкивания) с зарядом Q , чем в более удаленной точке В.

Для характеристики энергии поля в разных точках ввели понятие электрического потенциала, который обозначается греческой буквой φ (фи). Потенциал определяется как отношение потенциальной энергии заряда в данной точке к этому заряду:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}, \text{ где } \varphi - \text{потенциал электрического поля, измеряется в вольтах (В), как и ЭДС;}$$

W_p - энергия заряда в данной точке, Дж; q - заряд, Кл.

§ 1-11. НУЛЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ – ЭТО ПОТЕНЦИАЛ ЗЕМЛИ

Высоту санок на горе удобно отсчитывать от уровня основания, молота – от уровня наковальни, летящей птицы – от уровня поверхности земли. Но в географии принято считать за нулевой уровень – уровень поверхности воды в морях. Если тело находится выше уровня моря, то его гравитационный потенциал положительный, если ниже – отрицательный.



а)

Если потенциал электрического поля тела, имеющего заряд Q , считать равным φ , то по мере удаления от него на бесконечно большое расстояние потенциал поля убывает до нуля. Значит, потенциал электрического поля бесконечно удаленной от заряженного тела точки можно считать за нулевой потенциал. Но на практике невозможно оперировать бесконечным расстоянием. Поэтому за нулевой потенциал принят потенциал Земли (рис. а). Земной шар имеет огромный запас зарядов обоих знаков, что позволяет ее потенциал считать постоянным.

По сравнению с нулевым потенциалом Земли у электрического поля положительно заряженных тел потенциал положительный, у отрицательно заряженных – отрицательный.

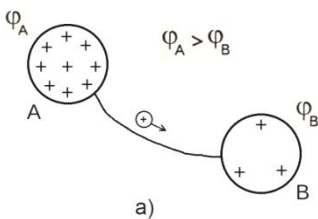
§ 1-12. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ – ЭТО РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ

Практическое значение имеет не потенциал какой-то точки электрического поля, а разность потенциалов между двумя точками поля, которая уже не зависит от того, что принято за нулевой потенциал.

Разность потенциалов часто называют напряжением и обозначают латинской буквой U . Напряжение, как ЭДС и потенциал, измеряется в вольтах (В). Напряжение (разность потенциалов) между двумя точками равно отношению работы поля при перемещении заряда из начальной точки в конечную.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}, \text{ где } U - \text{электрическое напряжение, В; } A - \text{работа, Дж; } q - \text{заряд, Кл.}$$

Отсюда вытекает физический смысл понятия напряжения: напряжение на участке цепи численно равно работе по перемещению заряда 1 Кл по этому участку. Например, по участку $R = 10 \text{ Ом}$ течет ток $I = 0,5 \text{ А}$. Разность потенциалов на участке составляет $U = IR = 10 \text{ Ом} \cdot 0,5 \text{ А} = 5 \text{ В}$. Исходя из физического смысла разности потенциалов (напряжения), получается, что для продвижения через этот участок заряда 1 Кл электрическому полю нужно совершить 5 Дж работы.



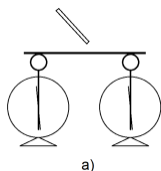
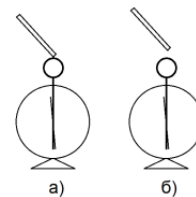
а)

Пусть имеются две одинаковые металлические сферы А и В (рис. а) с потенциалами φ_A и φ_B относительно Земли. Причем, $\varphi_A > \varphi_B$. Между ними существует разность потенциалов (напряжение). При соединении их проводником положительные заряды от тела с высшим потенциалом φ_A переместились бы к телу с низшим потенциалом φ_B до выравнивания их потенциалов.

Если проводник металлический, то переместятся отрицательно заряженные электроны от тела В к телу А до выравнивания их потенциалов.

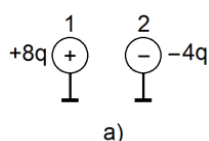
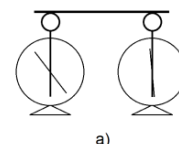
§ 1-13. ЗАДАЧИ ОГЭ И ЕГЭ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

Задача 1. К незаряженному электromетру поднесли предварительно потёртую о мех эбонитовую палочку. Как заряжается шар и стрелка электromетра, если палочкой: 1) коснуться шара (рис. а); 2) не коснуться (рис. б).



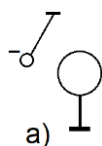
Задача 2. Два незаряженных электromетра соединены металлической пластиной, к середине которой поднесли предварительно потёртую о шёлк (бумагу) стеклянную палочку (рис. а). Как распределится заряд на электromетрах, если палочкой: 1) коснуться пластины; 2) не коснуться.

Задача 3. Из какого материала может быть сделана пластина, соединяющая шары двух одинаковых электроскопов (рис. а)?



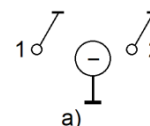
Задача 4. Какие будут заряды на одинаковых шариках, предварительно заряженных $+8q$ и $-4q$ (рис. а), если их соединить: 1) пластмассовым стержнем; 2) медной проволокой?

Задача 5. Каким может быть заряд шарика из алюминиевой фольги, если он притягивается к положительно заряженному телу (рис. а)?

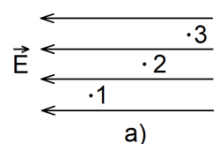


Задача 6. Каким может быть заряд тела, если от него отталкивается отрицательно заряженный шарик из алюминиевой фольги (рис. а)?

Задача 7. Какими могут быть заряды шариков 1 и 2 (рис. а)?

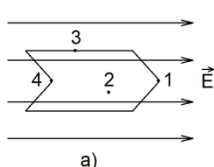
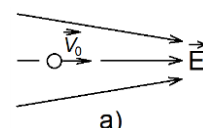


Задача 8. Как и почему изменится масса положительно заряженного шара, если к нему прикоснуться пальцем?



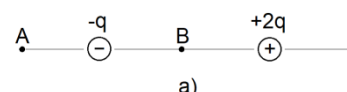
Задача 9. На рисунке а изображены линии напряженности электрического поля. Как изменяется потенциал точек при переходе слева направо?

Задача 10. Проводящий незаряженный шар влетает с начальной скоростью v_0 в неоднородное электрическое поле (рис. а). Какой будет характер его дальнейшего движения?

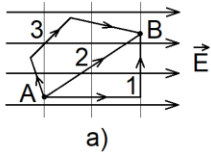
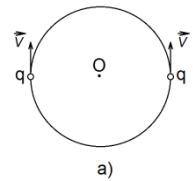


Задача 11. Каково соотношение между потенциалами точек 1, 2, 3 и 4 на поверхности полого металлического тела (рис. а), находящегося в однородном электрическом поле?

Задача 12. На рисунке а показано расположение двух неподвижных точечных электрических зарядов $-q$ и $+2q$. В какой из трех точек А, В, С модуль вектора напряженности суммарного электрического поля этих зарядов: максимальный; минимальный?

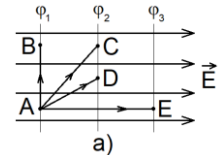


Задача 13. Два одинаковых заряда движутся по окружности в противоположных направлениях (рис. а). Рассмотрите случаи, когда модуль напряжённости электрического поля, создаваемого этими зарядами в центре окружности O , будет: 1) минимальный; 2) максимальный, если заряды: а) одноименные; б) разноименные?



Задача 14. Положительный заряд перемещается в однородном электростатическом поле из точки A в точку B по разным траекториям (рис. а). При перемещении по какой траектории электрическое поле совершает наименьшую работу?

Задача 15. Заряд q перемещается по траекториям AB , AC , AD , AE (рис. а). Расположите работу поля по мере убывания.



Ответы к задачам

Задача 1: 1) шар и стрелка заряжаются отрицательно; 2) шар заряжается положительно, стрелка – отрицательно. **Задача 2:** 1) пластина и стрелки заряжаются положительно; 2) пластина заряжается отрицательно, стрелки – положительно. **Задача 3:** из диэлектрического материала. **Задача 4:** 1) $+8q$ и $-4q$; 2) $+2q$, $+2q$. **Задача 5:** отрицательный или нейтральный. **Задача 7:** 1 – отрицательный, 2 – положительный или нейтральный. **Задача 8:** масса шара увеличится за счет прихода электронов с пальца, которые нейтрализуют его заряд. **Задача 9:** напряженность электростатического поля направлена от точки с высшим потенциалом к точке с низшим потенциалом и при движении вдоль линии напряженности от начала линии к ее концу потенциал убывает: $\varphi_3 > \varphi_2 > \varphi_1$. **Задача 10:** под действием электрического поля в шаре произойдет перераспределение зарядов. В передней части накапливаются положительные заряды, в задней части – отрицательные. Сила, действующая на положительные заряды вперед, преобладает над силами, действующими на отрицательные заряды назад, вследствие чего под действием равнодействующей силы $F = ma$ шар будет ускоряться. **Задача 11.** Металл является проводником. Металлическое тело, помещенное в электростатическое поле является эквипотенциальным телом, то есть все точки на его поверхности находятся под одинаковым потенциалом. **Задача 12:** максимален в точке B , минимален в точке A . **Задача 13:** на основании принципа суперпозиции, что поле, создаваемое системой зарядов в некоторой точке, есть геометрическая сумма векторов напряженностей полей от всех зарядов по отдельности, имеем: 1) при одноименных зарядах поле минимальное, если заряды находятся в диаметрально противоположных точках и максимальное при их встречах; 2) при разноименных зарядах происходит все наоборот. **Задача 14:** Электростатическое поле потенциально. Это значит, что работа электрического поля и определяется только начальным и конечным положениями заряда и не зависит от формы траектории. Ответ: работа одинакова при движении по всем траекториям. **Задача 15:** $A_{AE} > A_{AD} = A_{AC} > A_{AB} = 0$.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ИСТОЧНИКИ ТОКА. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА

§ 2-1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК - ЭТО НАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Если одинаковые разноименно заряженные гильзы (рис. а) соединить проводником, то часть электронов с отрицательной гильзы перетечет на положительную гильзу. В соединительном проводнике возникает кратковременный, направленный ток электронов, который сразу же прекратится, как только уравнивается количество зарядов на гильзах.

Как в проводнике поддержать длительное (непрерывное) движение зарядов? Очевидно, для этого на одном конце нужно беспрерывно создавать избыток электронов, а на другом конце их недостаток.

Например, это можно сделать, подключив к одному концу провода отрицательный шарик (кондуктор) электрофорной машины (рис. б), а к другому концу – положительный шарик.

Электрофорная машина имеется в кабинете физики школы. С ее помощью производят разделение разноименных зарядов трением. Но помните, что для этого придется поработать: вращать диски машины относительно друг друга. «Без труда не вытащишь и рыбки из пруда!»

Если соединить выводы электрофорной машины проводником, то электроны с того конца провода, где их много, будут перемещаться туда, где их мало. Возникает непрерывное движение зарядов (здесь электронов), т.е. электрический ток.

Итак, электрическим током называется направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц.

Ток может быть обусловлен движением как отрицательных ионов и электронов, так и положительных ионов.

За направление тока условно принято направление движения положительно заряженных частиц. Значит, направления движения электронов и отрицательных ионов противоположны принятому направлению тока.

Сила тока обозначается латинской буквой I в честь французского ученого Андре Ампера и измеряется в амперах, сокращенно «А».

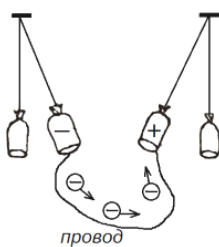
В первой половине 19-го столетия А. Ампер предложил принять за направление тока от плюса к минусу, что и закрепилось впоследствии. Понятно, что тогда не были известны носители зарядов электроны и ионы. Теперь-то мы знаем, что ток представляет собой: в металлах упорядоченное движение отрицательно заряженных электронов; в электролитах – это движение ионов обоих знаков; в газах обеспечивается движением ионов и электронов.

Сила тока вычисляется формулой $I = \frac{q}{t}$, где: I - сила тока, А; q – заряд, Кл; t – время, с.

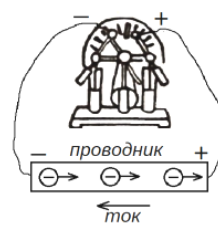
Сила тока показывает, сколько кулонов электрических зарядов прошло через данное сечение проводника за одну секунду: $1 \text{ А} = 1 \frac{\text{А}}{\text{с}}$.

Задание 2-1-1.

Рассчитайте, сколько электронов проходит через спираль миниатюрной лампы накаливания за одну секунду, если сила тока составляет 0,3 А.



а)



б)

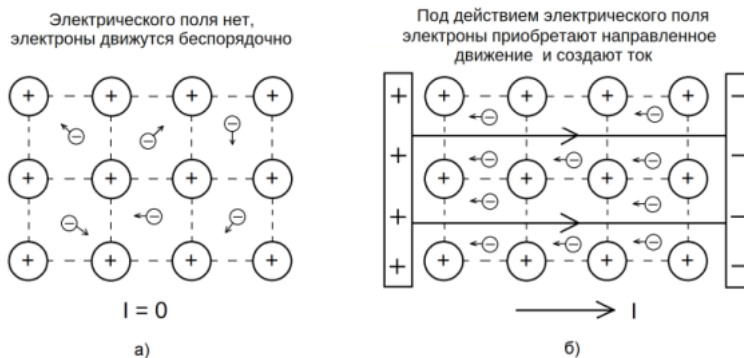


в)

§ 2-2. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВЕЩЕСТВ ЗАВИСИТ ОТ НАЛИЧИЯ В НИХ СВОБОДНЫХ ЗАРЯДОВ

Проводники – это вещества, в которых много свободных зарядов. Свободные заряды, двигаясь направленно, могут создать ток.

Хорошими проводниками являются металлы: особенно серебро, медь, золото, алюминий. Они имеют кристаллическое строение (рис. а), в узлах которого находятся положительные ионы (атомы, потерявшие часть своих электронов). Ионы совершают колебательное движение вокруг определенного положения и по веществу не перемещаются. А вот ставшие свободными электроны (те, которые покинули свои атомы) двигаются по всему кристаллу беспорядочно. Но как только в металле появляется электрическое поле, они приобретают направленное движение против поля и создают ток (рис. б).



Электрический ток в металлах представляет собой упорядоченное движение электронов.

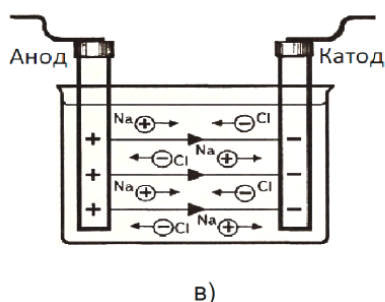
Хорошими проводниками являются растворы солей и оснований в воде. Например, молекулы поваренной соли $NaCl$ в воде распадаются на положительный ион натрия Na^+ и отрицательный ион хлора Cl^- . Процесс распада вещества на ионы называется электролитической диссоциацией. Происходит это потому, что дисциллированная вода в 81 раз ослабляет действие электрических сил притяжения между разноимёнными ионами молекулы вещества.

Под действием электрического поля свободные ионы приходят в направленное движение и создают ток.

На рис. в видно, что в раствор поваренной соли опущены два электрода: положительный называется анодом, отрицательный – катодом. Положительные ионы натрия движутся по направлению электрического поля (или тока); их называют катионами (идут к катоду вдоль электрического поля), что означает «идущий вниз, по течению». Отрицательные ионы хлора движутся против поля и поэтому называются анионами (идут к аноду против поля) – «идущими вверх, против течения».

Электрический ток в жидкостях создается направленным движением положительных и отрицательных ионов.

С учётом того, что за направление тока принято, как уже говорили выше, направление движения положительных зарядов, получается, что катионы (+) движутся по направлению тока, а анионы (-) против.



Газы тоже могут быть проводниками электрического тока, если они ионизированы, т.е. содержат свободные заряды.

Электрический ток в газах представляет собой направленное движение ионов обоих знаков и электронов. Разреженные газы как проводники используются в лампах дневного света и в рекламных газонаполненных трубках. Молния во время грозы тоже представляет собой кратковременный ток в газах, т.е. в атмосферном воздухе.

Диэлектрики (или изоляторы) – это вещества, в которых нет (точнее, очень мало) свободных зарядов. Поэтому они не проводят (почти не проводят) тока. Хорошими диэлектриками являются: сухой воздух, резина, слюда, фарфор, керамика, бумага, дерево. Они применяются для изоляции проводников друг от друга. Однако идеальных изоляторов нет. Все вещества в той или иной степени проводят ток.

В условиях задач иногда встречается понятие идеального диэлектрика. В таких случаях сопротивление диэлектрика считается бесконечно большим, т.е. он совсем не проводит тока.

Кроме рассмотренных выше проводников и диэлектриков, существуют еще полупроводники, которые по электропроводным свойствам могут быть близки либо к проводникам, либо к диэлектрикам. Но о них мы поговорим позже.

Задание 2-2-1. Убедитесь в проводимости газа (воздуха).

1. Зарядите одноименно две гильзы и между ними поместите зажженную спичку. Воздух под действием огня ионизируется, т.е. его молекулы распадаются на ионы и электроны.
2. Опишите, как изменилось взаимодействие гильз? Почему?

Задание 2-2-2. Убедитесь в проводимости тока человеческим телом.

1. Соедините последовательно источник постоянного тока и гальванометр, в качестве которого возьмите микроамперметр с пределом измерений 2000 мкА или 200 мкА, входящий в состав мультиметра. Свободные концы проводов, идущих от источника тока и гальванометра, соедините через себя (рис. а), взявшись сначала сухими руками, потом влажными. Сравните показание гальванометра в обоих случаях и сделайте вывод.
2. Омметром, входящим в состав цифрового мультиметра, измерьте ваше сопротивление (рис. б, фото 1, фото 2).

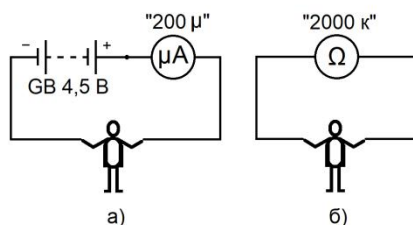


Фото 1

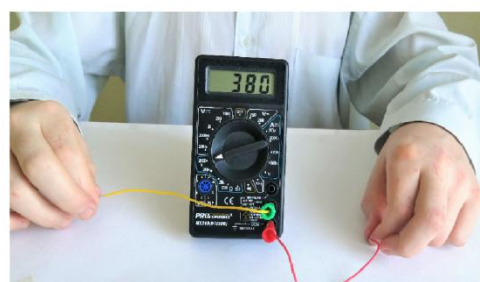


Фото 2

К сведению.

Человеческое тело, как и тело других живых существ, является проводником тока. Если человек оказывается под напряжением, то через него проходит электрический ток. Безопасным можно считать ток до 0,01 А. Ток силой 0,05 А, протекающий через организм человека, опасен для жизни. Ток 0,1 А может привести к смерти.

Степень поражения током зависит от сопротивления тела человека, которое в нормальном состоянии (здоровый организм, сухая кожа) может быть больше 100 000 Ом. Но в особо неблагоприятных условиях (болезнь, сильное потоотделение, влажное или мокрое тело, открытые раны на теле и т.д.) сопротивление может понизиться до нескольких сотен Ом.

Внимание! Будьте осторожны при обращении с электрическими приборами!

§ 2-3. В ИСТОЧНИКАХ ТОКА ЗАРЯДЫ РАЗДЕЛЯЮТСЯ НА ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ И ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ

Почему текут реки? Почему тела падают на Землю? Почему с горки катятся санки? Все эти тела находятся в поле тяготения Земли. Движущей их силой является сила тяготения (тяжести). Они с высшего уровня перемещаются к низшему уровню (фото 1, 2, 3). При этом их первоначально запасенная энергия (она называется потенциальной) уменьшается.



Фото 1

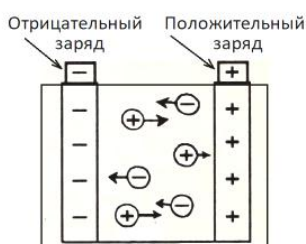


Фото 2



Фото 3

Для того чтобы заряды двигались по проводнику и создавали ток, нужно на них действовать силой. На заряды может действовать только электрическое поле. Источники тока нужны для создания электрического поля в проводниках.



В источнике тока происходит разделение зарядов

г)

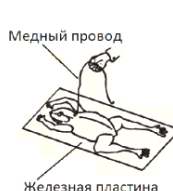
Существуют разнообразные источники тока, но во всех их разновидностях происходит разделение зарядов на положительные и отрицательные (рис. г). Но собрать вместе одноименные заряды не так-то просто, потому что они, имея одноименные заряды, отталкиваются друг от друга. Для этого приходится совершить работу, затратив определенную энергию.

Разделение зарядов в источниках тока может быть произведено за счет механической, тепловой, световой, химической, атомной и других энергий, кроме самой электрической. Точнее будет, если скажем, что в источниках тока перечисленные виды энергий превращаются в электрическую энергию за счет работы сил неэлектрического происхождения, т.е. сторонних сил.

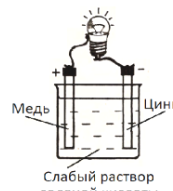
§ 2-4. ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА САМЫЕ ПРОСТЫЕ, ИХ МОЖНО СДЕЛАТЬ САМОМУ

В жизни чаще всего используются химические источники тока, называемые гальваническими. Они так названы в честь итальянского анатома Луиджи Гальвани (1737 – 1798), исследовавшего действие электрического разряда на мышцы и нервы мертвой лягушки.

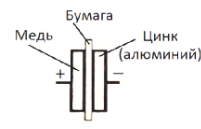
Однажды он открыл удивительное явление. Ножка лягушки лежала на железной пластине (рис. а). Гальвани проволочным крючком из меди зацепил за кусок спинного мозга и другим концом провода случайно коснулся железной пластины.



а)



б)



в)

При этом мышцы лягушачьей ноги сократились, как от электрического разряда. Он ошибочно подумал, что в мышцах лягушки вырабатывается «животное электричество».

Опытами Гальвани заинтересовался итальянский физик Алессандро Вольта (1745 – 1827), который обратил внимание на присутствие в опытах Гальвани двух разно-

родных металлов. Для подтверждения своей догадки он на свой язык положил серебряную монету и кончиком языка коснулся металлической пластины. Когда монету и пластину соединил куском провода, ощутил кисловатый вкус, что свидетельствовало о прохождении тока.

В 1800 году после многочисленных экспериментов Вольты 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 Вольт одной рукой коснулся нижней медной пластины, а другой – верхней цинковой, то испытал сильный электрический удар!

На рисунке 6 показан простейший химический элемент. Если в слабый раствор соляной кислоты, налитый в стеклянный стакан, опустить медную и цинковую пластины, то миниатюрная низковольтная лампа накаливания будет светить, сигнализируя о наличии в ней тока.

Простейший источник тока (элемент) можно получить, поместив между медной и цинковой (алюминиевой) пластинами смоченную соленой водой или слюной бумагу (рис. в). Правда, регистрировать ток такого источника можно только чувствительным прибором.

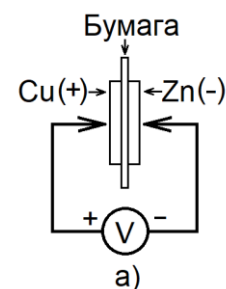
Понятно, что в опытах Гальвани роль кислого или соленого раствора, где в результате химической реакции между разнородными металлами произошло разделение зарядов на положительные и отрицательные, играла жидкость в тканях лягушки, а в опытах Вольты – кислотно-щелочная среда слюны.

Задание 2-4-1. Изготовьте простейший химический элемент.

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

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

3. Измерьте напряжение (ЭДС), даваемое данным источником тока. Определите полярность выводов (где «+», где «-») этого источника тока.



Примечание.

1. Напряжение, даваемое источником тока, Вольт назвал «электродвижущей силой» (ЭДС).

2. Демонстрационный стрелочный гальванометр (на базе амперметра) при подключении вышеописанного источника тока даже «зашкаливает».

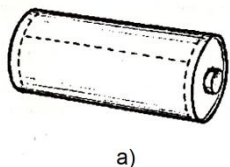
Задание 2-4-2. Исследуйте, какая пара металлических материалов дает наибольшее напряжение (ЭДС) в кислотно-щелочной среде.

Результаты опыта занесите в таблицу.

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

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

Таблица			
Металлическая пара	Напряжение, В	Металлическая пара	Напряжение, В
медь - цинк		цинк - алюминий	
медь - алюминий		цинк - железо	
медь - железо		алюминий - железо	



Совет о том, где взять разнородные металлы для опытов.

1. Для получения цинковых пластин можно использовать корпус (стакан) старого гальванического элемента, освободив его от содержимого. Для этого распилите его ножовкой по металлу так, как

показано на рис. а пунктиром. Полученную пластину выпрямите и разрежьте на части размерами 1 x 3 см.

2. Алюминиевые пластины можно получить аналогичным способом из корпусов старых электролитических конденсаторов или использовать куски алюминиевого провода, оголенного от изоляции.

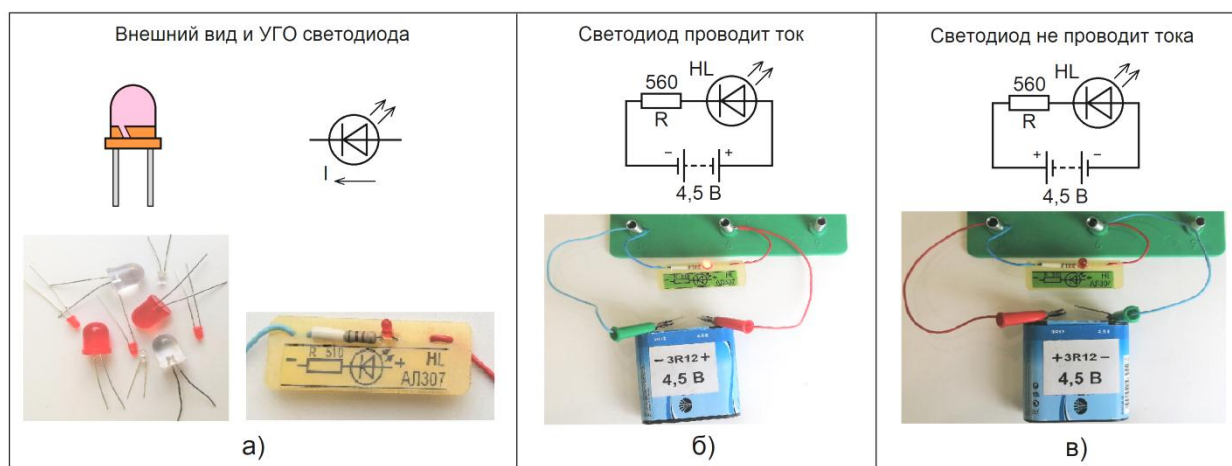
3. Вместо медных пластин можно использовать куски медного провода, латуни.

4. Железные пластины можно заменить гвоздями.

Задание 2-4-3. Ознакомьтесь со светодиодом.

1. Светодиод (рис. а) – это очень чувствительный полупроводниковый прибор, свечение которого заметно уже при силе тока менее 1 мА. Чтобы случайно не сжечь его чрезмерно большим током, он установлен в цепочку с ограничителем тока – резистором 500 – 1000 Ом (рис. б). Светодиод пропускает ток и светится только при правильном включении: вывод «+» к плюсу источника питания, а вывод «-» – к минусу. Стрелка треугольника на условном обозначении светодиода показывает направление тока в нем.

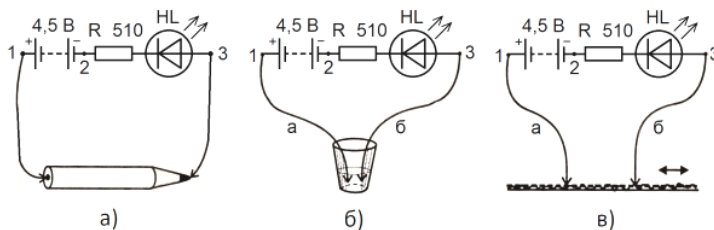
2. Испытайте работу светодиода с резистором, подключая к элементу 1,5 В и батарее 4,5 В (рис. в, г).



Задание 2-4-4. Убедитесь на опытах в чувствительности светодиода как индикатора тока.

Опыт №1. Стержень карандаша, сделанный из графита, является хорошим проводником. Соберите цепь по рисунку а и убедитесь в этом.

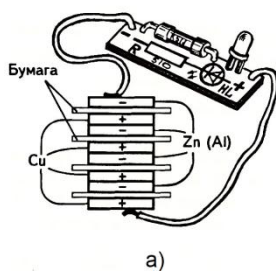
Опыт №2. Свободные оголенные концы проводников а и б опустите в стакан с дистиллированной водой (рис. б). Светодиод не горит, т.к. дистиллированная вода является диэлектриком. Добавьте в воду щепотку соли. При этом светодиод загорается, свидетельствуя о возникновении тока в цепи. Растворы солей являются хорошими проводниками тока, т.к. в них имеются положительные и отрицательные ионы (заряды).



Опыт №3. Толстую нить (или жгут, составленный из нескольких ниток) длиной 20 - 30 см намочите в соленом растворе и разложите на столе между свободными концами проводов а и б (рис. в).

Наблюдайте за изменением яркости светодиода в зависимости от длины нити между концами проводов. Объясните явление.

Опыт №4. Самостоятельно исследуйте проводимость различных материалов.



а)

Задание 2-4-5. Изготовьте самодельный источник тока типа «Вольтов столб».

1. Возьмите 4 медные пластины и 4 цинковые (можно алюминиевые), переложите их листочками бумаги, пропитанными соленым раствором (рис. а). 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 в данном эксперименте светит непрерывно несколько часов подряд. Но лампа накаливания от этого источника питания светить не будет, так как эта батарея элементов вследствие большого внутреннего сопротивления не может создать достаточной силы тока.

Задание 2-4-6. Составьте батарею из самодельных элементов.

1. Убедитесь, что сырая картошка, в которую вставлены медная и цинковая пластина, является источником напряжения (фото 1).

2. Изготовьте элементы из 4-6 сырых картофелин, вставив в них медные и цинковые пластины. Медь является положительным «+» электродом, цинк отрицательным «-».

3. Надежно соедините разноименные электроды элементов медными проводами (фото 2, 3). Подключите к свободным выводам светодиод и наблюдайте его свечение.

4. Экспериментируйте с другими овощами и корнеплодами. Хорошие результаты дают солёные огурцы.

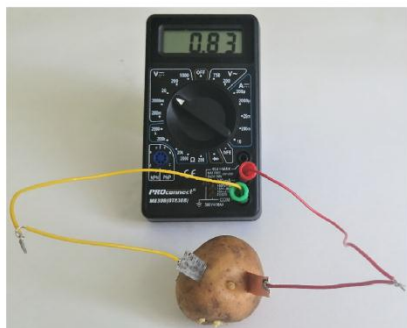


Фото 1



Фото 2

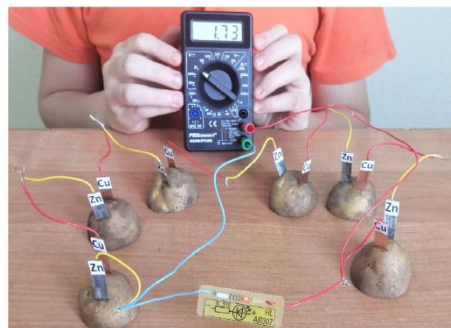


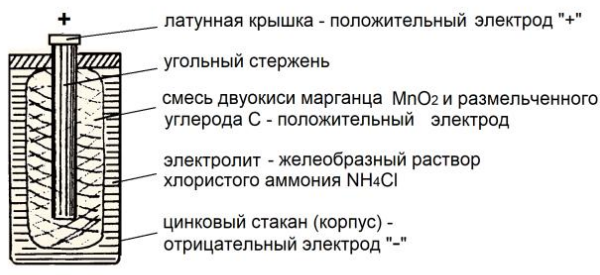
Фото 3

§ 2-5. ЭЛЕМЕНТ ЛЕКЛАНШЕ - ОЧЕНЬ РАСПРОСТРАНЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТОКА

Из всех видов, выпускаемых в мире химических элементов, гальванические элементы типа «элемент Лекланше», названные в честь создавшего их французского химика, занимают 90 %. Их преимущество состоит в том, что они сделаны в сухом виде и достаточно дешевы.

На рисунке а показано их схематическое устройство.

В результате химической реакции атом хлора отбирает из цинкового стакана положительные ионы цинка Zn^{++} с двумя недостающими электронами. Вследствие этого цинковый электрод, где остаются избыточные свободные электроны,



а)

заряжается отрицательно. Положительные ионы аммония NH_4^{++} отбирают свободные электроны из двуокиси марганца, заряжая ее положительно.

Двуокись марганца является положительным электродом. Вставленный в нее угольный стержень используется для передачи положительного заряда наружу. Многие по ошибке думают, что угольный стержень является положительным электродом. Как видите, это не так.

Реакция распада хлористого аммония NH_4Cl на положительные ионы аммония NH_4^{++} и отрицательные ионы хлора Cl^- происходит только тогда, когда к электродам источника тока подключены потребители электрической энергии и в цепи протекает ток.

Все рассмотренные выше химические источники тока называются первичными элементами, т.к. предназначены для однократного использования. Но бывают аккумуляторные элементы, которые можно многократно перезаряжать. Они называются вторичными элементами.

Контрольные вопросы и задания.

1. Объясните причину появления напряжения на выводах химического источника тока, изображенного в задании 2-4-1.
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. Какова здесь роль языка?
3. Возьмите различные овощи или корнеплоды. Вставляя в них медные и цинковые пластины, исследуйте, в каких из них возникает наибольшая электродвижущая сила.

§ 2-6. ПРОХОЖДЕНИЯ ТОКА В ЭЛЕКТРОЛИТАХ (РАСТВОРАХ СОЛЕЙ, КИСЛОТ, ЩЕЛОЧЕЙ) СОПРОВОЖДАЕТСЯ ХИМИЧЕСКИМИ ДЕЙСТВИЯМИ

В отличие от металлов, где носителями тока являются электроны, прохождение тока в электролитах (растворах солей, кислот и щелочей) 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 постоянного напряжения. Достоинство аккумуляторов заключается в том, что их можно перезаряжать многократно.

Контрольные вопросы.

1. Какими действиями сопровождается прохождение тока по металлическим 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?

Задание 2-6-1. Наблюдайте выделение газов на электродах.**Примечания.**

1. В домашних условиях при отсутствии стандартных угольных электродов и держателей для них в работе можно использовать угольные электроды от старых гальванических элементов, к наконечникам которых припаивается многожильный монтажный изолированный провод длиной 20 - 25 см.

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

3. Угольные стержни устанавливаются в пластмассовых пластинах, расположенных над сосудом (рис. а). Пластина содержит два одинаковых отверстия для установки в них электродов и одно отверстие большего размера для пробирки.

4. При использовании лампы $MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$ необходимо применить источник питания 9 В.

1. Соберите электрическую цепь (рис. а), 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 по объёму выделяется больше.

5. Выполните задание:

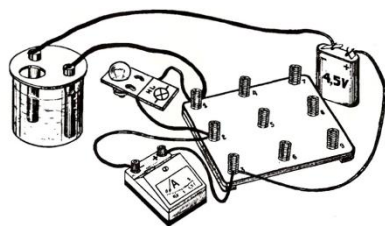
а) убедитесь в выделении хлора по характерному запаху, присутствующему над анодом (положительным электродом);

б) водород накопите в пробирке, установленной вверх дном над катодом так, чтобы ее отверстие на 3 - 5 мм оказалось под водой (рис. б).

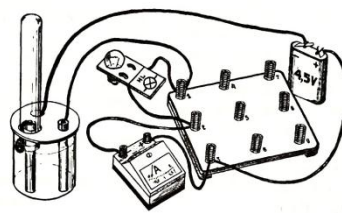
Совет. В домашних условиях пробирку можно заменить цилиндром шприца 10 мл (или 20 мл), с вынутым поршнем и закупоренным отверстием, предназначенным для иглы.

Обратите внимание на пузырьки, свидетельствующие о том, что легкий водород, накапливаясь в пробирке, вытесняет из него воздух. Через 4 – 5 мин 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!



а)



б)

Задание 2-6-2. Изучите принцип работы аккумулятора.

1. Не разбирая установку предыдущего задания, 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 аккумулятора. Убедитесь,

что угольный электрод, включенный к положительному полюсу источника тока, заряжается положительно, а включенный к отрицательному – отрицательно.

4. Разрядите аккумулятор, подключив непосредственно к угольным электродам лампу. Она вспыхнет 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, бытовых приборов и т. д.) к источнику тока при зарядке; 2) в чем заключается преимущество аккумуляторов перед гальваническими источниками тока.

Задание 2-6-3. 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 рисунку а задания 2-6-1 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 2-6-4. 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 2-6-3.

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).

§ 2-7. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА - ЭТО СПОСОБНОСТЬ ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ СОЗДАВАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Для характеристики способности источника тока создавать электрический ток Вольт ввел понятие об «электродвижущей силе», которую мы в дальнейшем будем сокращенно называть ЭДС и обозначать латинской буквой $\mathcal{E}$.

ЭДС в честь А. Вольты измеряется в вольтах, сокращенно «В». На практике часто встречаются дольные и кратные единицы: $1 \text{ мВ (милливольт)} = 0,001 \text{ В} = 10^{-3} \text{ В}$ и $1 \text{ кВ (киловольт)} = 1000 \text{ В} = 10^3 \text{ В}$.

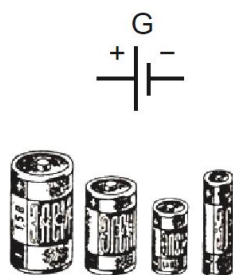
ЭДС показывает работу, которую может выполнить источник тока, перемещая заряды по электрической цепи, и выражается формулой

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}, \quad \text{где } \mathcal{E} - \text{ЭДС, В; } q - \text{заряд, Кл; } A - \text{работа источника напряжения по}$$

перемещению заряда по замкнутой цепи. Работа измеряется в Дж (джоуль); в гальванических элементах, аккумуляторах эту работу совершает энергия химических реакций.

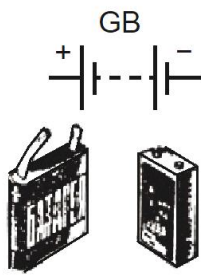
На рисунках показаны условные обозначения и внешний вид элементов (а) и батареи элементов (б).

ЭДС источников постоянного напряжения наносится на их корпусах. Для увеличения ЭДС элементы соединяются в батареи. Например, батарея 3R12, известный в быту чаще всего под названием «квадратная батарея», состоит из трех последовательно соединённых элементов и имеет ЭДС 4,5 В (рис. в).



Элементы

а)



Батареи элементов

б)



в)

Задание 2-7-1. Ознакомьтесь с элементами и батареями элементов питания.

1. Возьмите гальванические элементы, аккумуляторные элементы и батареи, имеющиеся у вас дома. Они используются в пультах управления, электронных часах, мобильных телефонах, электрифицированных игрушках и т.д.

2. Найдите их аноды (положительные выводы), катоды (отрицательные выводы) и определите ЭДС, выраженную в вольтах.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ. ЗАКОНЫ ОМА

§ 3-1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ – ЭТО ПУТЬ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

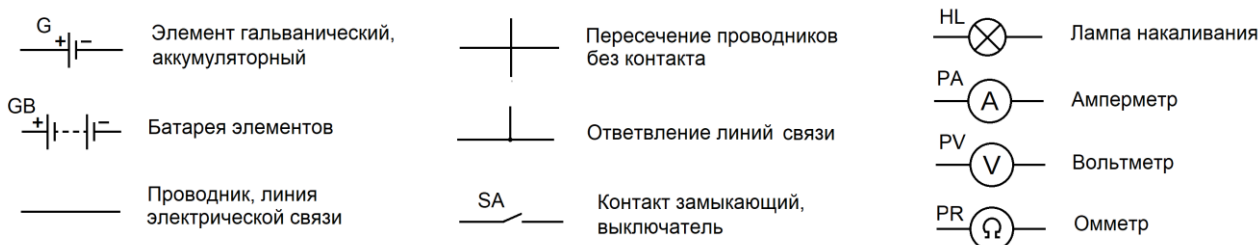
Источник тока, потребитель электрической энергии (нагрузка) и соединяющие их провода образуют электрическую цепь. Для упрощения чертежа (схем) электрических цепей используют условные графические обозначения (УГО). Например, на рисунке а показаны некоторые условные знаки и их обозначения буквами латинского алфавита.

В дальнейшем при использовании новых деталей мы будем знакомиться с их условными знаками и обозначениями.

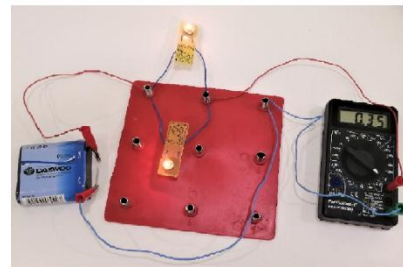
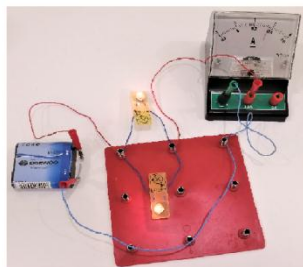
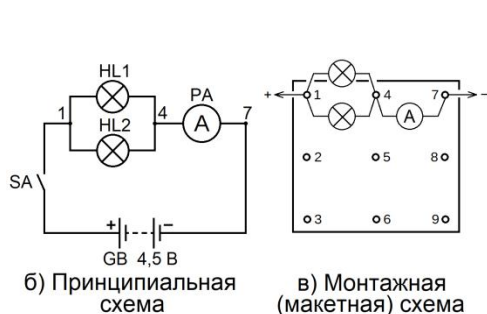
Принципиальная схема (рис. б) – это упрощенный чертеж электрической цепи, где ее элементы изображены условными знаками.

Монтажная (макетная) схема (рис. в) – это схема расположения реальных элементов цепи на макетной панели (плате).

Примеры сборки схем на макетной плате показаны на фотографиях г.



а) Условные графические обозначения (УГО)



г) Примеры сборки схем

Задание 3-1-1. Познакомьтесь с правилами сборки электрических цепей.

Примечание. В наборе выключатель отсутствует. Цепь включают и выключают замыканием и размыканием одного из проводов, соединяющих источник напряжения.

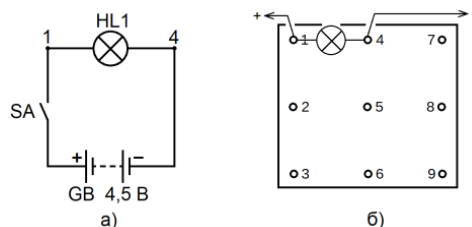
1. Цифры, стоящие на принципиальных схемах (рис. б), обозначают номера пружинных контактов, к которым рекомендуется включать этот узел цепи.

2. Во всех конструкциях источник напряжения подключают в последнюю очередь.

3. Все изменения в схеме производят при отключенном питании.

4. Собранную цепь включают только на время изучения работы конструкции.

5. Помните, что даже случайные короткие замыкания проводом вывода «+» батареи с выводом «-» уменьшает срок службы или могут вывести ее из строя.



Внимание! Короткие замыкания выводов источника напряжения недопустимы.

Задание 3-1-2. Изучите работу простейшей электрической цепи.

1. Соберите электрическую цепь по принципиальной и монтажной схемам (рис. а, б).
2. Замыкая и размыкая провода в различных местах цепи, сделайте вывод о том, что ток течет (лампа светится) только при замкнутой цепи.

§ 3-2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ – ЭТО ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРОВОДНИКА ДВИЖЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

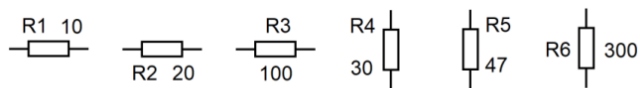
Один и тот же источник тока в разных электрических цепях создает разной силы ток, потому что каждая электрическая цепь и каждый ее участок по-разному сопротивляются движению зарядов.

Электрическое сопротивление – это характеристика противодействия всей цепи или отдельных ее участков электрическому току. Оно в честь немецкого ученого Георга Ома (1787 – 1854) измеряется в омах, сокращенно «Ом».

Участок цепи, обладающий электрическим сопротивлением, на принципиальных схемах рисуется в виде прямоугольника (рис. а) и обозначается латинской буквой R (от слова «resistans» – сопротивление).

Сопротивление участка цепи, выраженное в омах, записывают возле УГО как число без единиц измерения.

Изготавливаются специальные радиодетали, обладающие определенным сопротивлением. Они называются резисторами (фото).



а)

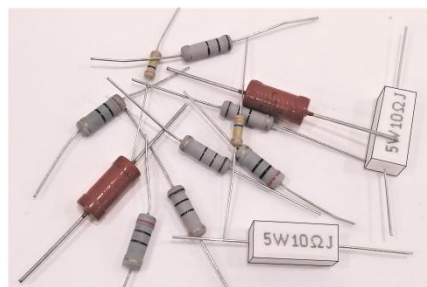
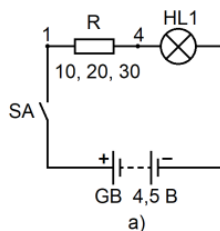


Фото 1

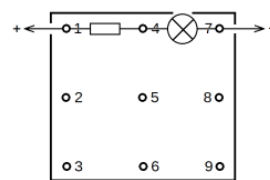
Задание 3-2-1. Изучите влияние сопротивления на силу тока.

1. Найдите среди деталей набора резисторы, имеющие сопротивления до 10, 20, 30 Ом. Ознакомьтесь с ними.

2. Соберите цепь (рис. а, б), где ток, поступающий в лампу, протекает по участку сопротивлением R . Включая вместо участка R поочередно резисторы по мере возрастания их сопротивлений (например, 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом), следите за яркостью лампы. Чем меньше яркость, тем меньше сила тока в цепи.



а)



б)

3. Сделайте вывод о том, как сопротивление R влияет на силу тока I .

Задание 3-2-2. Изучите кратные и дольные единицы электрических величин.

1. Познакомьтесь с дольными и кратными единицами измерения электрических величин: силы тока, напряжения и сопротивления (таблица 1).

Таблица 1

Сила тока	Напряжение	Сопротивление
1 микроампер - $1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}$	1 микровольт - $1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}$	1 микроом - $1 \text{ мкОм} = 10^{-6} \text{ Ом}$
1 миллиампер - $1 \text{ мА} = 10^{-3} \text{ А}$	1 милливольт - $1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}$	1 миллиом - $1 \text{ мОм} = 10^{-3} \text{ Ом}$
1 килоампер - $1 \text{ кА} = 10^3 \text{ А}$	1 киловольт - $1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}$	1 килоом - $1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}$
1 мегаампер - $1 \text{ МА} = 10^6 \text{ А}$	1 мегавольт - $1 \text{ МВ} = 10^6 \text{ В}$	1 мегаом - $1 \text{ МОм} = 10^6 \text{ Ом}$

2. Выразите указанные ниже значения силы тока, напряжения и сопротивления в «А», «В», «Ом». Например, $91 \text{ МВ} = 91 \cdot 10^6 \text{ В} = 91\,000\,000 \text{ В}$ (таблица 2).

Таблица 2

Сила тока, А	Напряжение, В	Сопротивление, Ом
10 мкА =	18 мВ =	360 мОм =
250 мА =	24 кВ =	62 кОм =
0,3 кА =	0,25 МВ =	1,5 МОм =

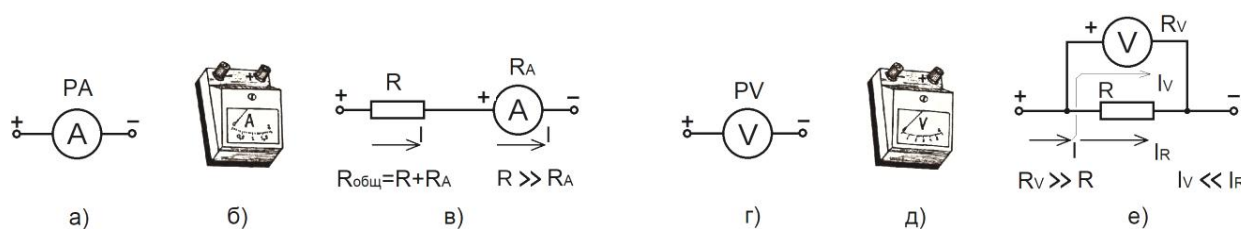
§ 3-3. АМПЕРМЕТР – ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА, ВОЛЬТМЕТР – ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Подробнее с электроизмерительными приборами познакомимся позже в главе 7. Пока рассмотрим правила их использования для измерений электрических величин.

Амперметр (рис. а, б) предназначен для измерения силы тока, а вольтметр (рис. г, д) – напряжения.

Амперметр имеет малое сопротивление (сотые доли ома), и его включают в разрыве цепи, где нужно измерить силу тока (рис. в). Весь ток, текущий по участку R , проходит через амперметр.

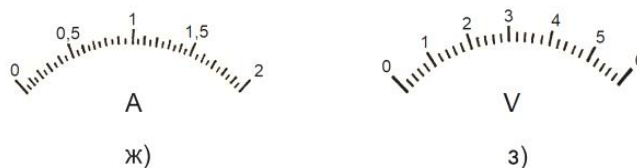
Вольтметр имеет большое сопротивление (несколько тысяч Ом) и включается к концам измеряемого участка без его разрыва (рис. е). Через него протекает только малая часть тока, разветвлённая от участка R .



На рисунках ж, з приведены шкалы школьных амперметра и вольтметра. Определим их пределы измерения и цены деления.

Предел измерения измерительного прибора – это наибольшее значение измеряемой им величины. Например (рис. ж, з), амперметром можно измерить силу тока до 2 А, а вольтметром – напряжение до 6 В.

Цена деления прибора – это значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора.



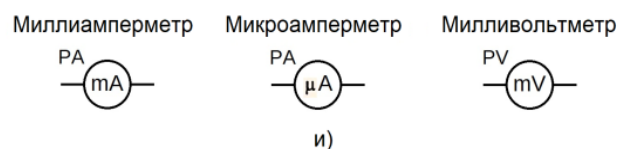
Важные сведения об используемых измерительных приборах можно узнать по условным знакам, нанесенным на их шкалах.

Они обозначают (таблица):

Таблица

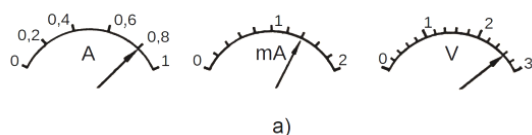
	Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой; принцип работы прибора основан на взаимодействии рамки, по которой течет ток, с постоянным магнитом
	Электромагнитный прибор с механической противодействующей силой
	Прибор предназначен для измерения постоянного тока, текущего по цепи только в одном направлении; например, тока от гальванического элемента, батареи, аккумулятора, у которых один вывод всегда "+", другой "-"
	Прибор предназначен для измерения переменного тока, периодически меняющего направление своего течения в цепи; например, сетевой ток, применяемый в быту, по электроприборам 50 раз в секунду течёт в одну сторону, столько же раз в другую
	Прибор предназначен для измерения постоянного и переменного токов
	Рабочее положение прибора горизонтальное
	Рабочее положение прибора вертикальное
	Рабочее положение прибора под углом 30 градусов к горизонту
	Между корпусом магнитоэлектрической системы прибора напряжение не должно превышать значения в киловольтах, указанного в звёздочке; данный прибор испытан напряжением 2000 В.
4	Число, показывающее погрешность измеряемой величины в процентах; у данного прибора 4 %

Для измерения дольных единиц силы тока в миллиамперах и микроамперах и напряжения в милливольтках предназначены миллиамперметры, микроамперметры и милливольтметры. Их условные графические обозначения показаны на рисунке и.



Помните, что это очень чувствительные приборы и работать ими нужно с большой осторожностью: заведомо надо быть уверенным, что измеряемая величина не превышает предела измерения прибора.

Задание 3-3-1.



1. Посмотрите на используемые вами стрелочные измерительные приборы (амперметр и вольтметр) и расшифруйте условные знаки на шкалах.

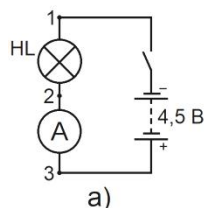
2. Определите их предел измерения и цену деления.

3. Определите цену деления и показания приборов, приведенных на рис. а.

Задание 3-3-2.

1. Измерьте силу тока в лампе (рис. а, фото 1).

2. Измерьте напряжение батареи элементов (рис. б, фото 2).



а)

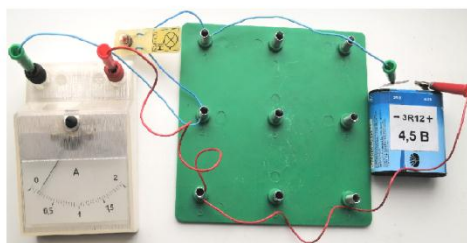
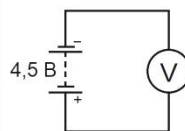


Фото 1



б)

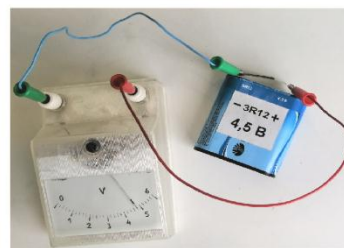


Фото 2

§ 3-4. ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР – УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

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 (М830В, М832, М838), рекомендуемые для использования учащимися при выполнении физического эксперимента (кратковременных опытов, лабораторных работ, физического практикума).

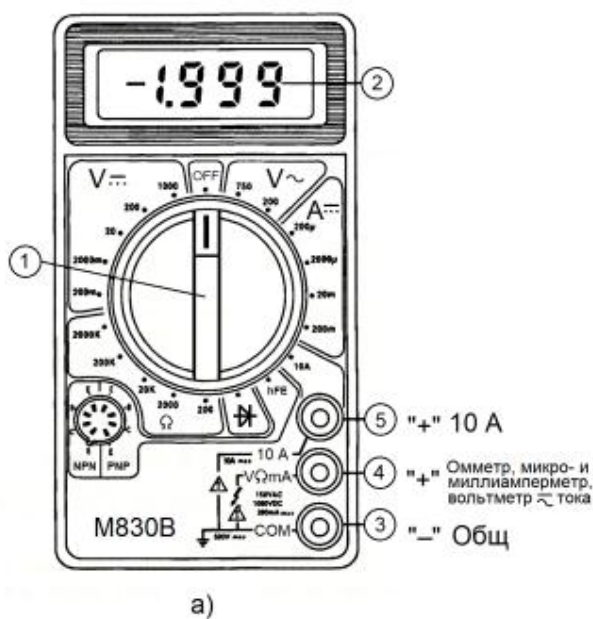
Мультиметры серии М83 (рис. а, фото 1) представляют собой портативный (70 x 126 x 24 мм, 170 г) электроизмерительный прибор с цифровым мультиметром с 3,5-разрядным жидкокристаллическим индикатором (дисплеем) 2 (максимальное индуцируемое число 1999) с батарейным питанием.

Эти мультиметры предназначены для измерения постоянного (сектор V-) и переменного (сектор V~) напряжений, постоянного тока (сектор A-), сопротивления (сектор Ω), проверки целостности диодов и транзисторов (сектор ⇨), коэффициента усиления транзисторов (сектор hFE).

Мультиметр М832 имеет еще функцию проверки (прозвонки) цепей на обрыв (сектор •))) и содержит генератор сигналов для испытания усилительных цепей (сектор □□).

У мультиметра М838 генератор сигнала отсутствует, но им можно измерить температуру тел в диапазоне (-40...+1370) °C (сектор °C).

Режим работы прибора переключается ручкой 1.



а)



Фото 1

Задание 3-4-1. Учитель измерять сопротивление резисторов омметром, входящим в состав мультиметра.

1. Подготовьте мультиметр для измерения сопротивления:

- подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо).

- 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. Возможно, что на пределах «200» и «2000» у вас вместо последнего нуля будет какое-то число, что допускается.

2. Измерьте сопротивление постоянных резисторов. Установите переключатель функций на требуемый диапазон сектора «Ω» и присоедините концы щупов к концам резистора (рис. а, б, в, г). По показанию дисплея определите сопротивление резистора.

3. Сравните показание омметра с сопротивлением резистора по надписи на площадках, на которых они установлены. Помните о том, что погрешность измерения составляет $\pm 1,0\%$, а погрешность резисторов $\pm 5,0\%$.

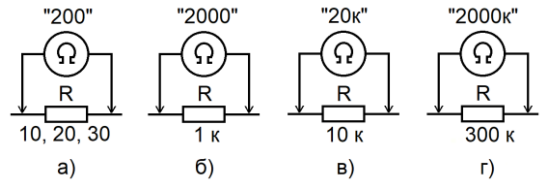


Фото 1

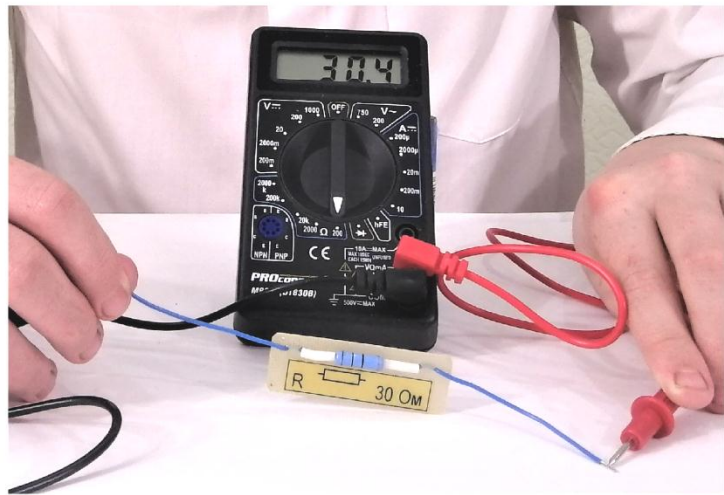


Фото 2

Задание 3-4-2. Учитесь измерять напряжение постоянного тока вольтметром, входящим в состав мультиметра.

1. Подготовьте мультиметр для измерения постоянного напряжения. Для этого подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. а, фото 1, фото 2).

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

3. Измерьте напряжение (ЭДС) «пальчикового» элемента, установив переключатель рода работ сначала на предел «20 В». Для этого 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.

4. Произведите измерение постоянного напряжения других прилагаемых источников питания.

5. Измерьте напряжение на участке цепи. Соберите цепь по рисункам б, в и поочередно измерьте напряжение на участках R и HL, используя мультиметр как вольтметр постоянного тока.

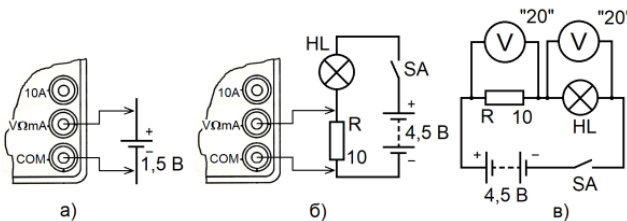




Фото 1

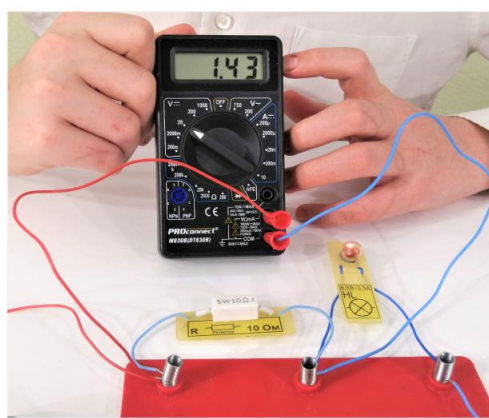


Фото 2

Задание 3-4-3. Учись измерять силу постоянного тока амперметром, входящим в состав мультиметра.

Внимание!

- Мультиметр в качестве амперметра (миллиамперметра, микроамперметра) включается в цепь только последовательно с участком, где измеряется сила тока. Непосредственное включение щупов к источнику тока не допускается. Это вызовет короткое замыкание, что может привести к выходу из строя и мультиметра, и источника питания.

- **Только!** для измерения силы постоянного тока в диапазоне от 200 мА до 10 А красный провод включается в верхний разъем «10А» (фото, рис. а). При остальных измерениях силы тока в диапазонах 200μ (200 мкА), 2000μ (2000 мкА), 20m (20 мА), 200m (200 мА) красный провод включается в средний разъем «VΩmA», о чем будет описано в главе 7.

- Время измерения силы тока на пределе «10 А» не должно быть более 15 секунд, т.е. амперметр (мультиметр) не оставляйте включенным в цепь.

1. Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока до 10 А. Подключите один провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а другой к разъему «10А» (верхнее гнездо) рис. а, (фото 1, 2).

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

3. Соберите электрическую цепь и произведите измерение силы тока в лампе (рис. а, б).

4. Повторите измерения, изменив полярность включения щупов в цепь, и объясните причину появления знака «-» на дисплее.

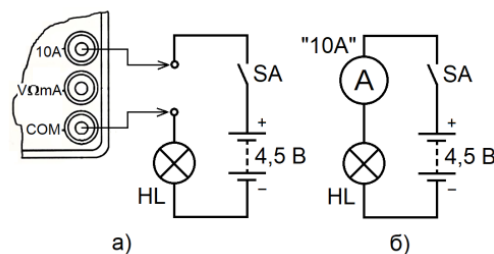


Фото 1

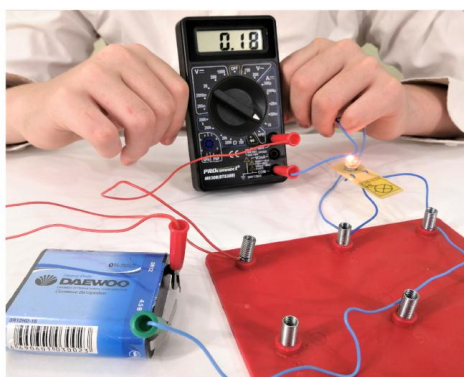


Фото 2

§ 3-5. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА ЗАВИСИТ ОТ РОДА МАТЕРИАЛА И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

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

Сопротивление проводника R должно зависеть от его длины l : 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, т.е. от структуры строения кристаллической решетки.

Итак, наша теоретическая гипотеза: $R = \rho \frac{l}{S}$.

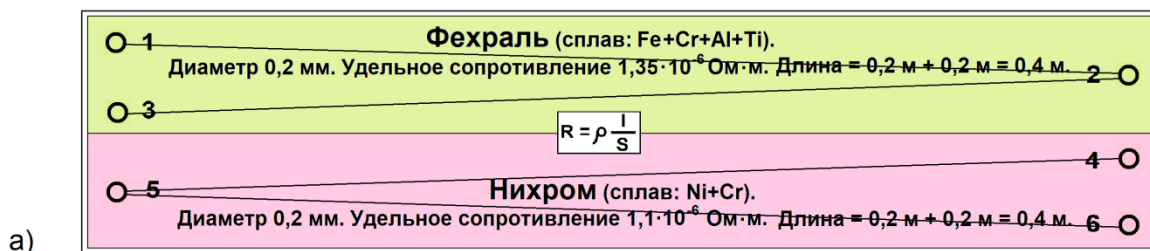
Величину ρ назовем удельным сопротивлением проводника: она характеризует электропроводные свойства материала. Единица ее измерения Ом·м или $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Контрольные вопросы.

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?

Задание 3-5-1. Изучите зависимость сопротивления проводника от длины.

1. Изучите расположение фехралевого и нихромового проволок на приставке и информацию на ней.



2. Соберите цепь (рис. б, в), где в качестве проводника R используйте приставку с фехральной проволокой (выводы 1-2-3).

3. Занесите в таблицу показания измерительных приборов при длине проводника l (20 см, выводы 1-2) и удвоенной длине $2l$ (40 см, выводы 1-3) при неизменном напряжении на нём 4,5 В.

4. Вычислите сопротивление для каждого случая и сделайте вывод о том, как оно зависит от длины проводника.

5. Повторите опыт без измерительных приборов, включив последовательно с исследуемым проводником лампу накаливания (рис. в, г). Выходное напряжение источника питания установите так, чтобы при использовании всей длины проводника (выводы 1 – 3) лампа горела еле заметным накалом. Об уменьшении сопротивления проводника при уменьшении его длины судите по увеличению яркости лампы.



Задание 3-5-2. Изучите зависимость сопротивления проводника от сечения.

1. Соберите цепь (рис. а, б), где в качестве проводника R используйте приставку с фехральной и нихромовой проволоками.

2. По показаниям приборов вычислите сопротивление проводника при площади сечения S и длине $l = 20$ см (используются выводы 1 и 2, рис. б).

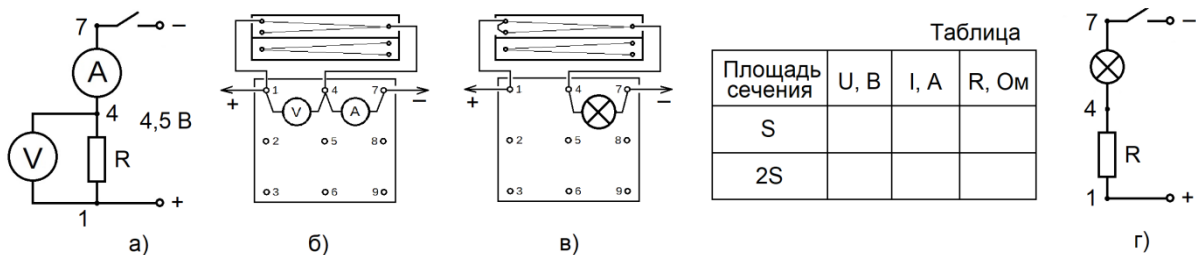
3. Вычислите сопротивление проволоки при удвоенной площади сечения $2S$ (используются выводы 1 и 3, соединенные вместе коротким проводником, и вывод 2 (рис. в) при той же длине l).

Результаты опыта занесите в таблицу.

Сделайте вывод о том, как сопротивление проводника зависит от его площади сечения.

4. Повторите опыт без измерительных приборов, включив последовательно с исследуемым проводником лампу накаливания (рис. г). Выходное напряжение источника питания установите так, чтобы при сечении проводника S лампа горела еле заметным накалом.

Об уменьшении сопротивления проводника при увеличении его сечения судите по усилению накала лампы.



§ 3-6. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ ПОКАЗЫВАЕТ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ТОКОМ, НАПРЯЖЕНИЕМ И СОПРОТИВЛЕНИЕМ

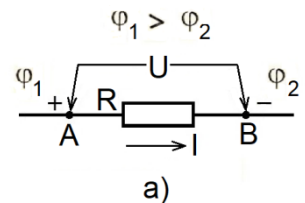
Если на концах участка цепи АВ сопротивлением R имеется разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$, которую в данном случае по-другому называют напряжением, то по нему течет ток I (рис. а).

Между силой тока I , напряжением U и сопротивлением R существует такая связь: $I = \frac{U}{R}$, где: I - сила тока, А; U - напряжение,

В; R - сопротивление, Ом.

Эта связь установлена Г. 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 выводятся формулы для вычисления: напряжения $U = IR$; сопротивления $R = \frac{U}{I}$.



Задание 3-6-1. Определите номинальное сопротивление лампы накаливания.

На цоколе лампы накаливания (рис. а) обычно указывают рабочие (номинальные) значения напряжения и силы тока. На этой лампе нанесены: *МН 6,3V x 0,3 A*. По этим данным вычислите номинальное сопротивление лампы.



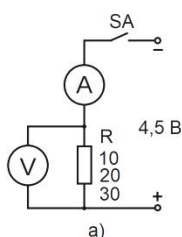
а)

Задание 3-6-2. Убедитесь в справедливости закона Ома.

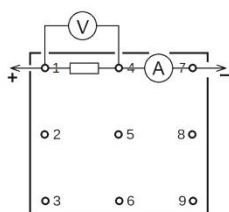
1. Соберите электрическую цепь (рис. а, б, фото), в которую поочерёдно включайте проводники (резисторы) сопротивлениями 5 Ом, 10 Ом, 20 Ом, поддерживая напряжение источника питания 4,5 В.

2. Для каждого опыта значения напряжения, силы тока, сопротивления проводника занесите в таблицу.

3. По результатам эксперимента убедитесь в справедливости закона Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$.

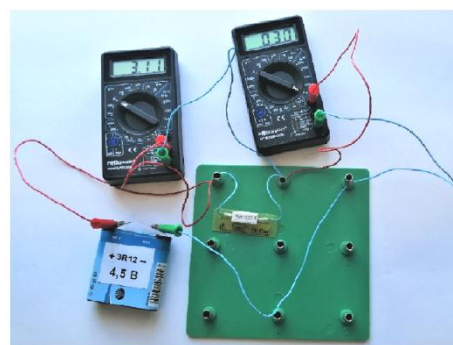


а)



б)

Таблица			
№ опыта	U, В	R, Ом	I, А
1			
2			
3			



Фото

§ 3-7. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ ПОКАЗЫВАЕТ ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ ЭДС ИСТОЧНИКА И ОБЩЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

На рис. а показана полная электрическая цепь. Она составлена 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 потенциал «+» а на другом – отрицательный потенциал «-».

Если к источнику питания нагрузка (внешняя цепь) не подключена, то разность потенциалов (по-другому напряжение) между электродами равна ЭДС 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 внешней цепи (лампы) в ней под действием ЭДС возникает электрическое поле, которое создает направленное движение зарядов – электрический ток.

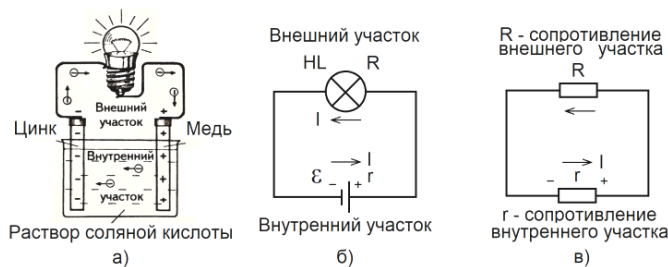
Итак, на внутреннем участке цепи ток течет за счет химической энергии, а на внешнем – электрической энергии.

Обозначим: R – сопротивление внешнего участка; r – сопротивление внутреннего участка.

Закон Ома для полной цепи имеет вид:

$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$, где: I - сила тока, А; $\mathcal{E}$ - ЭДС, В; $R + r$ - полное сопротивление цепи, Ом.

На рис. б показана принципиальная схема реальной электрической цепи, изображенной на рис. а. На рис. в представлена её эквивалентная схема, т.е. такая схема, которая замещает реальную схему в упрощенном виде с теми же физическими принципами работы, но помогает лучшему пониманию процесса происходящих явлений.

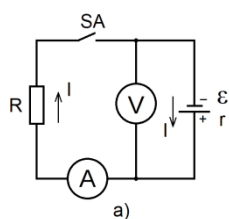


На эквивалентной схеме видно, что внешнее сопротивление R включено последовательно с сопротивлением источника напряжения, которое называется внутренним и обозначается r . На эквивалентной схеме внутреннее сопротивление r представляет собой источник напряжения.

Обратите внимание на то, что на внешнем участке цепи R ток течет от потенциала «+» к потенциалу «-» под действием сил электрического поля, создаваемого источником ЭДС. На внутреннем участке r ток течет от электрода «-» источника напряжения к электроду «+». Здесь заряды перемещаются под действием сторонних сил неэлектрического происхождения.

§ 3-8. ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

На рис. а собрана электрическая схема, состоящая из внутреннего участка (внутри источника напряжения) сопротивлением r и внешнего участка сопротивлением R .



В этой конструкции вольтметр при включенном ключе показывает одно напряжение, а при выключенной внешней цепи – другое напряжение, меньше первоначального. Почему?

По закону Ома для замкнутой цепи имеем: $\mathcal{E} = IR + Ir = U_1 + U_2$, где:

$U_1 = IR$ – часть ЭДС (падение напряжения или разность потенциалов), приходящаяся на внешний участок сопротивлением R ;

$U_2 = Ir$ – часть ЭДС, приходящаяся на внутренний участок источника питания сопротивлением r .

Вольтметр при отключенном ключе показывает ЭДС питания $\mathcal{E} = U_1 + U_2$. При включенном ключе он измеряет напряжение на внешнем участке цепи R : $U_1 = IR$.

Задание 3-8-1. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление элемента.

Количественные данные эксперимента занесите в таблицу.

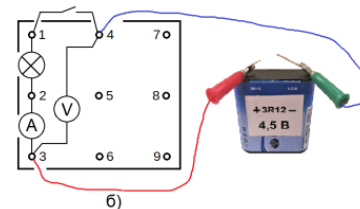
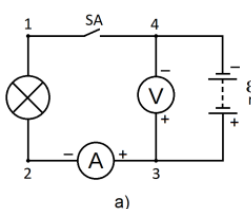
1. Определите ЭДС $\mathcal{E}$ элемента по показанию вольтметра при отключенной внешней цепи.

2. Включите цепь и измерьте напряжение на внешнем участке U .

3. Определите внутреннее сопротивление элемента по формуле

$$r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}.$$

4. Определите ток короткого замыкания элемента по формуле $I_{кз} = \frac{\mathcal{E}}{r}$. Объясните опасность короткого замыкания для источников тока.



Примечание. Короткое замыкание – это непосредственное соединение выводов источника напряжения при нулевом сопротивлении внешнего участка ($R = 0$), когда по цепи идет максимальный ток, сила которого определяется только внутренним сопротивлением r .

Задание 3-8-2. Определите напряжение на внутреннем участке источника тока.

1. Соберите цепь (рис. а, б).
 2. По показанию вольтметра при разомкнутом ключе определите ЭДС источника тока $\mathcal{E}$.
 3. Включите цепь и вольтметром измерьте напряжение на внешнем участке (лампе) IR .
 4. По разности показаний вольтметра в обоих случаях определите напряжение Ir , приходящееся на внутренний участок источника тока.
- Результаты опыта занесите в таблицу.

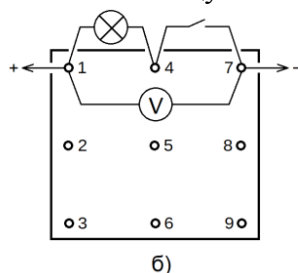
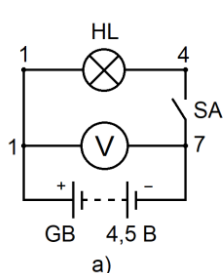


Таблица		
$\mathcal{E} = IR + Ir$, В	$U_{\text{внеш}} = IR$, В	$U_{\text{внут}} = Ir$, В

Задание 3-8-3. Исследуйте зависимость напряжения на внутреннем участке цепи от сопротивления внешнего участка.

Результаты исследования занесите в таблицу.

1. Соберите цепь (рис. а, б).
2. В качестве внешнего участка R включайте поочередно резисторы сопротивлением 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом. Для каждого случая определите:
 - ЭДС $\mathcal{E}$ по показанию вольтметра при разомкнутом ключе;
 - напряжение на внешнем участке $U_{\text{внеш}}$ по показанию вольтметра при замкнутом ключе;
 - напряжение на внутреннем участке источника по формуле: $U_{\text{внут}} = Ir = \mathcal{E} - U_{\text{внеш}}$.
3. Сделайте вывод о том, как напряжение на внутреннем участке цепи зависит от сопротивления внешнего участка?

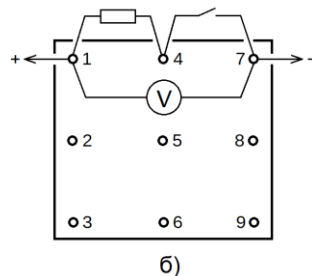
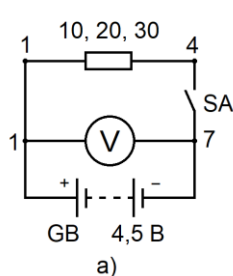


Таблица			
R, Ом	$\mathcal{E} = IR + Ir$, В	$U_{\text{внеш}} = IR$, В	$U_{\text{внут}} = Ir$, В

Задание 3-8-4. Определите ЭДС, внутреннее сопротивление и ток короткого замыкания источника тока.

Результаты исследования занесите в таблицу.

1. Соберите цепь (рис. а, б).
2. По показанию вольтметра при разомкнутом ключе определите ЭДС $\mathcal{E}$ источника тока.
3. Включите цепь и определите силу тока и напряжение на внешнем участке.

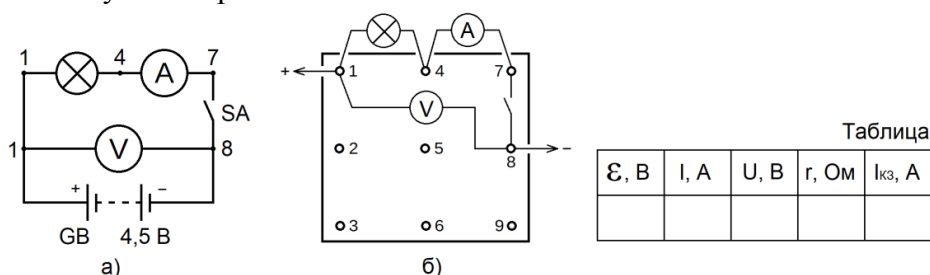
4. По формуле закона Ома для замкнутой цепи ($\mathcal{E} = IR + Ir = U + Ir$) определите внутреннее сопротивление источника тока: $r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}$.

5. Определите ток короткого замыкания элемента по формуле $I_{кз} = \frac{\mathcal{E}}{r}$. Объясните опасность короткого замыкания для источников тока.

Примечание. Короткое замыкание – это непосредственное соединение выводов источника напряжения без внешнего участка ($R = 0$), когда по цепи идет максимальный ток, сила которого определяется только внутренним сопротивлением r .

Короткое замыкание опасно для источника тока и электрической цепи.

Избегайте случаев короткого замыкания!



Задание 3-8-5. Определите внутреннее сопротивление и ЭДС источника тока.

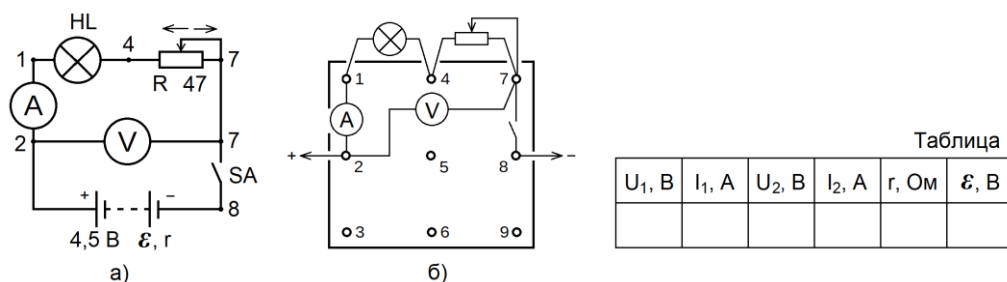
Результаты исследования занесите в таблицу.

1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. Снимите показания измерительных приборов при двух положениях движка переменного резистора, когда он находится по рисунку: а) ближе к левому краю; б) около среднего положения.

3. С учетом того, что во время эксперимента ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока остаются неизменными, запишите формулу ЭДС для двух положений движка переменного резистора: $\mathcal{E} = U_1 + I_1 r$; $\mathcal{E} = U_2 + I_2 r$. Приравняв правые части формул, определите значение внутреннего сопротивления r .

4. По известному значению внутреннего сопротивления вычислите ЭДС источника тока.



Контрольные вопросы.

1. Как определяют на практике ЭДС источника тока?

2. Как рассчитывают ЭДС?

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» батареи элементов? Вашу гипотезу проверьте экспериментально.

5. В чем заключается опасность короткого замыкания для источников питания?

§ 3-9. ЗАКОНЫ КИРХГОФА ПОЗВОЛЯЮТ РАССЧИТАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ В СЛОЖНЫХ ЦЕПЯХ

Рассмотренные выше законы Ома устанавливают взаимосвязь между силой тока, напряжением и сопротивлением для простых замкнутых одноконтурных цепей. Но на практике чаще всего встречаются разветвлённые цепи, содержащие несколько контуров и узлов, которые затруднительно описать по законам Ома.

Немецкий учёный Густав Кирхгоф в 1847 году для расчёта силы тока и напряжения в сложных электрических цепях сформулировал два правила, известные как законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа гласит, что алгебраическая сумма токов всех ветвей, которые сходятся в один узел электрической цепи, равняется нулю (по-другому – сумма всех токов, втекающих в узел, равна сумме всех токов, вытекающих из узла) (рис. а, узел А).

Току приписывается знак «+», если он направлен к узлу, и знак «-», если ток идёт в противоположную от узла сторону.

На основании того, что электрический ток представляет собой направленное движение зарядов (в металлах электронов), следует, что в замкнутой электрической цепи заряды нигде не накапливаются. Здесь уместно сравнение движения зарядов через узлы с движением воды в соединённых между собой трубопроводах – сколько притекает, столько же утекает.

Второй закон Кирхгофа устанавливает, что алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжения на всех элементах в этом контуре.

Под термином «алгебраическая сумма» подразумевается, что значения ЭДС и напряжений на участках берутся с разными знаками в зависимости от направления обхода контура. Знаки определяются по следующему алгоритму:

1) произвольно выбирается направление обхода контура (по ходу часовой стрелки или против);

2) произвольно выбирается направление токов через участки контура;

3) знаки ЭДС и напряжений на участках расставляются по следующим правилам:

- ЭДС считается положительной, если при движении по контуру в избранном направлении первым встречается отрицательный полюс источника тока;

- напряжение на участке считается положительным, если направление обхода контура совпадает с направлением тока в нём.

Рассмотрим применение законов Кирхгофа на примере разветвленной цепи (рис. а).

Имеется сложная цепь с двумя источниками ЭДС – $\mathcal{E}_1$ и $\mathcal{E}_2$ с внутренними сопротивлениями r_1 , r_2 с общей нагрузкой R . Установим связь между токами, ЭДС и напряжениями на участках.

Данная электрическая цепь состоит из трех контуров – внешнего и двух внутренних.

Выберем направление обхода внешнего и левого контуров по ходу часовой стрелки, а правого – против хода.

Согласно первому закону Кирхгофа для узла А составляем соотношение: $I_1 + I_2 = I$.

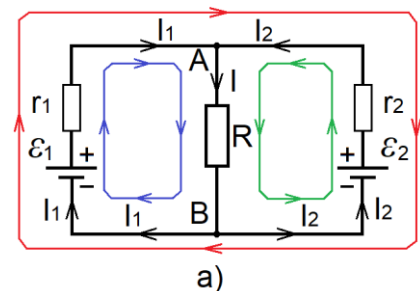
Используя второй закон Кирхгофа составим уравнения:

1) $\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = I_1 r_1 - I_2 r_2$ - для внешнего контура;

2) $\mathcal{E}_1 = I_1 r_1 + IR$ - для внутреннего левого контура;

3) $\mathcal{E}_2 = I_2 r_2 + IR$ - для внутреннего правого контура.

Если при решении задачи сила тока будет иметь отрицательный знак, то это означает, что он течёт в противоположную сторону, чем предполагали первоначально.



При решении конкретных задач количество используемых контуров выбирают так, чтобы число составленных уравнений равнялось числу неизвестных (искомых) величин, входящих в уравнения.

Каждый рассматриваемый контур должен содержать хотя бы один элемент, не содержащийся в предыдущих контурах.

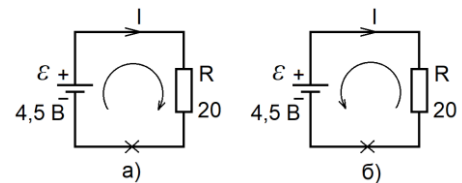
Законы Кирхгофа позволяют разбить сложные цепи на простые составные элементы с целью расчёта их по отдельности. Именно на основе законов Кирхгофа появились такие методы расчёта сложных электрических цепей, как «метод узловых потенциалов» и «метод контурных токов».

Ниже приведены примеры применения законов Кирхгофа при решении задач.

Примечание. Внутренние сопротивления источников тока, которые составляют менее одного ома, в заданиях не учитываются. В связи с этим, показания амперметров будут несколько отличаться от вычисленных.

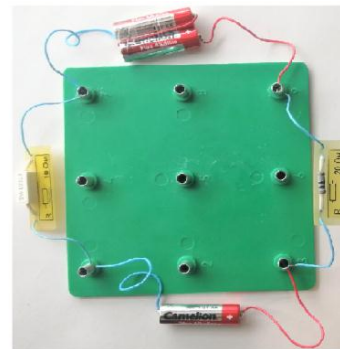
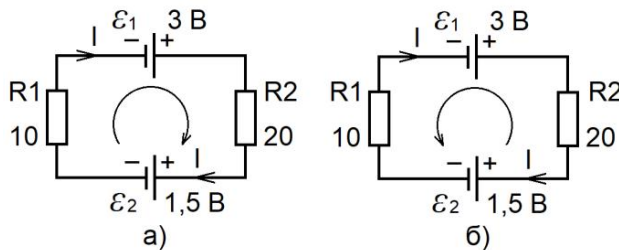
Задание 3-9-1. Определите силу тока в цепи, применив 2-й закон Кирхгофа и выбрав направление обхода контура: а) по часовой стрелке (рис. а); б) против часовой стрелки (рис. б).

Решение. Рис. а: $\varepsilon = IR, I = \frac{\varepsilon}{R} = 0,225 \text{ A}$. Рис. б: $-\varepsilon = -IR, I = \frac{\varepsilon}{R} = 0,225 \text{ A}$.



Правильность решения проверьте, измерив ток амперметром в местах, указанных крестиком.

Задание 3-9-2. Определите силу тока в цепи, содержащей два источника тока, при разных направлениях обхода контура (рис. а, б, фото).



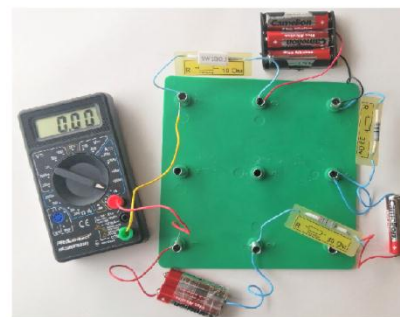
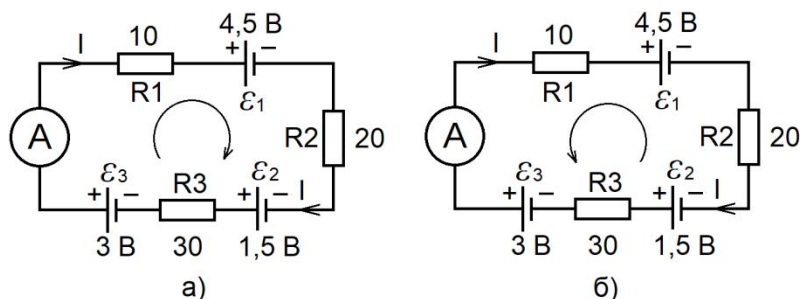
Фото

Решение. Рис. а: $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = IR_2 + IR_1 = I(R_2 + R_1); I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_2 + R_1} = 0,05 \text{ A}$.

Рис. б: $-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = -IR_1 - IR_2; \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = IR_2 + IR_1 = I(R_2 + R_1); I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_2 + R_1} = 0,05 \text{ A}$.

Вывод. Количественные результаты эксперимента не зависят от выбранного направления обхода контура.

Задание 3-9-3. Определите силу тока в цепи, содержащей три источника тока, при разных направлениях обхода контура (рис. а, б, фото).

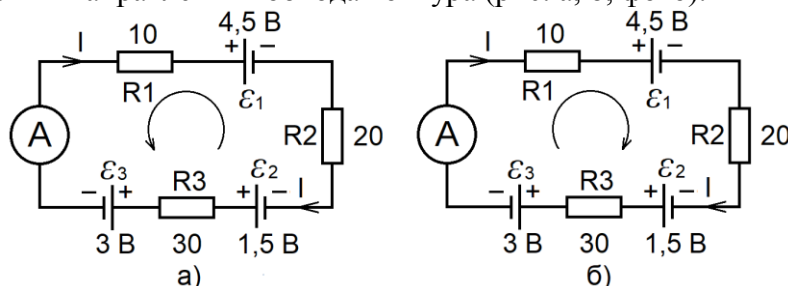


Фото

Решение. Рис. а: $-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$; $I = \frac{-\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{-4,5 + 1,5 + 3}{10 + 20 + 30} = 0$.

Рис. б: силу тока вычислите самостоятельно.

Задание 3-9-4. Определите силу тока в цепи, содержащей три источника тока и три резистора, при разных направлениях обхода контура (рис. а, б, фото).

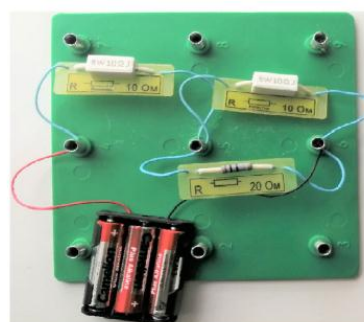
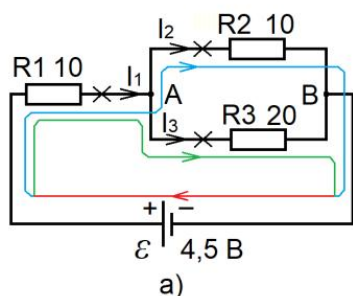


Решение. Рис. а: $\varepsilon_1 + \varepsilon_3 - \varepsilon_2 = -I(R_1 + R_2 + R_3)$; $I = -\frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2 + R_3} = -0,1 \text{ A}$.

Отрицательный знак силы тока означает, что он течет в противоположную сторону от указанного на схеме направления.

Рис. б: силу тока вычислите самостоятельно.

Задание 3-9-5. Определите силу тока в каждом из трёх резисторов, входящих в состав двухконтурной цепи (рис. а фото).



Фото

Решение. Рассмотренные выше задания содержали одноконтурные цепи с одной неизвестной величиной, для определения которой было достаточно составить одно уравнение. В данном задании необходимо определить три величины – I_1 , I_2 , I_3 , для чего нужно составить три уравнения.

Используя законы Кирхгофа составим систему из трёх уравнений:

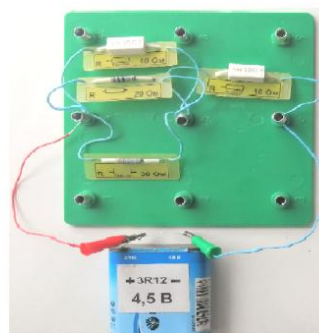
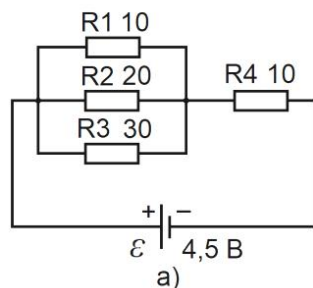
- для узла А: $I_1 = I_2 + I_3$;

- для контура ε , R_1 , R_2 : $\varepsilon = I_1 R_1 + I_2 R_2$;

- для контура $\mathcal{E}$, R_1 , R_3 : $\mathcal{E} = I_1 R_1 + I_3 R_3$.

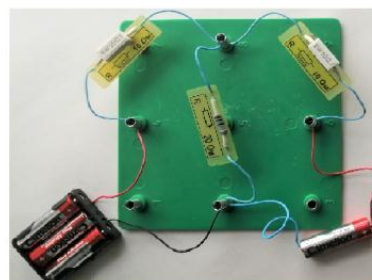
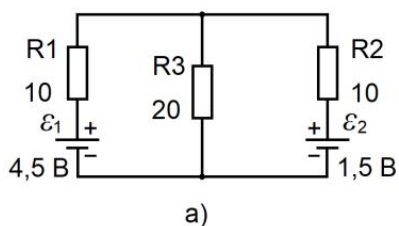
Совместное решение уравнений даёт следующие значения: $I_1 = 0,27$ А; $I_2 = 0,18$ А; $I_3 = 0,09$ А. В правильности решения можно убедиться, включив амперметр в местах, указанных крестиком и решив задачу, используя законы Ома.

Задание 3-9-6. Используя законы Кирхгофа, определите силу тока в каждом из четырёх резисторов, входящих в состав трёхконтурной цепи (рис. а, фото).



Фото

Задание 3-9-7. По заданным значениям элементов электрической цепи определите значения и направления токов, протекающих по резисторам (рис. а, фото).



Фото

§ 3-10. ЗАДАЧИ ОГЭ И ЕГЭ НА ЗАКОНЫ ОМА

Задача 1.

Для исследования силы тока, протекающего через резистор R_2 неизвестным сопротивлением, от напряжения на нем была собрана электрическая цепь (рис. а). Переменный резистор R_1 служит для регулирования напряжения. На какую величину ΔU необходимо увеличить напряжение для увеличения силы тока на $\Delta I = 0,1$ А? Приборы считать идеальными.

1. Соберите электрическую цепь, где обозначение резистора 10 Ом, сопротивление которого считается неизвестным, закройте ширмой.

2. Переменным резистором R_1 установите силу тока 0,2 А через резистор R_2 при некотором напряжении на нем U_2 , которое показывает вольтметр.

3. На какую величину ΔU надо увеличить напряжение для увеличения силы тока в цепи до 0,3 А?

4. Сопротивление участка R_2 вычислите по показаниям приборов согласно закону Ома

для участка цепи: $R = \frac{U}{I}$.

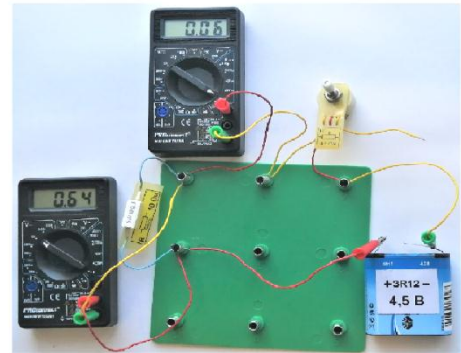
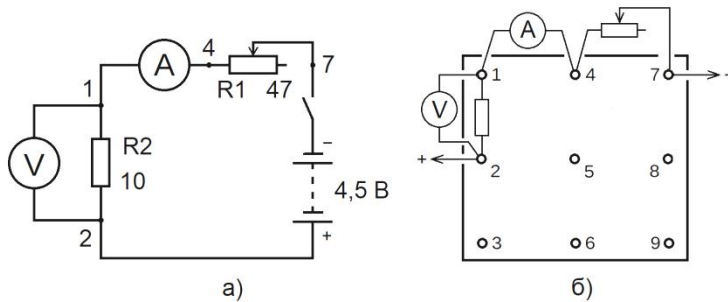
5. Уберите ширму над резистором и убедитесь в правильности расчета с учетом погрешностей приборов и резистора.

6. Искомое значение увеличения напряжения вычислите по формуле:

$$\Delta U = \Delta IR = \frac{\Delta IU}{I}$$

7. Справедливость вашего вычисления подтвердите экспериментом.

8. Для закрепления технологии решения аналогичных задач замените резистор R_2 резистором с другим сопротивлением (например, 20 Ом) и вычислите ΔU при другом значении ΔI .



Фото

Задача 2.

По аналогии с задачей предыдущего опыта составьте условие, в котором необходимо определить величину ΔI для увеличения показания вольтметра на ΔU при первоначально неизвестном сопротивлении резистора R_2 . Решите задачу аналитически и подтвердите правильность экспериментом.

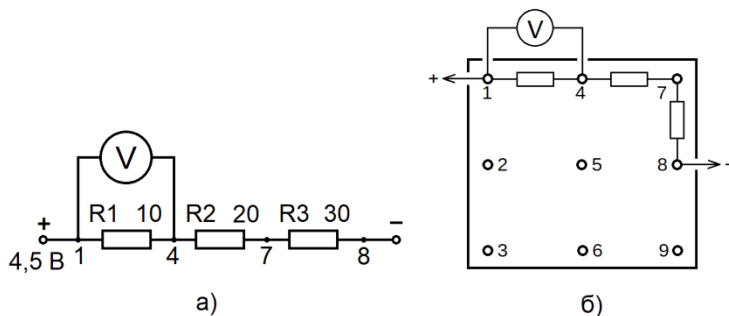
Задача 3.

Вольтметр, подключенный к резистору сопротивлением 10 Ом (рис. а) показывает некоторое напряжение. Вычислите напряжения на участках R_2 и R_3 , не подключая к ним вольтметра. Вычислите также сопротивление всей цепи и силу тока в ней.

1. Соберите цепь (рис. а). Численные данные эксперимента заносите в таблицу.

2. По показанию вольтметра и известному сопротивлению участка R_1 вычислите силу тока в цепи и напряжения на участках R_2 , R_3 , общее сопротивление R и силу тока в цепи.

3. Истинность результатов вычислений проверьте экспериментально, включив в цепь амперметр.

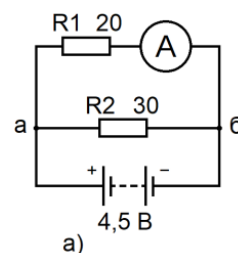


Таблица

U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	R , Ом	I , А

Задача 4.

Зная силу тока по показанию амперметра (рис. а) определите напряжение на резисторе R_2 . Сопротивлением амперметра пренебечь.



1. Соберите цепь и измерьте силу тока в резисторе R_1 .
2. По закону Ома для участка цепи определите напряжение на резисторе R_2 .
3. Вольтметром измерьте напряжение на резисторе R_2 (между точками ab) и убедитесь в правильности вашего расчета.

Задача 5.

Амперметр, включенный в последовательную цепь, составленную из трех участков $R_1 - R_3$ известными сопротивлениями, показывает некоторую силу тока. Определите напряжения, приходящиеся на участки, общее напряжение на всей цепи и общее сопротивление участков.

1. Соберите цепь (рис. а). Числовые данные эксперимента заносите в таблицу.
2. По показанию амперметра, согласно закону Ома для участка цепи, вычислите: напряжения на резисторах R_1 , R_2 , R_3 известными сопротивлениями, общее напряжение U и общее сопротивление R цепи.
3. Истинность результатов вычислений проверьте экспериментально, используя вольтметр.

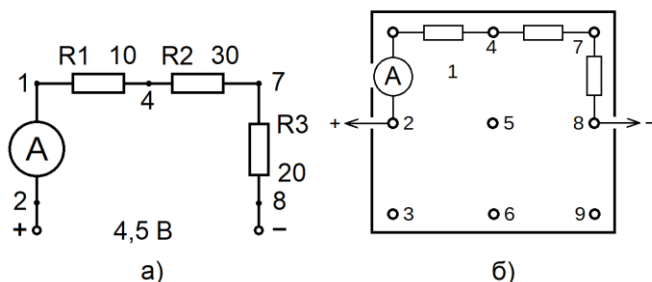


Таблица					
I, A	U ₁ , В	U ₂ , В	U ₃ , В	U, В	R, Ом

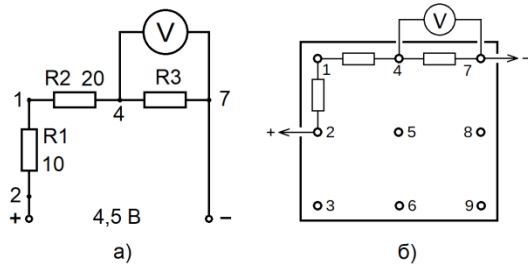
Задача 6.

Цепь (рис. а) состоит из трех последовательно соединенных резисторов, подключенных к источнику напряжением U 4,5 В. Напряжение на концах участка R_3 , сопротивление которого неизвестно, равно показанию вольтметра U_3 . Вычислите силу тока в цепи I , сопротивление R_3 и напряжения U_1 на R_1 и U_2 на R_2 , общее сопротивление цепи R .

1. Соберите цепь (рис. а, б), где значение сопротивления R_3 30 Ом закройте ширмой.
2. Зная общее напряжение U , определите суммарное напряжение на первых двух участках $U_1 + U_2$, не пользуясь вольтметром.

3. Вычислите силу тока в цепи:
$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2}.$$

4. По закону Ома для участка цепи определите остальные величины и заполните таблицу.



Таблица

U, В	I, А	U ₁ , В	U ₂ , В	U ₃ , В	R, Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом

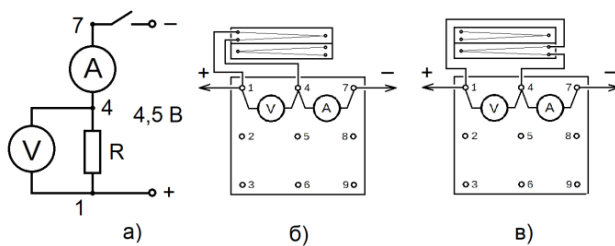
Задача 7.

Зная удельные сопротивления проводников из фехралья и нихрома (указаны на панели), вычислите, как соотносятся их сопротивления R_{ϕ} / R_x в зависимости от их удельных сопротивлений при одинаковой длине и площади поперечного сечения.

Вашу гипотезу проверьте, измерив их сопротивления согласно рис. а или омметром.

Результаты измерений занесите в таблицу.

1. Соберите цепь по рис. а, б и определите сопротивление фехралевого проводника.
2. Соберите цепь по рис. а, в и определите сопротивление нихромового проводника.
3. Сравните отношения сопротивлений проводников R_{ϕ} / R_x и удельных сопротивлений ρ_{ϕ} / ρ_x . Сделайте соответствующий вывод.



Таблица

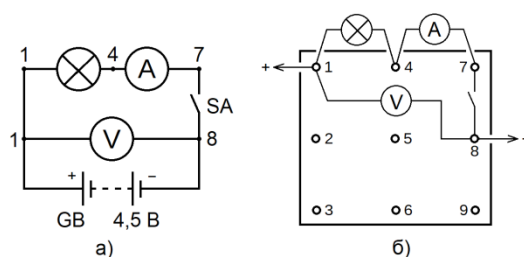
Материал	ρ , Ом·м	U, В	I, А	R, Ом	$\frac{R_{\phi}}{R_x}$	$\frac{\rho_{\phi}}{\rho_x}$
Фехраль						
Нихром						

Задача 8.

Определите ЭДС и внутреннее сопротивление гальванических источников постоянного напряжения.

1. Соберите цепь.
2. При выключенном внешнем участке по показанию вольтметра, включенного непосредственно к электродам источника питания, определите его ЭДС $\mathcal{E}$.
3. Включите цепь и по показаниям приборов определите внутреннее сопротивление r источника.
4. Согласно действиям пунктов 1 – 3 определите внутренние сопротивления других источников питания постоянного тока с ЭДС до 9 В – гальванических элементов или аккумуляторных батарей.

Числовые значения эксперимента занесите в таблицу.



Таблица

$\mathcal{E}$, В	I, А	U, В	r, Ом

Задача 9.

Полная цепь состоит из внешнего участка сопротивлением R и внутреннего участка сопротивлением r , которые соединены последовательно. Идеальный вольтметр, включенный непосредственно к источнику питания (рис. а), при выключенном ключе показывает ЭДС батареи $\mathcal{E} = IR + Ir$. Если включить внешний участок R через идеальный амперметр, вольтметр покажет напряжение на внешнем участке цепи, которое меньше первоначального показания на $Ir = \mathcal{E} - IR$.

Определите экспериментальным способом ЭДС, напряжение на резисторе R , силу тока в цепи I , внутренне сопротивление r .

1. Соберите цепь (рис. а) и установите все искомые величины, данные занесите в таблицу.

Последовательность ваших действий определите из условия задачи.

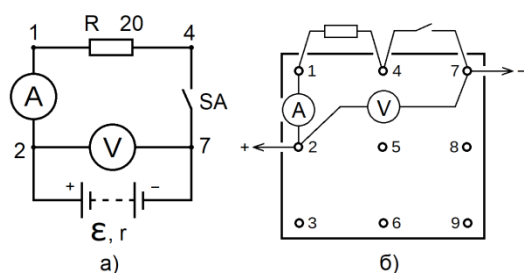
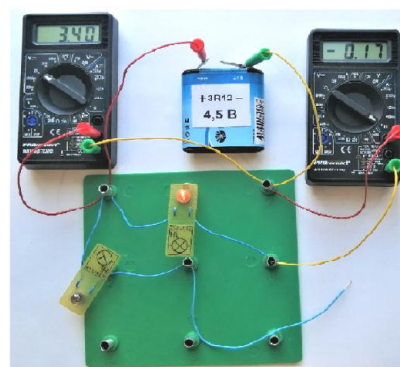
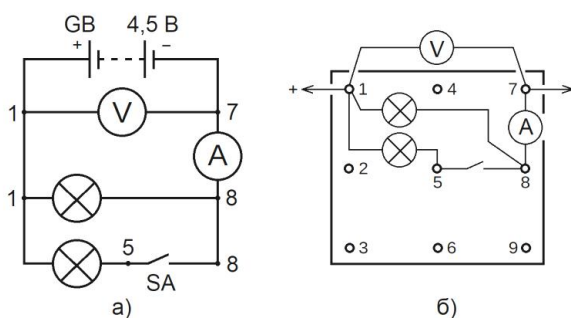


Таблица					
$R, \text{ Ом}$	$\mathcal{E} = IR + Ir, \text{ В}$	$U_{\text{внеш}} = IR, \text{ В}$	$U_{\text{внут}} = Ir, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$r, \text{ Ом}$

Задача 10.

Как изменятся показания амперметра и вольтметра при замыкании ключа SA (перемычки)?

1. Соберите цепь (рис. а, б, фото).
2. Предположите, как изменяются показания измерительных приборов, если замкнуть ключ.
3. Вашу гипотезу проверьте экспериментально.



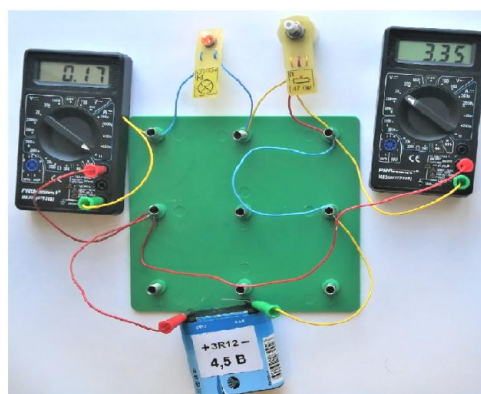
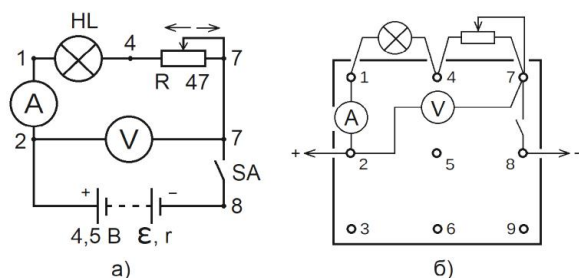
Фото

Задача 11.

Как изменятся показания амперметра и вольтметра при перемещении движка переменного резистора: а) влево; б) вправо?

1. Соберите цепь (рис. а, б).
2. Рассуждая теоретически, предположите, как будут изменяться показания амперметра и вольтметра при перемещении движка переменного резистора: а) влево по рисунку; б) вправо по рисунку.
3. Истинность или ложность вашей гипотезы проверьте с помощью эксперимента.

4. Объясните наблюдаемое явление, помня о том, что при изменении силы тока и напряжения во внешней цепи ЭДС и внутреннее сопротивление источника питания остаются неизменными.



Фото

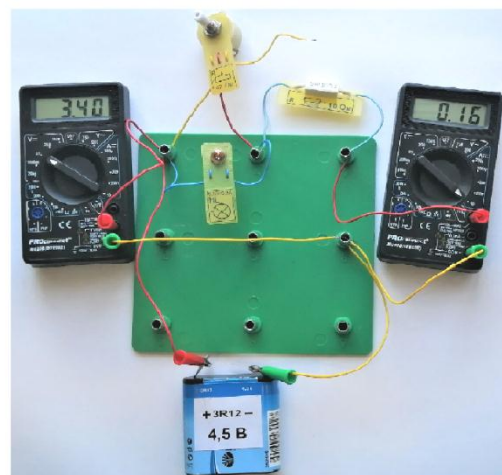
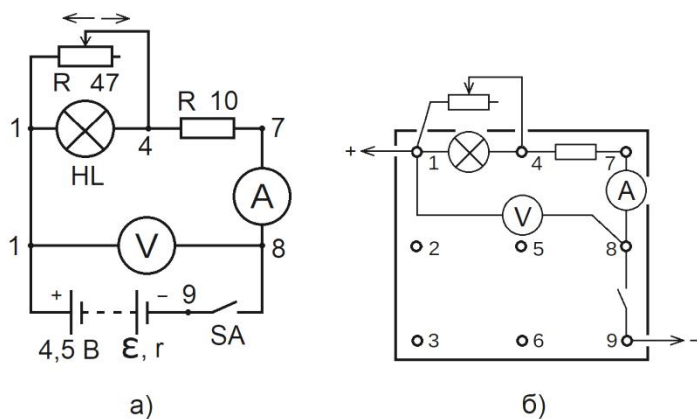
Задача 12.

Как будут изменяться показания приборов и яркость лампы, если движок переменного резистора перемещать по рисунку: а) влево; б) вправо?

1. Соберите цепь (рис. а, б, фото).

2. На основании закона Ома для полной (замкнутой) цепи объясните, как изменятся показания приборов и яркость лампы, если движок переменного резистора перемещать по рисунку: а) влево; б) вправо.

3. Выдвинутую вами гипотезу проверьте экспериментально и объясните наблюдаемое явление, сделайте вывод.



Фото

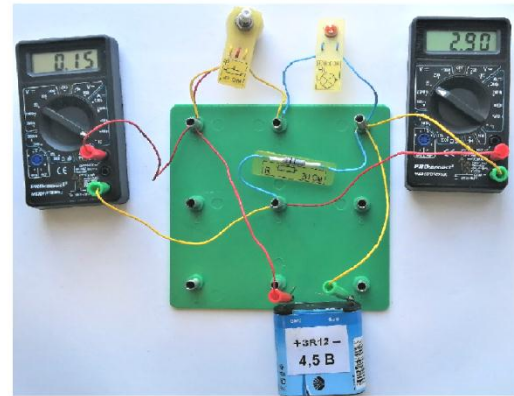
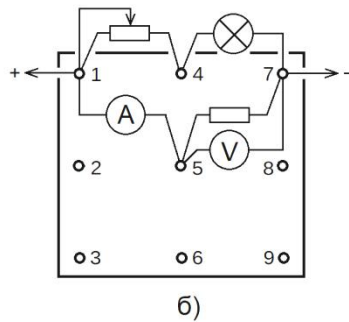
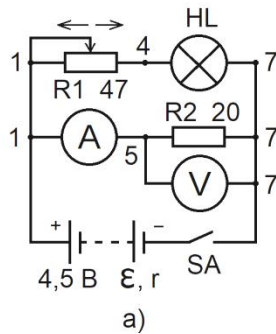
Задача 13.

Как будут изменяться показания приборов и яркость лампы, если движок переменного резистора перемещать по рисунку: а) влево; б) вправо?

1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. На основании закона Ома для полной (замкнутой) цепи объясните, как изменятся показания приборов и яркость лампы, если движок переменного резистора перемещать по рисунку: а) влево; б) вправо.

3. Выдвинутую вами гипотезу проверьте экспериментально и объясните наблюдаемое явление, сделайте вывод.

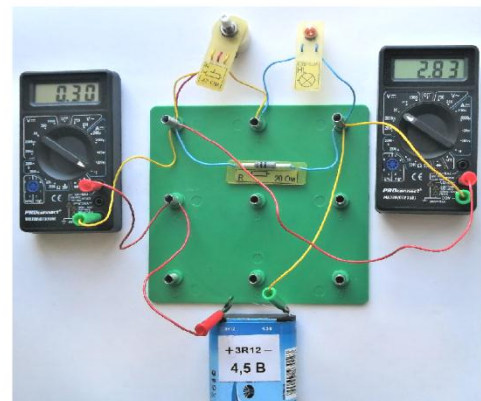
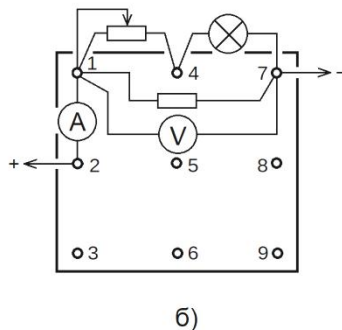
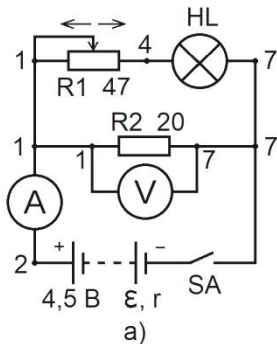


Фото

Задача 14.

Как будут изменяться показания приборов и яркость лампы, если движок переменного резистора перемещать по рисунку а: а) влево; б) вправо?

1. Соберите цепь (рис. а, б).
2. На основании закона Ома для полной (замкнутой) цепи объясните, как изменятся показания приборов и яркость лампы, если движок переменного резистора перемещать по рисунку: а) влево; б) вправо.
3. Выдвинутую вами гипотезу проверьте экспериментально и объясните наблюдаемое явление, сделайте вывод.



Фото

Задача 15.

Проведя необходимые измерения, определите во сколько раз сопротивление внешнего участка R больше (или меньше) сопротивления внутреннего участка электрической цепи, представленной на рис. а.

1. Соберите цепь и по показанию вольтметра, подключенного непосредственно к электродам источника питания, определите его ЭДС ε . Данные эксперимента заносите в таблицу.
2. Замкните ключ и по показанию вольтметра определите напряжение на внешнем участке IR .
3. По разности показаний вольтметра до включения и после выключения цепи определите напряжение на внутреннем участке цепи Ir .
4. Зная, что по последовательно соединенным внешнему и внутреннему участкам цепи протекает один и тот же ток, определите, во сколько раз n сопротивление внешнего участка R больше (или меньше) сопротивления внутреннего участка r : $n = R / r$.

5. Последовательно с резистором 10 Ом включите переменный резистор 47 Ом (рис. в) и, меняя его сопротивление, исследуйте изменение напряжений на внешнем и внутреннем участках и установите закономерную зависимость.

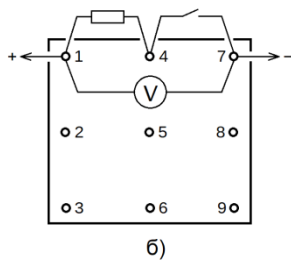
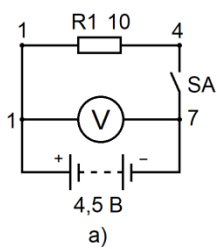
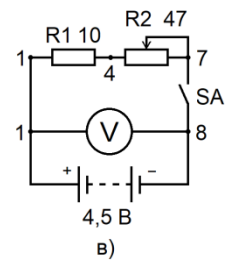
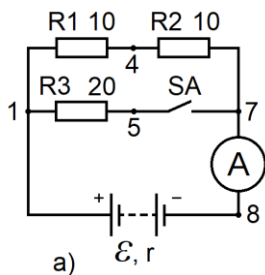
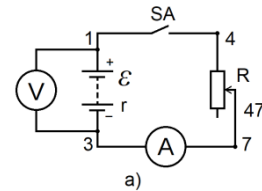


Таблица				
R, Ом	$\mathcal{E} = IR + Ir$, В	$U_{\text{внеш}} = IR$, В	$U_{\text{внут}} = Ir$, В	$n = IR / Ir$

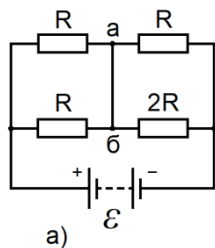
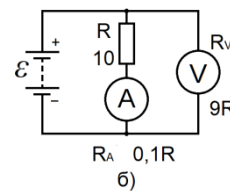
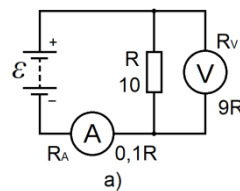


Задача 16*. Соберите цепь по рис. а и по показаниям приборов при двух разных положениях движка переменного резистора, вычислите внутреннее сопротивление батарейки и её ЭДС.



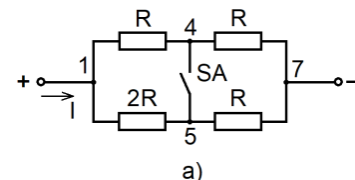
Задача 17*. Соберите цепь по рис. а и по показанию амперметра при замкнутой и разомкнутой перемычке SA определите внутреннее сопротивление и ЭДС батареи элементов.

Задача 18.** Резистор $R = 10$ Ом, амперметр сопротивлением $R_A = 0,1 R$ и вольтметр сопротивлением $R_V = 9R$ соединены в первый раз так, как показано на рисунке а, во второй раз - как на рисунке б, где вольтметр показывает $U_2 = 10$ В. Каково показание вольтметра U_1 в первом случае. Внутренним сопротивлением источника напряжения пренебречь.



Задача 19.** Найдите силу тока через перемычку ab в цепи, схема которого изображена на рисунке а. Указанные на схеме величины считать известными, а внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

Задача 20.** На сколько изменится сила тока, текущего через резистор $2R$, после замыкания ключа (перемычки) SA, если общий ток в цепи составляет I , как показано на рисунке а?



Ответы. **Задача 16:** с учетом того, что во время эксперимента ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока постоянны, составляется система уравнений $\mathcal{E} = U_1 + I_1 r$ и $\mathcal{E} = U_2 + I_2 r$, из которых вычисляются искомые величины. **Задача 18:** 9 В. **Задача 19:** $\mathcal{E} / (7R)$. **Задача 20:** $I / 15$.

4. РЕЗИСТОРЫ

§ 4-1. РЕЗИСТОРЫ – ЭТО СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ТОКУ

Резисторы применяют для регулирования силы тока и напряжения в цепях. В радиоэлектронных приборах они составляют большую часть всех деталей.

Резисторы могут быть постоянными (фото 1), т.е. обладать неизменным сопротивлением, и переменными, т.е. такими, сопротивления которых в процессе работы можно изменять в определенных пределах (фото 2).

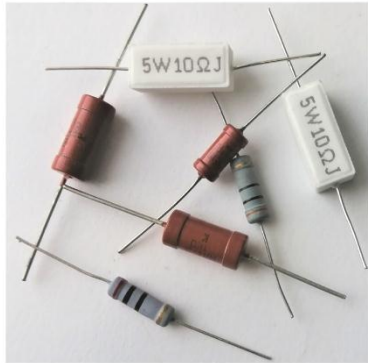


Фото 1

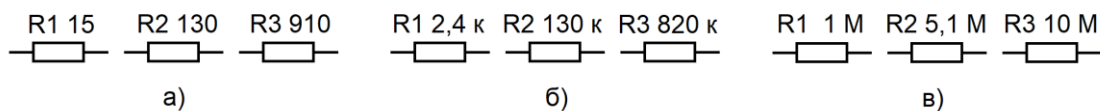


Фото 2

Сопротивления резисторов измеряют в омах – Ом, килоомах – кОм, мегаомах – МОм.

Между ними существуют следующие соотношения: $1 \text{ Мом} = 1000 \text{ кОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}$; $1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}$.

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

Допустимые отклонения сопротивления указаны в таблице 1.

Таблица 1

Буквы	В	С	Д	Е	Г	Ж	З	И	К
Допуск, %	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	30

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 таблица 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. г):

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;

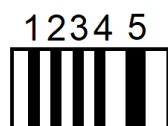
пятый знак — допустимое отклонение.

Если знаков 4, то они означают (рис. д):

первый знак — первую цифру значения сопротивления; второй знак — вторую цифру;

третий знак — множитель; четвертый знак — допустимое отклонение сопротивления.

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



г)



д)



е)

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

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).

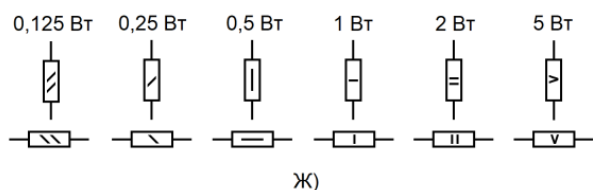
Резисторы, как и любые потребители электрической энергии, тоже рассчитаны на определенную мощность, которую надо учитывать при использовании их в конкретных конструкциях.

Таблица 2

Цвет знака	Значение цвета знака				Допуск, %
	Номинальное сопротивление, Ом				
	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	—

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 (рис. ж): 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, римская цифра 5 – 5 Вт.



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

Контрольные вопросы.

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?

Задание 4-1-1.

1. По таблице 1 ознакомьтесь с примерами расшифровки буквенно-цифровых маркировок.

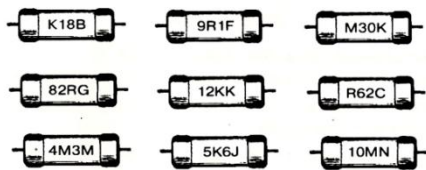
2. Расшифруйте надписи, нанесенные на резисторах (рис. а).

3. Зашифруйте сопротивление

Таблица 1

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

резисторов и их допуск, указанных в таблице 2, используя буквенно-цифровую маркировку.



а)

Таблица 2

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

Задание 4-1-2

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



а)

2. Зашифруйте маркировочные знаки резисторов, указанных в таблице.

Таблица

№	5 знаков			4 знака			3 знака		
1	Коричневый	Оранжевый	Голубой	Серый	Белый	Красный	Коричневый	Зелёный	Оранжевый
2	Белый	Оранжевый	Желтый	Красный	Коричневый	Желтый	Черный	Голубой	Белый
3	Серый	Зелёный	Красный	Оранжевый	Фиолетовый	Красный	Желтый	Голубой	Фиолетовый
4	Золотистый	Черный	Серебристый	Золотистый	Серебристый	Красный			
5	Фиолетовый	Голубой	Серый						

Задание 4-1-3. Изучите постоянные резисторы.

Заполните таблицу.

1. Ознакомьтесь с внешним видом трех постоянных резисторов, входящих в состав комплекта, например: 20 Ом, 10 кОм, 300 кОм.

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

3. Определите сопротивления этих же резисторов с помощью омметра.

4. Вычислите разность ΔR между маркировочным значением R_m и измеренным R_u . Объясните несоответствие значений сопротивлений R_m и R_u одного и того же резистора.

Таблица

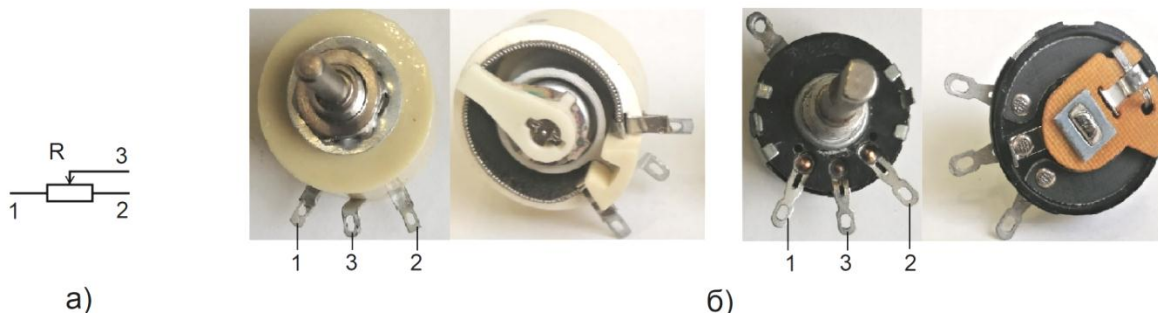
№ опыта	Сопротивление по маркировке R_m , Ом	Допуск по маркировке $\pm \Delta R_m$ %	Сопротивление по омметру R_u , Ом	$\Delta R = R_m - R_u$, Ом
1				
2				
3				

§ 4-2. ПЕРЕМЕННЫЙ РЕЗИСТОР СЛУЖИТ ДЛЯ ПЛАВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Кроме резисторов, имеющих неизменное сопротивление, в радиоаппаратуре широко используются переменные резисторы. Ими регулируются различные параметры электротехнических и радиоэлектронных устройств. Они бывают регулировочные и подстроечные.

Переменные резисторы чаще всего имеют три вывода, один из которых связан с подвижным контактом, скользящим по поверхности проводящего слоя (рис. а, б). Ползунок регулировочного резистора перемещают рукой посредством поворота выступающей ручки, построечного – отверткой, вставленной в прорезь.

Сопротивление между любым крайним выводом (1, 2) переменного резистора и подвижным контактом (3) зависит от положения движка (ручки).



Задание 4-2-1. Изучите принцип работы переменного резистора.

1. Возьмите переменный резистор и ознакомьтесь с его устройством; найдите основные узлы прибора.

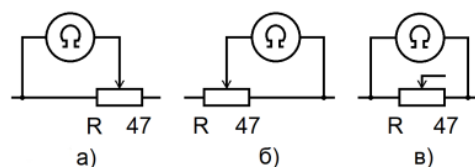
2. Подключите омметр к переменному резистору так, как показано на рис. а.

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. Повторите действия пунктов 2 - 3, переключив омметр так, как показано на рис. б.

6. Видоизмените цепь, присоединив щупы омметра к крайним выводам резистора, как указано на рис. в. Повторите действия, описанные в пункте 3. Объясните результаты наблюдаемого явления.

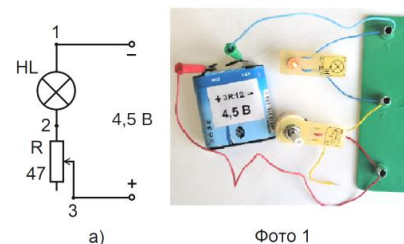


Задание 4-2-2.

1. Вращая ручку переменного резистора (меняя его сопротивление), следите за яркостью лампы (рис. а, фото 1).

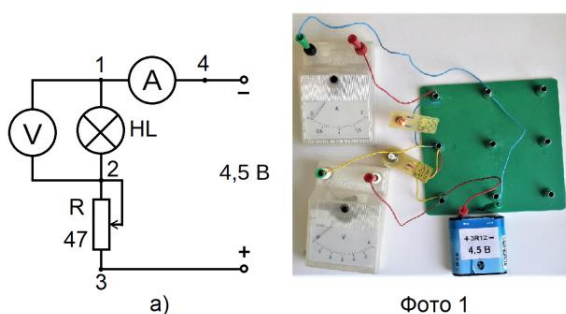
2. Включите переменный резистор в цепь другими выводами и, вращая ручку, следите за изменением силы тока.

3. По результатам исследований сделайте вывод.



Задание 4-2-3.

1. Меняя сопротивление переменного резистора, по показаниям приборов сделайте вывод о том, как сила тока в лампе зависит от напряжения на ней (рис. а, б).



2. Проверьте, как наблюдаемые результаты согласуются с формулой закона Ома $I = \frac{U}{R}$?

3. По формуле $R = \frac{U}{I}$ вычислите сопротивление лампы при разных показаниях приборов.

4. Сделайте вывод о том, как сопротивление нити лампы зависит от ее накала?

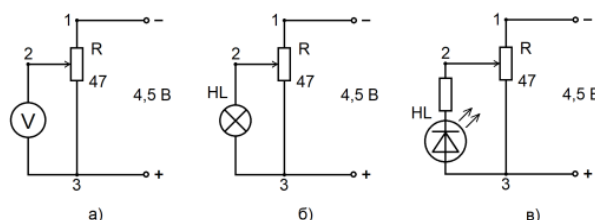
§ 4-3. ПЕРЕМЕННЫЙ РЕЗИСТОР МОЖЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ КАК ДЕЛИТЕЛЬ НАПЯЖЕНИЯ

Часто переменные резисторы используются для плавного изменения напряжения и силы тока, от которых зависят другие характеристики электротехнических устройств: скорость вращения двигателя, температура нагревания, громкость звука и т.д.

Задание 4-3-1.

На установках, собранных по рисункам а, б, в, перемещая движок резистора из одного крайнего положения в другое, следите за показанием вольтметра или яркостью свечения лампы и светодиода. Объясните наблюдаемое явление.

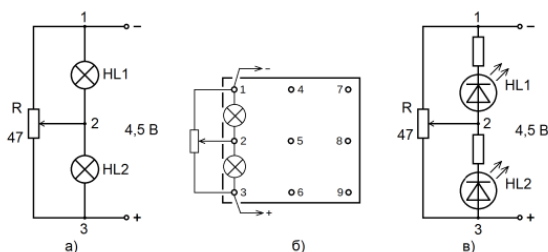
На крайние выводы регулировочного резистора (между точками 1 – 3) приходится все напряжение источника питания. На индикаторные приборы (вольтметр, лампа, светодиод) прилагается напряжение той части резистора, которая лежит между точкой 3 и ползунком 2.



Задание 4-3-2.

1. Соберите схемы по рисункам а, б, в и, перемещая ползунок от одного крайнего положения до другого, наблюдайте за изменением яркости ламп и светодиодов.

2. Объясните наблюдаемое явление.



Переменный резистор, используемый для регулирования напряжения, называется потенциометром или делителем напряжения. В этом можно убедиться, проведя следующее исследование.

Задание 4-3-3.

1. Соберите установку (рис. а).

2. Измеряя напряжения при трех разных положениях движка переменного резистора, убедитесь в том, что общее напряжение всегда равно сумме напряжений на разных плечах потенциометра: $U = U_1 + U_2$.

Данные эксперимента заносите в таблицу.

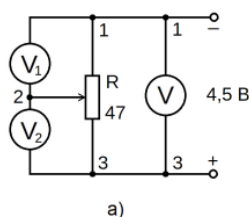


Таблица			
№	U_1 , В	U_2 , В	U , В
1			
2			
3			

Примечание. При отсутствии трех вольтметров все три измерения можно производить одним вольтметром посредством последовательного измерения U_1 , U_2 и U .

5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ И СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЯ УЧАСТКОВ ЦЕПИ

§ 5-1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ – СОЕДИНЕНИЕ, ПРИ КОТОРОМ КОНЕЦ ПРЕДЫДУЩЕГО ПРОВОДНИКА СОЕДИНЯЕТСЯ С НАЧАЛОМ ТОЛЬКО ОДНОГО ПОСЛЕДУЮЩЕГО ПРОВОДНИКА

Последовательным называют такое соединение, когда ток проходит по участкам цепи, соединенными друг за другом. Схема таких соединений двух участков дана на рис. а.

Приведенное выше определение позволяет предположить, что:

- сила тока в любых частях такой цепи одна и та же, т. е.

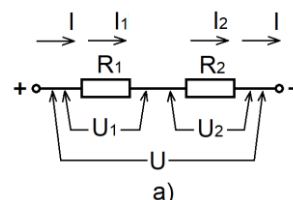
$$I = I_1 = I_2;$$

- 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.

$$R = R_1 + R_2.$$



Контрольные вопросы.

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 участков цепи какую связь можно ожидать между:

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

- общим сопротивлением цепи и сопротивлением отдельных ее участков?

4. Как объяснить с точки зрения теории, почему при последовательном соединении

$$I = I_1 = I_2, R = R_1 + R_2?$$

5. Как записывается закон Ома для участка цепи?

6. Как включают в электрическую цепь амперметр и вольтметр?

Задание 5-1-1.

1. Исследуйте распределение силы тока в последовательно соединённых участках.

1. Соберите цепь по рисункам а, 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.

4. Сравните полученные данные и сделайте вывод о том, как сила тока распределяется по последовательно соединённым участкам.

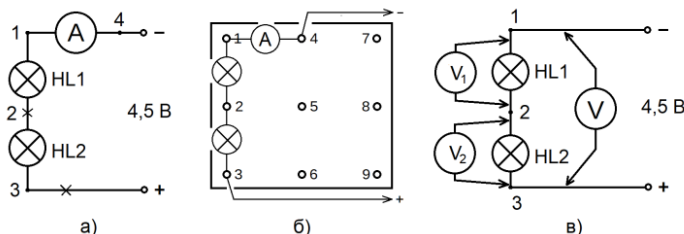


Таблица			
Физическая величина	Лампа HL1	Лампа HL2	Весь участок цепи
Сила тока, А			
Напряжение, В			
Сопротивление R, Ом			

2. Исследуйте распределение общего напряжения цепи между последовательно соединёнными участками.

1. Измерьте напряжение U_1 на лампе HL1, U_2 на лампе HL2 и общее напряжение U на них, поочередно подключая к ним вольтметр (рис. в).

2. Результаты измерений запишите во вторую строку таблицы.
3. Сравните значения напряжений и сделайте вывод о том, из чего складывается общее напряжение участков.

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

1. Используя закон Ома, вычислите сопротивления R_1 лампы HL_1 , R_2 – лампы HL_2 , R – общей цепи.
2. Результаты вычислений запишите в таблицу третьей строкой.
3. Сравните и сделайте вывод о том, как соотносятся общее сопротивление цепи и сопротивления отдельных участков при их последовательном соединении.

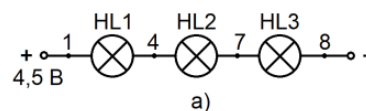
Задание 5-1-2. Проведите повторное исследование закономерностей последовательного соединения проводников для установления зависимостей $I = I_1 = I_2$, $U = U_1 + U_2$, $R = R_1 + R_2$.

1. Замените на рисунке а предыдущего задания лампы резисторами R_1 и R_2 сопротивлениями 10 Ом и 20 Ом.
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 таблицу, составленную по аналогии с таблицей предыдущего задания.
6. Проанализируйте результаты экспериментов, сформулируйте выводы.

Задание 5-1-3. Наблюдайте недостаток последовательного соединения.

1. Соберите последовательную цепь из трех ламп (рис. а).

2. Не отключая источника питания, исключите из цепи одну из ламп и объясните наблюдаемое явление.



Контрольные вопросы.

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?

§ 5-2. РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ НА УЧАСТКАХ ЦЕПИ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

Из закона Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ следует, что напряжение вычисляется формулой $U = IR$. Из нее и закономерности последовательного соединения проводников $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$ вытекает, что общее напряжение цепи распределяется между отдельными участками в соответствии с их сопротивлениями: чем больше сопротивление участка, тем больше напряжение на нем.

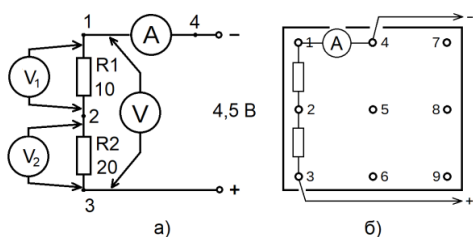
Контрольные вопросы.

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

Задание 5-2-1. Докажите справедливость формулы $U = IR$.

Показания приборов и результаты вычислений занесите в таблицу.

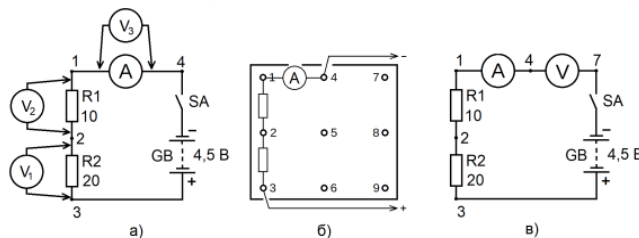
1. Соберите электрическую цепь по рис. а, б.
2. Измерьте силу тока I в цепи.
3. Определите сопротивления резисторов R_1 и R_2 по их маркировке и общее сопротивление цепи $R_1 + R_2$.
4. Зная силу тока в цепи и сопротивления резисторов, рассчитайте напряжение $U_{расч.}$ на каждом участке и общее напряжение.
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.



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

Задание 5-2-2.

1. Соберите цепь по рис. а, б и измерьте напряжение на всех участках цепи, включая амперметр. Сравнивая напряжения на участках, сделайте вывод о сопротивлениях участков, в том числе амперметра.



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

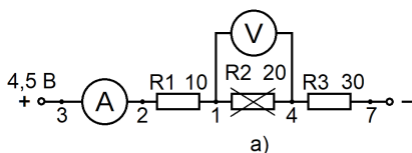
3. Объясните, почему на рис. а амперметр показывает силу тока в цепи, а на рис. б не показывает.

Задание 5-2-3.

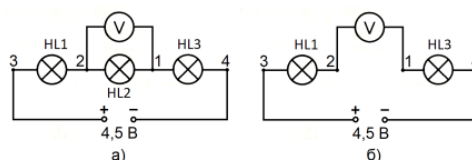
1. Соберите электрическую цепь по рис. а и запомните показания приборов.

2. Предположите, что будут показывать приборы, если, не отключая питания, удалить из цепи резистор R_2 .

3. Вашу гипотезу проверьте экспериментом. Объясните причину изменения в показаниях приборов.

**Задание 5-2-4.**

1. Рассуждая теоретически, предскажите показание вольтметра, подключенного параллельно к одной из трёх последовательно соединённых одинаковых ламп (рис. а).



2. Предскажите, сколько будет показывать этот же вольтметр, если, не отключая питания, удалить эту лампу из цепи (рис. б).

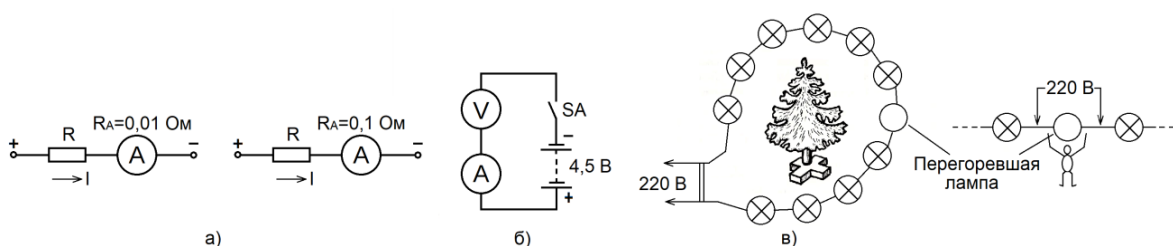
3. Верность (или ложность) ваших рассуждений проверьте экспериментально. Объясните наблюдаемые результаты.

Контрольные вопросы и задания.

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

2. Учитывая, что амперметр обладает малым сопротивлением (сотые доли ома), а вольтметр большим (сотни и тысячи ом), предскажите, что показывают приборы, собранные по рис. б. Ваш вывод проверьте на опыте.

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



Помните! Электроприборы перед ремонтом необходимо выключить от источника напряжения!

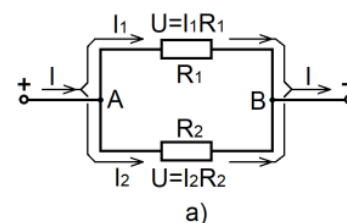
§ 5-3. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ – СОЕДИНЕНИЕ, ПРИ КОТОРОМ ВСЕ ПРОВОДНИКИ ПОДКЛЮЧАЮТСЯ МЕЖДУ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ПАРой ТОЧЕК, НАЗЫВАЕМЫХ УЗЛАМИ

Электрическую цепь могут образовать параллельно соединенные участки. При таком соединении одни концы всех проводников собирают в один узел, например, в точке А (рис. а), а вторые концы – в другой узел, например, в точке В. Поэтому напряжение U на всем участке АВ и на концах его параллельных ветвей R_1 и R_2 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, так как у тока появляется несколько путей, что равносильно использованию проводника с большим сечением. Поэтому общее сопротивление цепи должно становиться меньше сопротивления каждой ветви.

Общее сопротивление R определяют из формулы: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.



Контрольные вопросы.

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?

Задание 5-3-1.

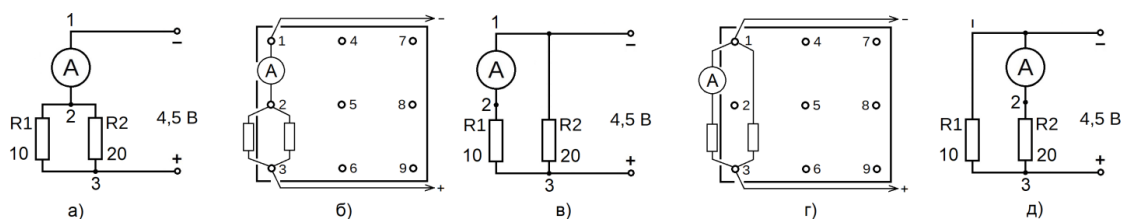
1. Проверьте справедливость предположения о силе тока в цепи, состоящей из двух параллельно соединенных участков: $I = I_1 + I_2$. Результаты наблюдений запишите в первую строку таблицы.

1. Соберите схему по рис. а, б и измерьте силу тока I в цепи до разветвления.

2. Определите силу тока I_1 , текущего через участок R_1 . Включите для этого амперметр последовательно с участком R_1 (рис. в, г).

3. Переключите амперметр во вторую ветвь цепи (рис. д). Измерьте силу тока I_2 , текущего через участок R_2 .

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 .



Таблица

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

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

1. На рис. а и б измерьте напряжение U_1 на резисторе R_1 , U_2 на резисторе R_2 и общее напряжение U на них.

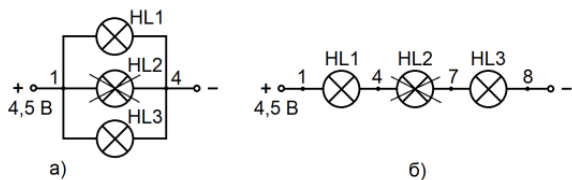
2. Сравните показания вольтметра и сделайте вывод о том, какая связь существует между напряжениями U_1 , U_2 и U .

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

1. Используя результаты измерений токов и напряжений, по закону Ома для участка цепи рассчитайте сопротивления резистора R_1 , резистора R_2 , общей цепи R .

2. Проверьте справедливость: а) утверждения, что $R < R_1$ и $R < R_2$; б) равенства $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

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



Задание 5-3-2.

1. Соедините три лампы параллельно (рис. а) и при включенном питании одну из них исключите из цепи. Наблюдайте, как удаление одной лампы влияет на состояние других.

Объясните результат эксперимента, исходя из законов параллельного соединения участков цепи.

2. Повторите эксперимент, соединив лампы последовательно (рис. б).

3. Сделайте вывод о достоинствах и недостатках последовательного и параллельного соединений потребителей электрической энергии.

Контрольные вопросы и задания.

1. Приведите примеры параллельного соединения потребителей электрической энергии.

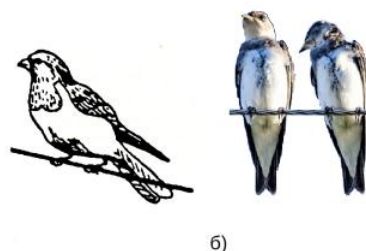
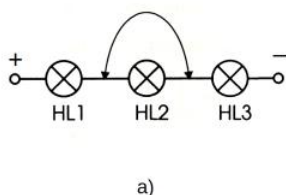
2. Как распределяется сила тока в параллельно соединенных участках? Почему?

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

4. Соедините три лампы последовательно (рис. а) и одну из них закоротите проводом (шунтом), сопротивление которого можно считать равным нулю. Как изменится яркость ламп? Почему?

5. Объясните, почему птиц, сидящих на проводах электропередачи, не поражает электрическим током (рис. б)? Учтите, что в данном случае птицу можно рассматривать как участок цепи с очень большим сопротивлением, подключенным параллельно к участку провода с очень малым сопротивлением, расположенного между лапками птицы.

6. Составьте эквивалентную электрическую схему параллельного соединения участка цепи, расположенной между лапками птицы, и тела птицы, которое примите за резистор с большим сопротивлением.



§ 5-4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ УЧАСТКОВ ЦЕПИ

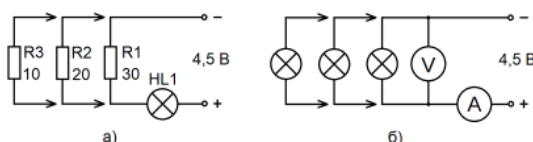
Задание 5-4-1. Изучите зависимость между силой тока в неразветвленной части цепи от количества параллельно включенных участков.

1. На рис. а к резистору R_1 включите сначала второй резистор R_2 , потом третий резистор R_3 и следите за яркостью лампы в общей цепи. Объясните наблюдаемое явление.

2. На рис. б к лампе HL_1 , последовательно с которой включен амперметр, а параллельно вольтметр, присоедините вторую и третью лампы. Каждый раз следите за показаниями приборов, которые заносите в таблицу.

3. По показаниям приборов, используя закон Ома для участка цепи, вычислите сопротивление одной лампы и общее сопротивление двух и трех ламп, соединенных параллельно.

4. Сделайте вывод о том, как изменяется с увеличением числа параллельно соединенных участков: а) общая сила тока в цепи; б) общее сопротивление цепи.



Таблица

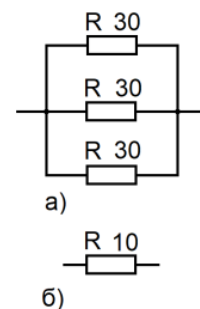
Физическая величина	Соединение ламп		
Напряжение U , В			
Сила тока I , А			
Сопротивление R , Ом			

Вывод: Проведенные выше исследования показали, что параллельное соединение проводников приводит к увеличению силы тока в неразветвленной части цепи, хотя значительного изменения напряжения питания не происходит. Согласно закону Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ это возможно при уменьшении общего сопротивления

R параллельно соединенного участка.

При параллельном соединении проводников общее сопротивление цепи уменьшается и становится меньше сопротивления любого из входящих в цепь участков.

При параллельном соединении N резисторов с одинаковыми сопротивлениями R общее сопротивление цепи уменьшается в N раз и вычисляется по формуле $R_{общ} = \frac{R}{N}$.



Например (рис. а), три одинаковых резистора с сопротивлениями по 30 Ом каждый соединены параллельно. Общее сопротивление цепи будет $R_{общ} = \frac{30 \text{ Ом}}{3} = 10 \text{ Ом}$.

Естественно, эти три резистора можно заменить одним эквивалентным резистором сопротивлением 10 Ом (рис. б).

В общем случае при параллельном соединении величина $\frac{1}{R_{общ}}$, обратная общему сопротивлению, равна сумме величин обратных сопротивлений участков:

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

На практике часто встречается параллельное соединение двух резисторов. Тогда используется следующая формула: $\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$ или $R_{общ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

Задание 5-4-2. Определите общее сопротивление параллельно соединенных участков.

1. Соберите цепь по рисункам а и б, где в качестве участков возьмите резисторы 10, 20 или 30 Ом.

2. Измерьте напряжение U на резисторах, силу тока в общей цепи I и токи I_1 и I_2 в участках R_1 и R_2 .

3. Из закона Ома $I = \frac{U}{R}$ вычислите сопротивления R_1 и R_2 .

4. Вычислите общее сопротивление цепи по формулам: $R_{общ} = \frac{U}{I}$ и $R_{общ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

5. Сравните эти сопротивления.

Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

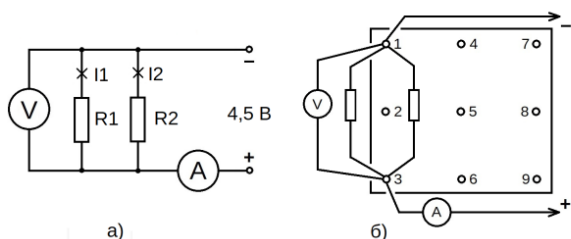
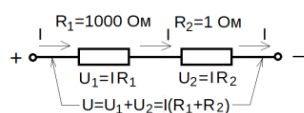


Таблица							
U, В	I, А	I ₁ , А	I ₂ , А	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	$R_{общ} = \frac{U}{I}$, Ом	$R_{общ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, Ом

§ 5-5. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ – ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ – ДЕЛИТЕЛЬ ТОКА

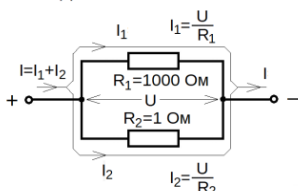
При последовательном соединении сила тока одинакова во всех участках цепи независимо от их сопротивлений. Общее напряжение питания распределяется между участками в зависимости от их сопротивлений согласно формуле $U = IR$. Участку с большим сопротивлением достается большее напряжение, участку с меньшим сопротивлением – меньшее напряжение. Говорят, что «последовательное соединение – это делитель напряжения» (рис. а).

Последовательное соединение – делитель напряжения



а)

Параллельное соединение – делитель тока



б)

При параллельном соединении, наоборот, напряжение на всех участках одинаково, а общий ток распределяется по разветвлениям обратно пропорционально их сопротивлениям на основании формулы $I = \frac{U}{R}$. По

участку с меньшим сопротивлением идет больше тока, чем по участку с большим сопротивлением. Здесь справедливо утверждение: «Параллельное соединение – это делитель тока» (рис. б).

При последовательном соединении главную роль играет участок с наибольшим сопротивлением. Например, если последовательно соединены участки с сопротивлениями 1000 Ом и 1 Ом (рис. а), то общее сопротивление будет:

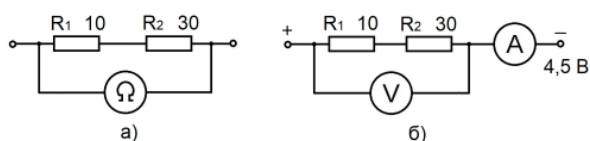
$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 = 1000 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом} = 1001 \text{ Ом}.$$

Как видим, оно больше, чем у участка с наибольшим сопротивлением, т.к. в основном он определяет значение общего сопротивления.

При параллельном соединении этих же участков с сопротивлениями 1000 Ом и 1 Ом (рис. б), то их общее сопротивление будет:

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = \frac{1000 \cdot 1}{1000 + 1} \text{ Ом} = 0,999 \text{ Ом}.$$

Задание 5-5-1. Убедитесь, что при последовательном соединении двух резисторов общее сопротивление больше наибольшего из них.



а)

б)

1. Соберите последовательную цепь из двух резисторов и измерьте их общее сопротивление: а) омметром в составе мультиметра (рис. а); б) по закону Ома (рис. б).

Обратите внимание на то, что общее сопротивление цепи больше, чем у участка с наибольшим сопротивлением.

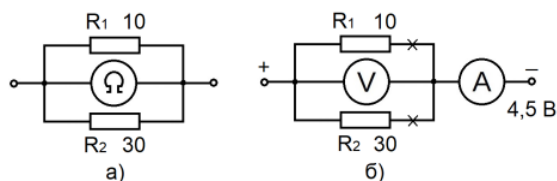
2. Измерив вольтметром напряжения на участках и общее напряжение, убедитесь в справедливости утверждения: «Последовательное соединение – это делитель напряжения».

Задание 5-5-2. Убедитесь, что при параллельном соединении двух резисторов общее сопротивление меньше наименьшего из них.

1. Соберите параллельную цепь из двух резисторов и измерьте их общее сопротивление: а) омметром (рис. а); б) по закону Ома (рис. б).

Обратите внимание на то, что общее сопротивление цепи меньше, чем у участка с наименьшим сопротивлением.

2. Измерив амперметром токи в ветвях (указаны крестиками) и общую силу тока, убедитесь в справедливости утверждения: «Параллельное соединение – это делитель тока».

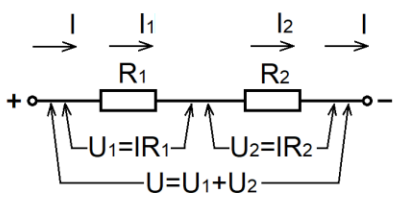
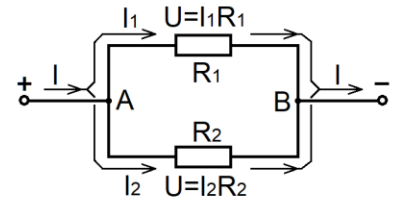


а)

б)

Задание 5-5-3. Изучите сравнительную таблицу последовательного и параллельного соединений.

Таблица

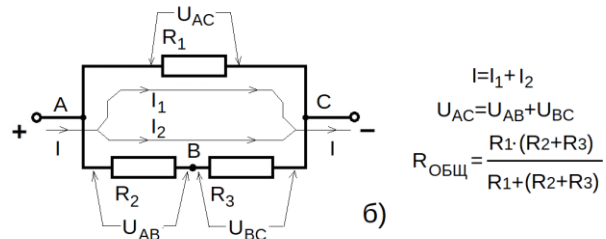
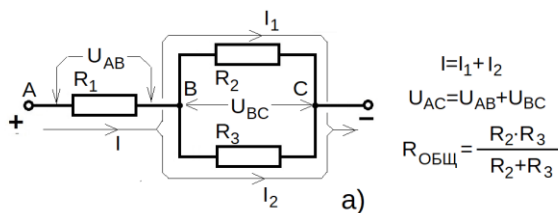
Сравнительная таблица последовательного и параллельного соединений	
Последовательное соединение 	Параллельное соединение 
1. Сила тока Ток одинаков на всех участках: $I = I_1 = I_2$	Общий ток делится между участками: $I = I_1 + I_2$
2. Напряжение Общее напряжение равно сумме напряжений на участках: $U = U_1 + U_2$	Напряжение одинаково на всех участках: $U = U_1 = U_2$
3. Сопротивление а) Общее сопротивление равно сумме сопротивлений участков: $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$ б) Последовательное соединение участков увеличивает общее сопротивление цепи в) N одинаковых участков сопротивлениями R имеют N раз большее сопротивление: $R_{\text{общ}} = NR$	а) Обратная величина общего сопротивления равна сумме обратных сопротивлений участков: $\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ б) Параллельное соединение участков уменьшает общее сопротивление цепи в) N одинаковых участков сопротивлениями R имеют N раз меньшее сопротивление: $R_{\text{общ}} = \frac{R}{N}$
4. Достоинства а) К источнику тока с большим напряжением можно включить потребитель, рассчитанный на меньшее напряжение, используя гасящий избыточное напряжение участок б) Из нескольких участков с меньшими сопротивлениями можно составить участок с большим сопротивлением	а) К одному и тому же источнику тока можно подключить несколько потребителей с разными сопротивлениями б) Выключение одного из потребителей не влияет на работу других в) Из нескольких участков с большими сопротивлениями можно составить участок с меньшим сопротивлением
5. Недостатки Отключение одного из участков разрывает всю цепь	Все потребители должны быть рассчитаны на одинаковые напряжения
6. Применение Включение осветителей ёлочных гирлянд, амперметров, ограничителей тока, предохранителей и т.д.	Включение бытовых приборов, промышленных машин, станков, транспортных средств (троллейбусов, трамваев, электровозов, вольтметров), и т.д.

§ 5-6. СМЕШАННОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ – ЭТО КОМБИНАЦИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЙ

На практике, особенно в радиоэлектронных устройствах, чаще всего используются цепи, состоящие из последовательно и параллельно соединенных участков.

Например, на рис. а участки АВ и ВС соединены друг с другом последовательно. Но участок ВС представляет собой параллельное соединение резисторов R_2 и R_3 .

На рисунке б к последовательно соединенным резисторам R_2 и R_3 параллельно подключен резистор R_1 .



Задание 5-6-1.

На приведенных выше рисунках а и б к участку АС подано напряжение 10 В. Каждый из резисторов имеет сопротивление 10 Ом.

Вычислите:

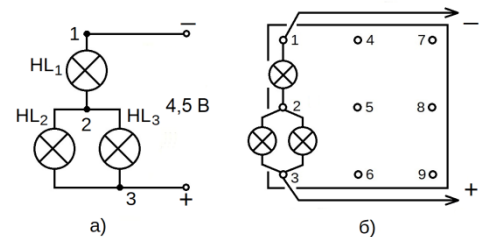
- общее сопротивление цепи;
- силу тока в резисторах;
- напряжение на резисторах.

Задание 5-6-2.

На рисунках а, б лампы HL_2 и HL_3 включены параллельно, лампа HL_1 включена к ним последовательно.

Ответьте:

- каковы яркости ламп;
- где больше напряжение: между точками 1-2, 2-3 или 1-3? Почему? Истинность или ложность вашей гипотезы проверьте экспериментально, включив к этим точкам вольтметр;
- как распределяется общее напряжение питания между лампами (помните о том, что сопротивление спирали лампы зависит от её температуры);
- почему лампа HL_1 светит ярче, чем остальные?

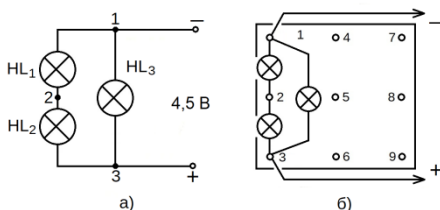


Задание 5-6-3.

На рисунках а, б лампы HL_1 и HL_2 составляют участок последовательной цепи, лампа HL_3 включена к ним параллельно.

Ответьте:

- каковы яркости ламп;



- где больше напряжение: между точками 1-2, 2-3 или 1-3; истинность или ложность вашей гипотезы проверьте экспериментально, включив к этим точкам вольтметр;

- как распределяется общее напряжение питания между лампами;

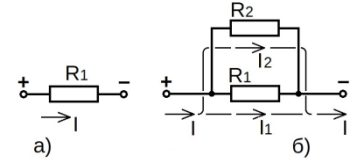
- почему лампа HL_3 светит ярче, чем остальные.

§ 5-7. ШУНТ – ЭТО ОБХОДНОЙ ПУТЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Часто для уменьшения силы тока в участке цепи параллельно ему подключают другой участок. Например, если параллельно резистору R_1 подключить другой резистор R_2 (рис. а, б), то общий ток I согласно закону параллельного соединения разделяется на токи I_1 и I_2 : $I = I_1 + I_2$.

Резистор R_2 , который мы включили для ответвления тока I_2 , называется шунтом. Шунт, создавая обходной путь, уменьшает силу тока в участке, параллельно которому он включен. В связи с тем, что на параллельно соединённых участках напряжение одинаковое, ток делится между ними обратно пропорционально их сопротивлениям. Чем меньше сопротивление шунта, тем большая часть общего тока пойдет по нему согласно формуле:

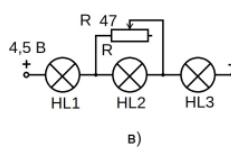
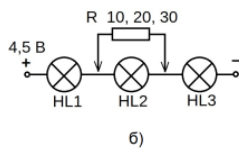
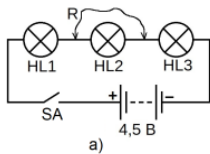
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$



Задание 5-7-1.

1. Соберите цепь из трех последовательно соединенных ламп (рис. а) и одну из них, например HL_2 , шунтируйте участком R , в качестве которого возьмите кусок провода с оголенными концами.

Примечание. Вследствие того, что провод имеет весьма малое сопротивление (тысячные доли ома), его можно принимать в качестве идеального шунта с нулевым сопротивлением.



2. Вместо провода используйте разные резисторы по мере возрастания сопротивлений, например, 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом (рис. б).

Ответьте, как и почему изменяется яркость ламп.

3. Регулировочный (переменный) резистор R 47 Ом посредством одного крайнего и среднего выводов включите параллельно лампе HL_2 (рис. в).

4. Ответьте, как будет меняться яркость ламп при:

- увеличении сопротивления резистора (ползунок перемещается вправо по схеме);
- уменьшении сопротивления резистора (ползунок перемещается влево по схеме);

Почему?

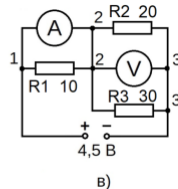
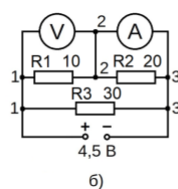
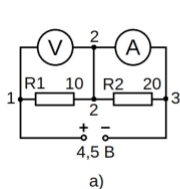
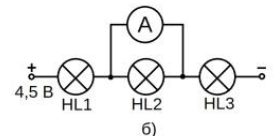
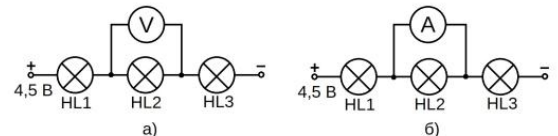
5. Вашу гипотезу проверьте постановкой эксперимента.

Задание 5-7-2.

1. Предположите, как будут меняться яркости ламп и что будут показывать идеальные измерительные приборы амперметр и вольтметр, если их включить к одной из трёх последовательно соединённых ламп (рис. а, б).

Примечание. У идеального вольтметра сопротивление считается бесконечно большим, а у идеального амперметра – нулевым.

2. Истинность вашего предположения проверьте экспериментально.



Задание 7-7-3.

1. Предположите, что будут показывать измерительные приборы на рисунках а, б и в.

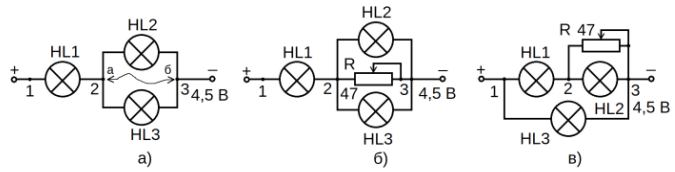
2. Вашу гипотезу проверьте экспериментом и объясните наблюдаемый результат.

Задание 5-7-4.

1. Как измениться яркость ламп на рис. а, если точки 2, 3 соединить проводником (шунтом) ab ? Истинность ваших рассуждений проверьте экспериментом.

2. Как измениться яркость ламп на рисунках б и в, если сопротивление переменного резистора R увеличивать (ползунок двигать вправо) или уменьшать (ползунок двигать влево)?

3. Ваши выводы проверьте экспериментально и объясните наблюдаемое явление.

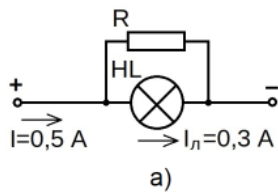


Задание 5-7-5.

В цепь, в которой течет ток $0,5\text{ A}$, нужно включить лампу, рассчитанную на номинальное напряжение $U = 6,3\text{ В}$ и номинальный ток $I_n = 0,3\text{ A}$ (рис. а).

1. Рассчитайте сопротивление шунтирующего лампу резистора R , отводящего избыточный ток от лампы.

2. Используя переменный резистор 47 Ом , вольтметр, амперметр и омметр, разработайте схему конструкции для экспериментального подтверждения правильности ваших вычислений и осуществите эксперимент.



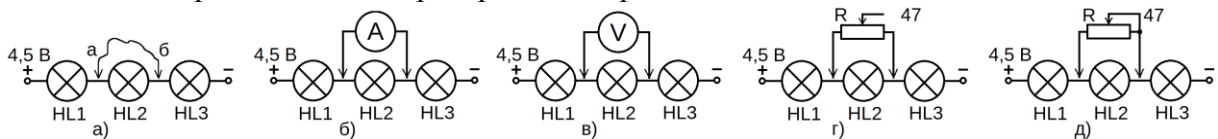
Задание 5-7-6.

1. Соберите последовательную цепь из трёх ламп, которую включите к батарее $4,5\text{ В}$.

2. Объясните, как и почему измениться яркость всех ламп, если к лампе HL_2 параллельно включить:

- шунт ab (рис. а);
- амперметр (рис. б);
- вольтметр (рис. в);
- переменный резистор 47 Ом крайними выводами и перемещать ползунок влево и вправо (рис. г);
- переменный резистор 47 Ом и перемещать ползунок влево и вправо (рис. д).

3. Ваши предположения проверьте экспериментально.

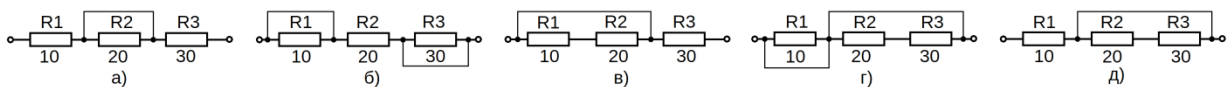


Задание 5-7-7.

1. Соберите последовательную цепь из трёх резисторов 10 Ом , 20 Ом , 30 Ом .

2. Предположите, чему будет равняться общее сопротивление цепи, если параллельно к участкам включить шунты (перемычки) так, как показано на рисунках а, б, в, г, д.

3. Истинность ваших рассуждений проверьте, измерив общее сопротивление цепей омметром.

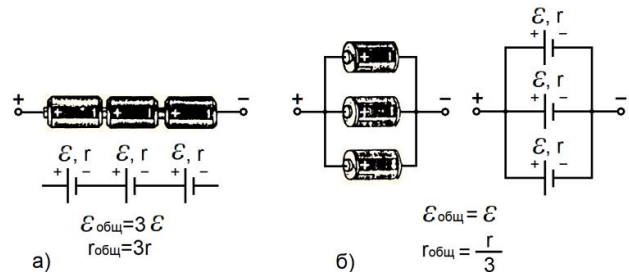


§ 5-8. ИСТОЧНИКИ ТОКА МОЖНО СОЕДИНЯТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО, ПАРАЛЛЕЛЬНО И СМЕШАННО

При последовательном соединении одинаковых элементов складываются их электродвижущие силы (ЭДС) и внутренние сопротивления. Например, три последовательно соединенных элемента (рис. а) можно рассматривать как один источник напряжения с общей

ЭДС $\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$ и общим внутренним сопротивлением $r_{\text{общ}} = r_1 + r_2 + r_3$. Этот способ соединения применяется тогда, когда нужно получить большое напряжение.

При параллельном соединении одинаковых элементов (рис. б) общая ЭДС остается без изменения, но уменьшается их общее внутреннее сопротивление, что ведет к увеличению силы тока в цепи. Например, при параллельном соединении трех элементов с



ЭДС $\mathcal{E}$ и внутренним сопротивлением r каждый, общая ЭДС будет $\mathcal{E}$ (остается без изменения) и внутреннее сопротивление батареи элементов составит $\frac{r}{3}$.

Этот способ соединения применяется тогда, когда нужно получить в цепи большой силы ток.

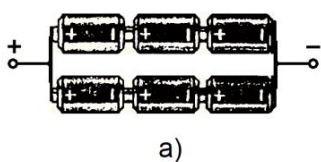
Источники тока можно также соединять смешанно, используя параллельные и последовательные участки.

Задание 5-8-1. Составьте из двух или трех элементов батарею, соединив их:

- последовательно;
- параллельно.

Измерьте вольтметром общую ЭДС батареи.

Задание 5-8-2

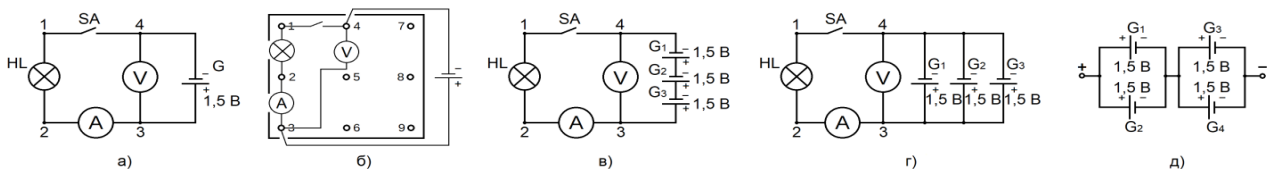


Шесть одинаковых источников питания, каждый из которых имеет ЭДС 1,5 В и внутреннее сопротивление 1 Ом, соединены так, как показано на рис. а. Определите вычислением общую ЭДС и общее внутреннее сопротивление всей цепи.

Задание 5-8-3. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление последовательно и параллельно соединенных элементов.

- Возьмите гальванический элемент любого типа с ЭДС 1,5 В и измерьте его внутреннее сопротивление r (рис. а, б).
- Соедините три элемента последовательно (рис. в) и измерьте их общую ЭДС и вычислите общее внутреннее сопротивление батареи.
- Повторите эти же исследования, соединив эти же элементы параллельно (рис. г).
- Четыре одинаковых источника тока, которые имеют равные ЭДС и внутреннее сопротивление, соедините так, как показано на рис. д).

Составьте эквивалентную схему данной батареи. Вычислите и экспериментально определите общую ЭДС и общее внутреннее сопротивление батареи элементов.



§ 5-9. ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА – ЭТО ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

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 её 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 вольтамперной характеристикой прибора, сокращенно ВАХ.

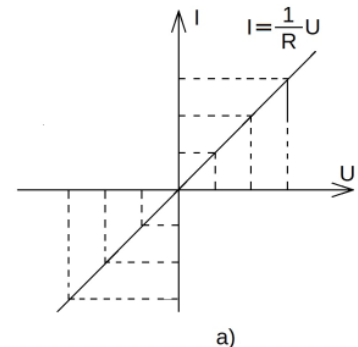
Вольтамперная характеристика – одна из главных характеристик многих радиотехнических приборов – проводниковых, полупроводниковых, вакуумных и других. Она даёт представление об особенностях этого прибора; с её помощью можно определять ряд параметров цепей, в которые они включены.

Если закон Ома записать в виде $I = \frac{1}{R}U$, то нетрудно в такой записи увидеть сходство с линейной зависимостью, выраженной в математике уравнением $y = kx$: 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 линию, наклонную к горизонтальной оси (рис. а). Но чаще всего эта зависимость у физических приборов оказывается более сложной.

Таблица

U				
I				
R				



Для построения ВАХ необходимо фиксировать значения силы тока I , соответствующие различным значениям приложенного напряжения U . Обычно последнее меняют раз за разом на определенную величину – шаг. Для удобства показания измерительных приборов (например, 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 – вольтамперная характеристика готова.

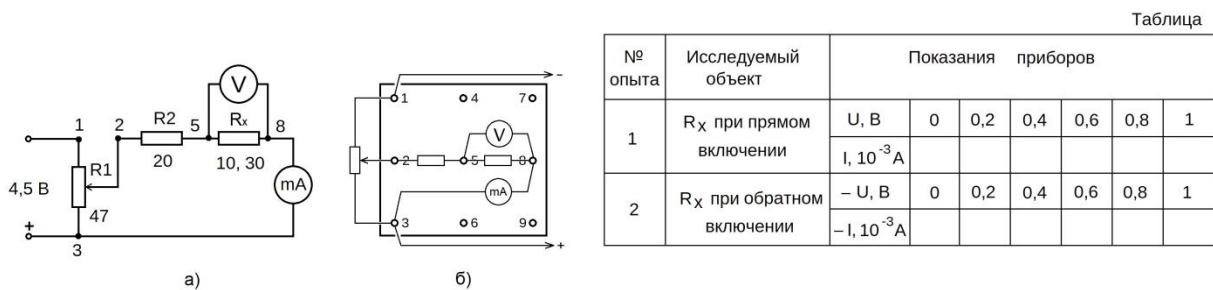
Посмотрите вновь на рис. а. Если для любой точки графика вы определите величину абсциссы U и разделите её на величину ординаты I , получите значение сопротивления R согласно закону Ома.

Задание 5-9-1. Исследуйте зависимость силы прямого и обратного токов от приложенного к участку цепи напряжения.

1. Соберите электрическую цепь по рисункам а и б. Исследуемый резистор R_x возьмите сопротивлением 10 Ом. Направление тока в нём условно примем за прямое (в данном случае по рисунку справа налево).

Примечание. В этой цепи переменный резистор R_1 используется как потенциометр для регулирования напряжения на исследуемом резисторе R_x . Резистор R_2 служит для защиты миллиамперметра от чрезмерно больших токов (от зашкаливания, если вы пользуетесь стрелочными приборами). При осторожном обращении с цепью можно обойтись без ограничительного резистора R_2 .

2. Увеличивайте напряжение на резисторе R_x от 0 до 1 В с шагом 0,2 В. Показания приборов заносите в таблицу (строка 1).
3. Постройте прямую ветвь ВАХ резистора R_x и напишите уравнение прямой $I = f(U)$.
4. Измените направление тока в резисторе R_x на противоположное. Для этого поменяйте полярность включения источника питания и измерительных приборов. Теперь значения напряжения и силы тока будем считать отрицательными.
5. Выполните действия пункта 2. По полученным данным постройте обратную ветвь ВАХ резистора R_x и напишите уравнение прямой $I = f(U)$.
6. Произведите описанное выше исследование для резистора $R_x = 30 \text{ Ом}$.
7. Сравните графики вольтамперных характеристик обоих резисторов 10 Ом и 30 Ом. Объясните причину сходства и различия между ними.
8. Сопоставьте графики ВАХ обоих резисторов и ответьте, от чего зависит их угол наклона α прямой к оси напряжений U .
9. Докажите, что сопротивление исследуемого резистора R_x пропорционально $\text{ctg } \alpha$, где α есть угол между осью напряжений и прямой зависимости $I = f(U)$.



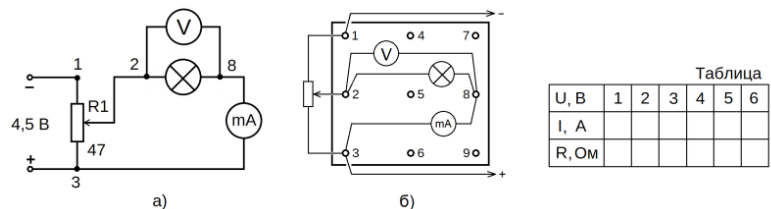
Задание 5-9-2. Постройте вольтамперную характеристику миниатюрной лампы накаливания.

1. Соберите электрическую цепь по рисунку.

2. Плавно изменяя напряжение на лампе от 0 до 6 В с шагом 1 В, запишите показания приборов в таблицу.

3. Выберите масштаб и постройте график зависимости $I = f(U)$.

4. Объясните, почему с увеличением силы тока в лампе график вольтамперной характеристики искривляется в сторону оси U , т. е. в сторону увеличения сопротивления спирали лампы?



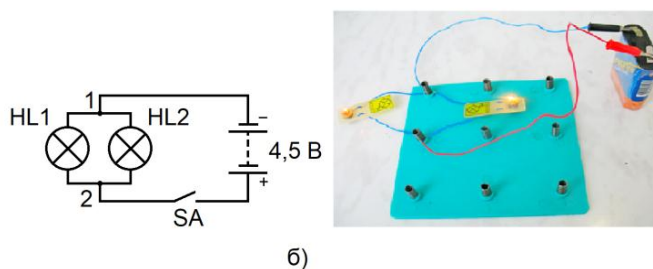
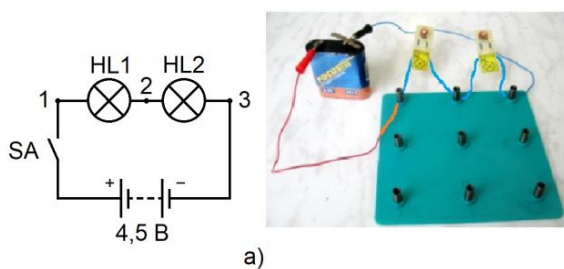
§ 5-10. СОСТАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ТВОРЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ ПО РАЗЛИЧНЫМ СПОСОБАМ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Ниже для практического экспериментирования представляем несколько принципиальных схем последовательного, параллельного и смешанного соединений миниатюрных электрических ламп накаливания. К каждой из конструкций предлагаем составить творческие исследовательские задания по вычислению электрических параметров участков цепи (силы тока, напряжения, сопротивления) с использованием измерительных приборов (амперметра, вольтметра, омметра).

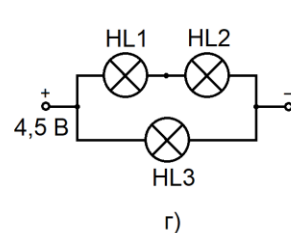
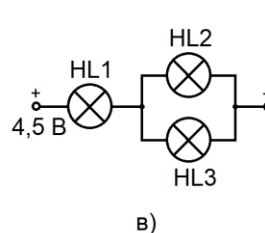
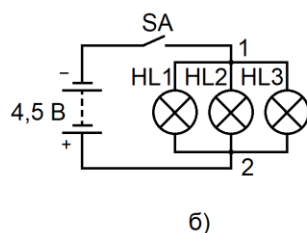
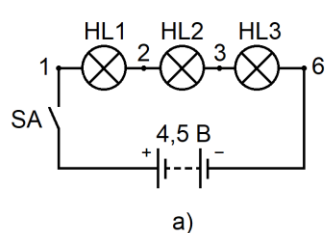
Количественные результаты исследований заносите в составленные вами таблицы.

Примечание. Схему каждого из заданий можете видоизменить, используя постоянные и переменный резисторы, входящие в состав комплекта.

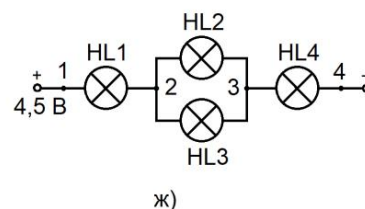
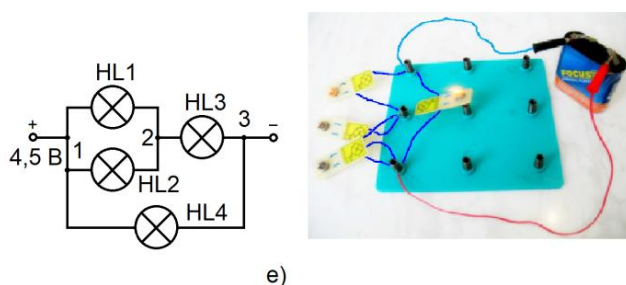
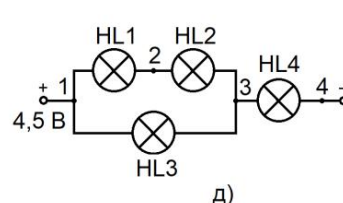
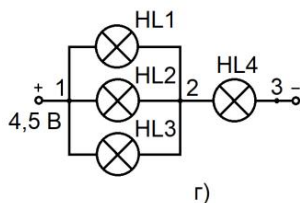
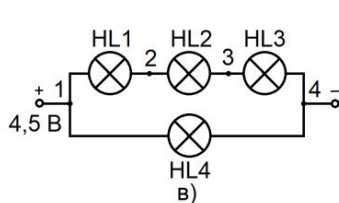
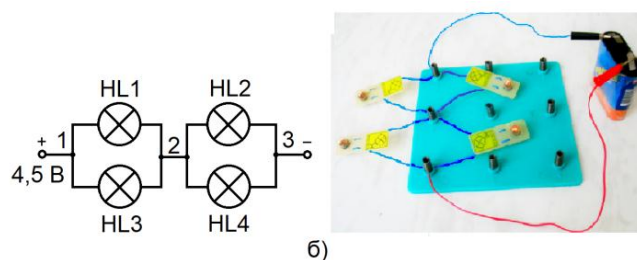
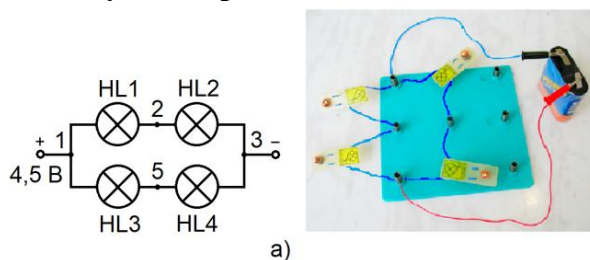
Задание 5-10-1. Составьте исследовательские проекты электрических схем, используя две лампы.



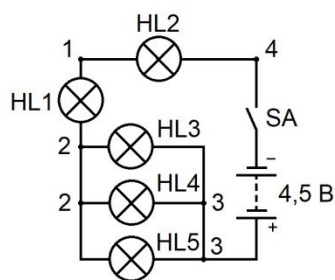
Задание 5-10-2. Составьте исследовательские проекты электрических схем, используя три лампы.



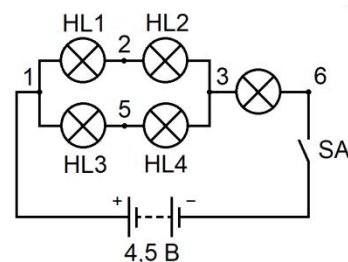
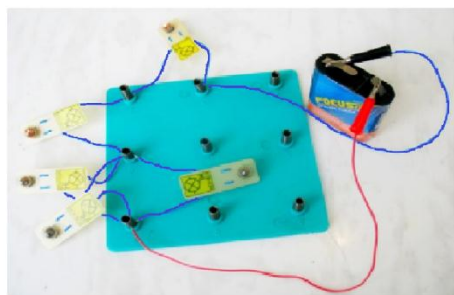
Задание 5-10-3. Составьте исследовательские проекты электрических схем, используя четыре лампы.



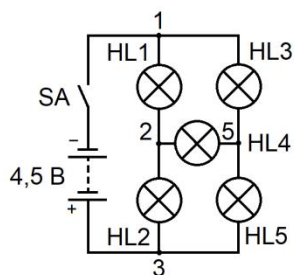
Задание 5-10-4. Составьте исследовательские проекты электрических схем, используя пять ламп.



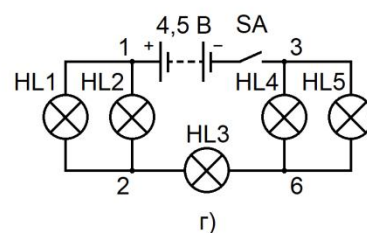
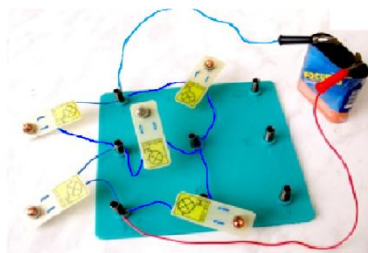
а)



б)



в)



г)

§ 5-11. ЗАДАЧИ ОГЭ И ЕГЭ НА СПОСОБЫ СОЕДИНЕНИЯ УЧАСТКОВ ЦЕПИ

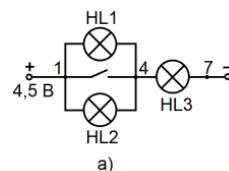
Примечание.

1. Для определения сопротивления участков цепи используйте омметр в составе мультиметра на диапазоне «200».
2. В схемах в качестве ключа используйте проволочные перемычки.

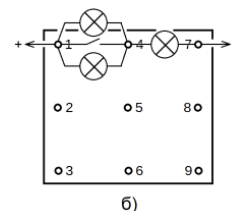
Задача 1.

Изучите шунтирующее действие ключа SA в электрической цепи.

1. Соберите цепь (рис. а, б) и, замыкая и размыкая ключ (провод-перемычку), следите за изменением состояния свечения ламп.
2. Объясните наблюдаемое явление.
3. Переставьте перемычку параллельно лампе HL₃ (к точкам 4 и 7). Объясните изменение состояния свечения ламп при включении и выключении перемычки.



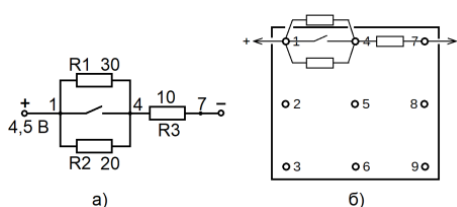
а)



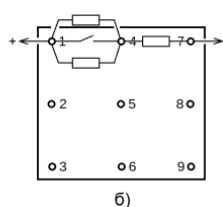
б)

Задача 2.

Изучите шунтирующее действие ключа SA в электрической цепи.



а)



б)

1. Соберите цепь (рис. а, б) и вычислите её общее сопротивление.
2. Правильность расчета проверьте омметром (мультиметром).
3. Рассчитайте сопротивление цепи при переключении точек 1 и 4. Правильность ответа проверьте омметром.

4. Переставьте перемычку параллельно резистору R₁ (к точкам 4, 7) и повторите действия пункта 3.

Задача 3.

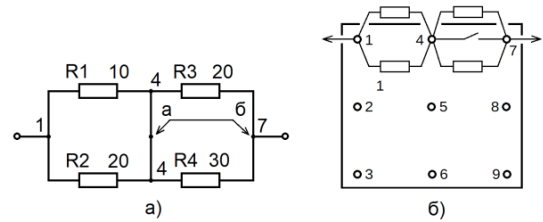
Изучите шунтирующее действие проволоочной перемычки в электрической цепи.

1. Соберите цепь (рис. а, б).
2. Рассчитайте общее сопротивление цепи при отсутствии перемычки и убедитесь в правильности, измерив омметром (допуск резисторов 5 %).

3. Рассчитайте общее сопротивление цепи при включенной перемычке и измерьте омметром.

4. Объясните причину изменения общего сопротивления при соединении точек 4 и 7 перемычкой.

5. Составьте эквивалентную схему цепи при отсутствии перемычки.

**Задача 4.**

Изучите, как влияет перемычка *ab* на общее сопротивление участка.

1. Соберите цепь (рис. а, б, фото 1, фото 2).
2. Рассчитайте общее сопротивление цепи при отсутствии перемычки *ab* между точками 4 и 5. Убедитесь в правильности, измерив омметром.
3. Рассчитайте общее сопротивление цепи с перемычкой *ab* и измерьте его омметром.
4. Объясните причину одинаковости общего сопротивления цепи в обоих случаях.
5. Составьте эквивалентную схему цепи с перемычкой и при отсутствии перемычки.

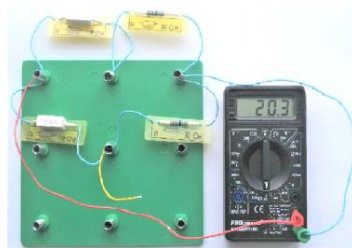
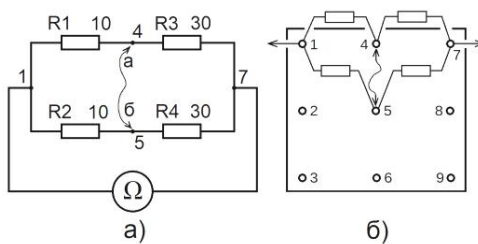


Фото 1 - без перемычки

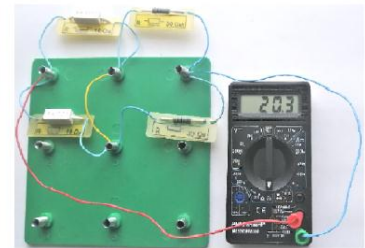
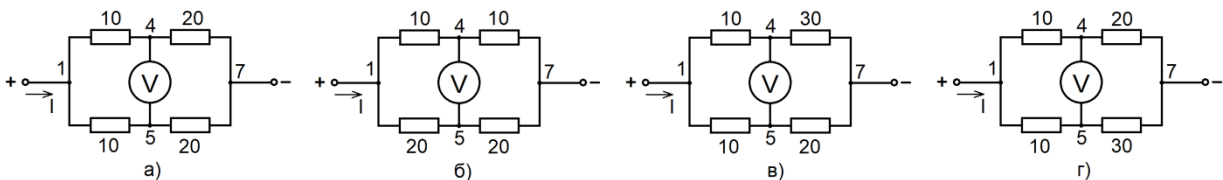


Фото 2 - с перемычкой

Задача 5.

Предположите, каковы полярности потенциалов точек 4 и 5 в схемах, показанных на рисунках а, б, в, г.

1. Соберите цепи и по показаниям вольтметра (мультиметра) убедитесь в правильности ваших рассуждений.

**Задача 6.**

В каких пределах будет изменяться сопротивление переменного резистора с максимальным сопротивлением 47 Ом на схемах, собранных по рисункам а и б при перемещении движка в ту или иную сторону?

1. Соберите цепь (рис. а, в). Перемещая движок переменного резистора влево и вправо, следите за изменением яркости лампы и объясните наблюдаемое явление.

2. Соедините крайние выводы переменного резистора вместе в точке 7 (рис. б, в).

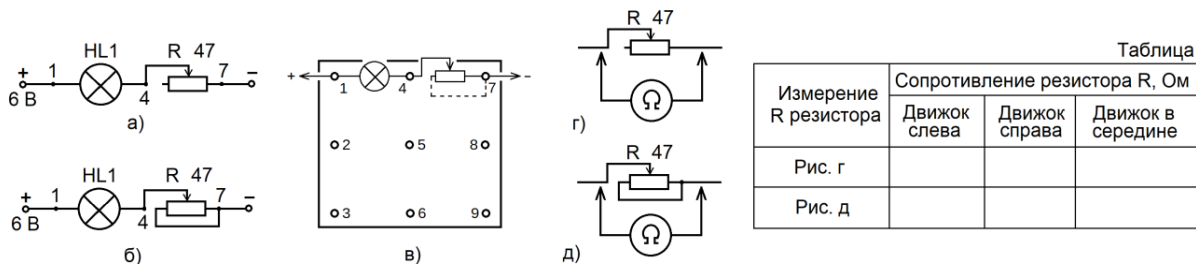
3. Перемещая движок переменного резистора влево и вправо, следите за изменением яркости лампы.

4. Объясните различие свечения лампы в цепях, собранных по рисункам а и б.

5. Составьте эквивалентную схему включения переменного резистора в цепь и объясните, почему при крайних положениях движка лампа горит ярче всего.

6. Отключите источник питания и омметром измерьте сопротивление переменного резистора в крайних положениях движка и середине проводящей части (рис. г, д). Данные измерения занесите в таблицу.

Примечание. На рис. б среднее положение движка можно установить по наименьшему свечению лампы или по показанию амперметра, используемого вместо лампы.



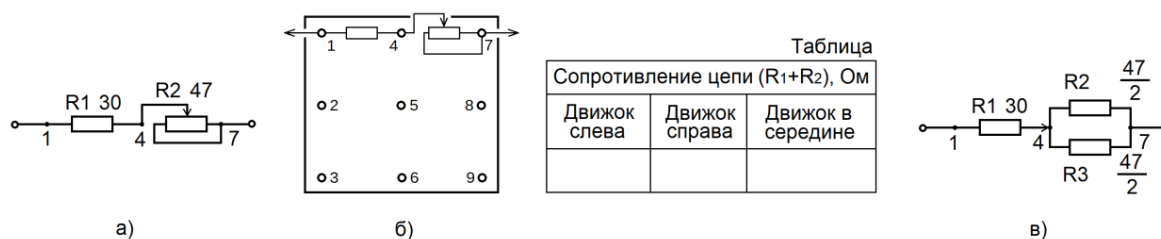
Задача 7.

В каких пределах будет изменяться сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора 30 Ом и переменного резистора максимальным сопротивлением 47 Ом при перемещении ползунка в ту или иную сторону?

1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. Измерьте омметром общее сопротивление цепи при трёх разных положениях ползунка: 1) в крайнем левом по рисунку; 2) в среднем; 3) в крайнем правом. Результаты измерения занесите в таблицу.

3. Для объяснения полученных данных начертите эквивалентную схему (рис. в). Обратите внимание на то, что при среднем положении движок делит проводящую часть переменного резистора на два параллельно соединённых участка сопротивлениями по $47 / 2$ Ома.



Задача 8.

В каких пределах будет изменяться сопротивление цепи, состоящей из параллельно соединённых переменного резистора с максимальным сопротивлением 47 Ом и резистора 30 Ом при перемещении ползунка в ту или иную сторону (рис. а, в)?

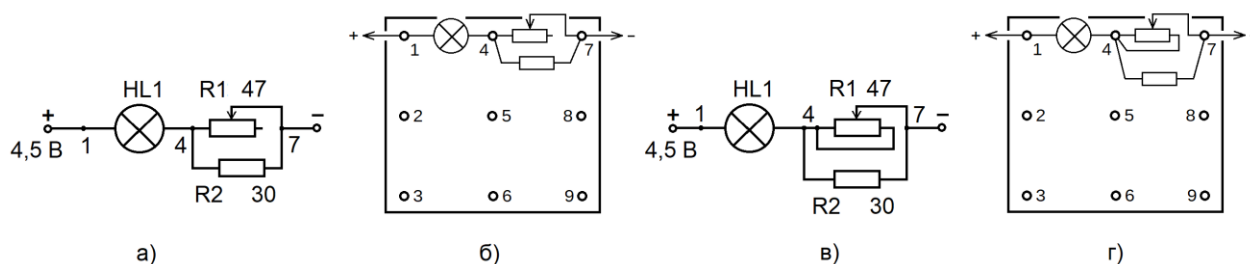
1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. Перемещая движок переменного резистора R_1 в ту или иную сторону, наблюдайте изменение яркости лампы и объясните причину.

3. Зная сопротивления резисторов, вычислите, в каком диапазоне может изменяться общее сопротивление цепи.

4. Отключите источник питания и омметром замерьте диапазон изменения общего сопротивления цепи между точками 4 и 7 при вращении ручки переменного резистора от одного крайнего положения до другого.

5. Соберите цепь по рис. в, г, где крайние выводы переменного резистора соединены между собой, и осуществите действия пунктов 2-4.



Задача 9.

1. Что показывают включенные последовательно с источником тока амперметр и вольтметр (рис. а)?

Соберите цепь (рис. а) и ваш вывод проверьте экспериментом. Показания приборов занесите в таблицу 1.

Объясните результаты эксперимента.

2. Что показывают измерительные приборы, включенные параллельно участкам R_1 и R_2 (рис. б)?

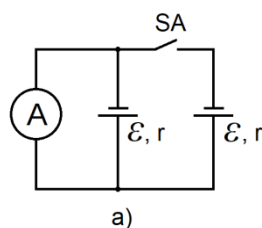
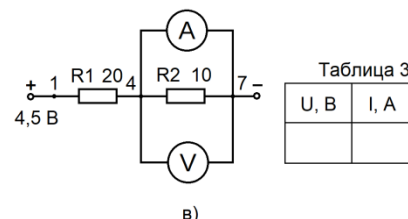
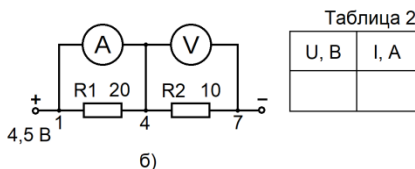
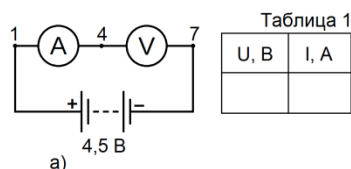
Соберите цепь (рис. б) и ваш вывод проверьте на опыте. Показания приборов занесите в таблицу 2.

Объясните результаты эксперимента.

3. Что показывает каждый из приборов, включенных параллельно участку сопротивлением 10 Ом (рис. в)?

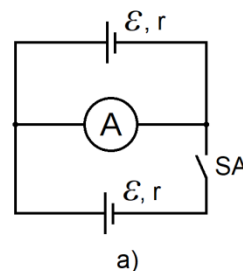
Соберите цепь (рис. в) и убедитесь в правильности ваших рассуждений. Показания приборов занесите в таблицу 3.

Объясните результаты эксперимента.



Задача 10*. Два гальванических элемента с равными ЭДС и внутренними сопротивлениями по 5 Ом соединены так, как показано на рисунке а, где амперметр при разомкнутом выключателе показывает 0,6 А, а при замкнутом 1,2 А. Определите, является ли амперметр идеальным.

Задача 11.** В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке а, при разомкнутом ключе сила тока через амперметр равна $I_1 = 0,5$ А, а при замкнутом $I_2 = 0,8$ А. Определите разность потенциалов между контактами разомкнутого ключа, если ЭДС каждого источника $\mathcal{E} = 2,0$ В, а их внутренние сопротивления одинаковы.



Ответы. **Задача 6:** рис. г – $0 \leq R \leq 47$ Ом; рис. д – $0 \leq R \leq 11,7$. **Задача 7:** $30 \text{ Ом} \leq R \leq 41,7 \text{ Ом}$. **Задача 8:** рис. а – $0 \leq R \leq 18,3 \text{ Ом}$; рис. в – $0 \leq R \leq 8,4 \text{ Ом}$. **Задача 10:** амперметр идеальный. **Задача 11:** 1,5 В.

6. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

§ 6-1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, ПРОТЕКАЯ ПО ПРОВОДНИКАМ, СОВЕРШАЕТ РАБОТУ

При протекании тока (направленном движении зарядов) в проводнике электрическая энергия источника превращается в другие виды энергии: тепловую, химическую, световую, механическую и т.д. Мерой превращения энергии из одного вида в другой является работа. Работа электрического тока – это работа по перемещению зарядов. Она определяется по формуле: $A = Uq$, где A – работа электрического тока, Дж; U – напряжение (разность потенциалов) на концах проводника, по которому переместился заряд, В; q – заряд, Кл.

Для практического использования удобна формула: $A = UIt$, где заряд заменен произведением силы тока и времени $q = It$.

Проводники, в которых электрический ток совершает работу, как следствие, нагреваются. Согласно закону сохранения энергии, в них происходит превращение электрической энергии во внутреннюю Q , мерой которого является работа тока, определяемая по формуле $A = Q = UIt$.

Если потребители электроэнергии соединены последовательно, то сила тока в них одинакова и для расчета совершенной работы и выделявшейся теплоты удобно пользоваться формулой $A = Q = I^2 Rt$.

Если же потребители соединены параллельно и находятся под одинаковым напряжением, то работу и количество теплоты вычисляют по формуле: $A = Q = \frac{U^2}{R} t$.



а)



б)

Задание 6-1-1.

На цоколе миниатюрных ламп накаливания обычно указывают номинальные (рабочие) значения напряжения и силы тока (рис. а, б).

Вычислите номинальную работу в лампах накаливания, прилагаемых в комплекте, за 1 секунду, 1 минуту и 1 час.

§ 6-2. МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА – ЭТО РАБОТА ТОКА, ВЫПОЛНЕННАЯ ЗА ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ.

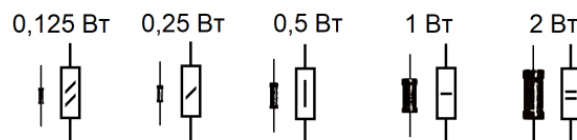
Мощность тока вычисляется по формуле $P = \frac{A}{t}$, где P – мощность, измеряется в ваттах, сокращенно Вт (в честь английского изобретателя Джеймса Уатта).

Для практического применения удобна формула: $P = IU$, которая выводится так:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IUt}{t} = IU.$$

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

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



а)

На условных обозначениях мощности обозначаются черточками, нарисованными на символах резисторов (рис. а).

Обычно на принципиальных схемах радиоэлектронных приборов указывается мощность используемого резистора. Отсутствие указания мощности резистора означает, что

на нем выделяется ничтожно малая мощность и можно применять любой резистор с данным сопротивлением.

Примечание. Помните, что превышение номинальной мощности потребителя электрической энергии не допускается – он может выйти из строя (сгореть)!

Контрольные вопросы.

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?

Задание 6-2-1.

Используя закон Ома для участка цепи, выведите еще две формулы мощности:

$$P = I^2 R \text{ и}$$

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

Задание 6-2-2.

Определите мощность и напряжение питания бытовых электроприборов: осветительной лампы, утюга, пылесоса и др.

Мощность потребителей электрической энергии и напряжение питания указывается в их паспортах и на корпусах.

Задание 6-2-3.

По номинальным значениям напряжения и силы тока миниатюрных ламп накаливания, указанным на цоколе (рис. а, б задания 6-1-1), определите: а) номинальную мощность P ; б) номинальное сопротивление R .

Задание 6-2-4.

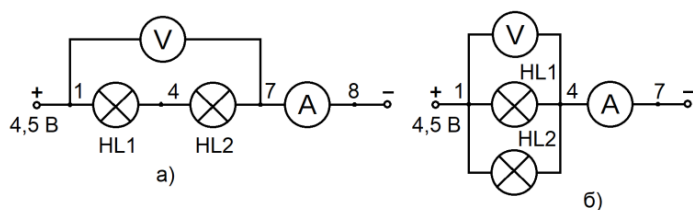
Составьте схемы и самостоятельно исследуйте, какую общую мощность потребляют две одинаковые лампы накаливания при их последовательном и параллельном соединениях к источнику одного и того же напряжения. Используйте амперметр и вольтметр.

Задание 6-2-5. Сравните работу электрического тока в двух одинаковых лампах при их последовательном и параллельном соединении.

1. Соберите цепь из двух последовательно соединённых ламп (рис. а) и определите работу электрического тока в них за 1 секунду, 1 минуту и 1 час при напряжении.
2. Соедините эти лампы параллельно (рис. б) и определите работу электрического тока за то же время.

Результаты опыта занесите в таблицу.

3. Объясните, почему при параллельном соединении в лампах совершается большая работа электрического тока, чем при их последовательном соединении (при неизменном общем напряжении).



Таблица

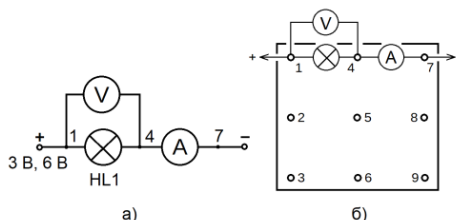
Способ соединения	U, В	I, А	А, Дж		
			1 сек	1 мин	1 час
Последовательное					
Параллельное					

Задание 6-2-6. Определите мощности лампы накаливания.

1. Вычислите номинальную мощность лампы по напряжению и силе тока, значения которых указаны на цоколе. Данные занесите в первую строку таблицы.

2. Соберите цепь (рис. а) и определите потребляемую мощность лампы при напряжении питания 3 В (вторая строка таблицы) и 6 В (третья строка таблицы).

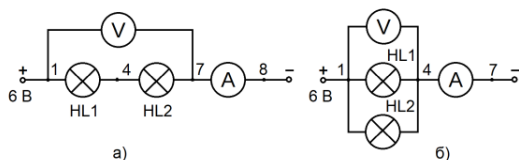
3. Сравните полученные результаты и сделайте вывод о том, от чего зависит потребляемая мощность лампы.



Таблица

№ опыта	U, В	I, А	P, Вт
1			
2			
3			

Задание 6-2-7. Сравните общую мощность ламп при их параллельном и последовательном соединении.



Таблица

№ опыта	U, В	I, А	P, Вт
1			
2			
3			

1. Соберите цепь (рис. а) и по показаниям приборов вычислите потребляемую мощность двумя последовательно соединёнными лампами.

2. Соберите цепь (рис. б) и вычислите мощность, потребляемую двумя параллельно соединёнными лампами.

Результаты опытов занесите в таблицу и объясните различие мощности ламп в обоих случаях.

Задание 6-2-8. Изучите зависимость сопротивления спирали лампы накаливания и количества выделившейся теплоты в ней от силы тока.

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°C , α – температурный коэффициент сопротивления.

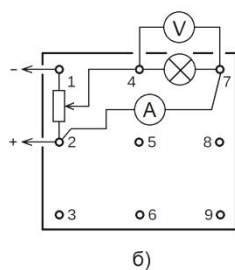
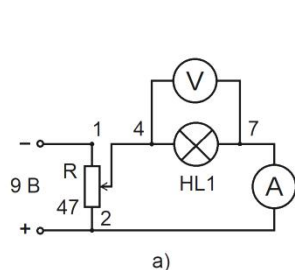
Отсюда $t = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_t}{R_0} - 1 \right)$. Эта формула дает возможность рассчитывать, т. е. косвенно измерять, высокие температуры.

Что мы знаем о величинах, входящих в эти формулы? Для вольфрама, из которого изготовлена нить накала ламп, α примерно равен $5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ при комнатной температуре и $6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ 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°C 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.

1. Соберите цепь (рис. а, б) и по показаниям приборов вычислите сопротивление спирали лампы и количество выделившейся теплоты за 1 секунду при напряжениях 1,5 В, 3 В, 6 В. Результаты опыта занесите в таблицу.



Таблица

№ опыта	U, В	I, А	R, Ом	Q, Дж
1				
2				
3				

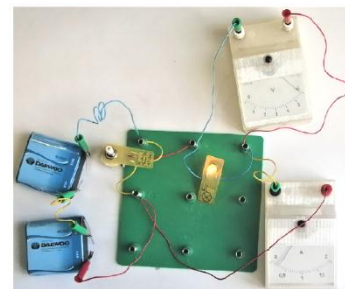
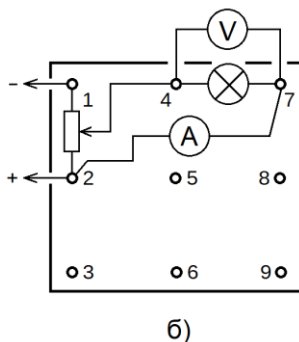
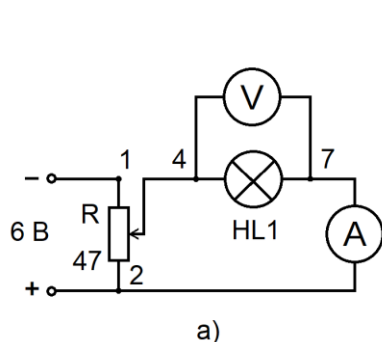


Фото 1

Вопрос. Как сопротивление спирали лампы зависит от силы тока в ней? Почему?

Здание 6-2-9. Постройте график вольтамперной характеристики лампы накаливания.

1. Соберите цепь (рис. а, б).
2. Плавно увеличивая напряжение на лампе от 0 до 6 В, следите за изменением яркости лампы. Данные занесите в таблицу и для каждого случая вычислите сопротивление спирали лампы.
3. Постройте график вольтамперной характеристики спирали лампы и объясните причину искривления линии зависимости $I = f(U)$ в сторону оси U .



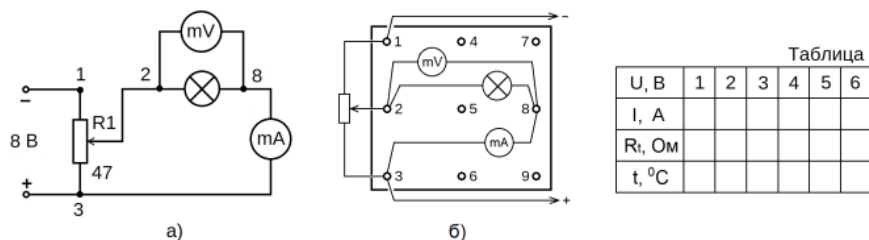
Таблица

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

Здание 6-2-10. Постройте график зависимости сопротивления нити накала лампы от ее температуры. Показания приборов и результаты вычислений занесите в таблицу.

1. Соберите электрическую цепь по рис. а. 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_0 нити накала.
3. Смените в схеме миллиамперметр амперметром, а милливольтметр вольтметром.
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 R_t и ее температуру t .
6. По табличным данным на миллиметровой бумаге постройте график зависимости сопротивления 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 $R_t = R_0(1 + \alpha t)$?



К сведению.

Использованная установка (рис. а) 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: $W = \sigma T^4$.

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

Мощность излучения определяется как произведение напряжения на лампе и силы тока в ней: $W = P = IU$.

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

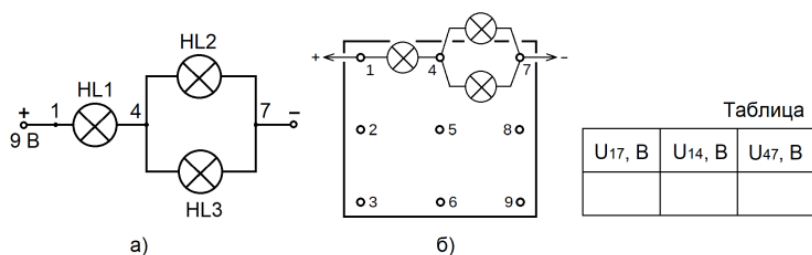
Сопротивление нити R_0 при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и R_t при температуре t определяют вышеописанным способом. Показания приборов и результаты вычислений записывают в таблицу.

Таблица								
U, В	I, А	R ₀ , Ом	R _t , Ом	t, °С	T, К	T ⁴ , К ⁴	W, Дж	W/T ⁴ , Дж./К ⁴
7								
8								
9								

Задание 6-2-11. Изучите влияние степени накала спирали лампы в электрических схемах на сопротивление цепи.

1. Соберите цепь со смешанным соединением из трех ламп.
2. Подайте на участок цепи напряжение 9 В и обратите внимание на различие яркости ламп. Объясните наблюдаемое явление.
3. Измерьте общее напряжение на лампах и предположите его распределение между участками 1-4 (на лампе HL_1) и 4-7 (на параллельно соединённых лампах HL_2 и HL_3).
4. Измерьте напряжение на участках 1-4 и 4-7 и объясните результаты наблюдения с учетом графика вольтамперной характеристики лампы накаливания из предыдущего опыта.

Примечание. В холодном состоянии все лампы имеют одинаковые сопротивления.



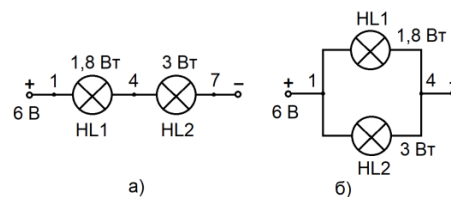
Задание 6-2-12. Демонстрация зависимости выделения тепла в лампах с разными сопротивлениями (мощностями) от способа соединения.

1. Соберите цепь, где две лампы разной мощности (разными сопротивлениями спиралей) включены параллельно.

Обратите внимание на то, что лампа большей мощности (с меньшим сопротивлением) горит ярче. В ней выделяется больше тепла.

2. Включите эти лампы последовательно и обратите внимание на то, что теперь больше тепла выделяет лампа меньшей мощности (с большим сопротивлением).

Объясните наблюдаемый факт.



§ 6-3. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД) ПОКАЗЫВАЕТ ДОЛЮ ПОЛЕЗНОЙ РАБОТЫ ОТ ЗАТРАЧЕННОЙ (ПОЛНОЙ)

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

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} 100\%; \quad \eta = \frac{R}{R+r} 100\%; \quad \eta = \frac{U}{\mathcal{E}} 100\%.$$

Буквенные обозначения означают:

η – коэффициент полезного действия (КПД), %; $A_{\text{пол}}$ – полезная работа электрического тока, совершенная на внешнем участке цепи (на нагрузке), Дж; $A_{\text{затр}}$ – затраченная (полная) источником тока работа, Дж; R – сопротивление внешнего участка цепи, Ом; r – сопротивление внутреннего участка цепи (источника тока), Ом; U – напряжение на внешнем участке цепи (на нагрузке), Ом; $\mathcal{E}$ – электродвижущая сила (ЭДС) источника тока, В.

Помните, что на основании закона сохранения энергии КПД не может быть выше единицы. Полезная совершённая работа никогда не превысит затраты энергии, необходимые для её выполнения.

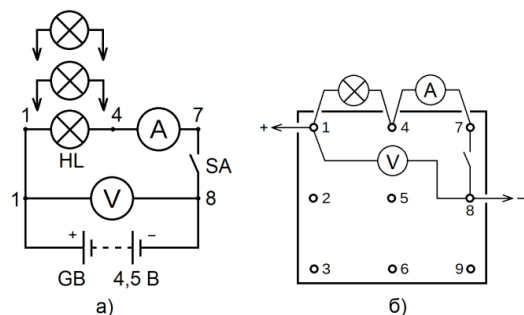
Задание 6-3-1. Рассчитайте коэффициент полезного действия замкнутой электрической цепи.

1. Соберите цепь по рис. а, б, где в качестве нагрузки (внешнего участка) источника питания возьмите лампу.

2. Измерьте ЭДС и напряжение на внешнем участке при трех разных нагрузках: одна лампа, две и три параллельно соединенных лампы. Для каждого случая вычислите КПД (η) замкнутой цепи. Вольтметр и амперметр считать идеальными.

3. Объясните, как и почему изменяется КПД с увеличением количества ламп.

Вопрос. Изменяются ли ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока во время эксперимента.



Таблица

Нагрузка	$\mathcal{E}$ (ЭДС), В	U , В	$\eta = \frac{U}{\mathcal{E}} 100\%$

Задание 6-3-2. Постройте график зависимости КПД источника тока от сопротивления внешней нагрузки.

1. По аналогии с заданием 3-8-5 или иным способом определите ЭДС $\mathcal{E}$ и внутреннее сопротивление батареи элементов r .

Предлагаем использовать батарейку типа «Крона», которая имеют ЭДС около 8 – 9 В и внутреннее сопротивление около 6 – 9 Ом.

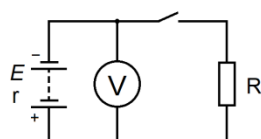
2. Соберите схему по рис. а, где резистор R представляет собой внешнюю нагрузку.

3. Комбинируя последовательное и параллельное соединения имеющихся в комплекте резисторов 10 Ом – 2 шт., 20 Ом – 2 шт., 30 Ом – 2 шт., меняйте сопротивление внешнего участка цепи (нагрузки) согласно таблице и фиксируйте показания вольтметра.

4. Используя формулы $\eta = \frac{R}{R+r}$ и $\eta = \frac{U}{\mathcal{E}}$, вычислите КПД цепи для каждого случая.

5. По результатам эксперимента постройте графики (рис. б, в) и убедитесь, что с увеличением сопротивления внешнего участка цепи КПД стремится к единице.

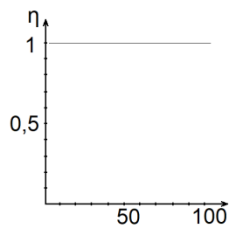
6. Зная, что при равенстве сопротивлений $R = r$ КПД цепи составляет 50 % ($\eta = 0,5$), по графику на рисунке а определите значение внутреннего сопротивления.



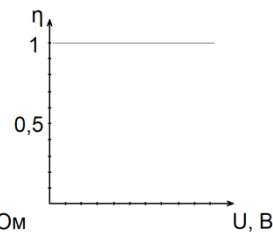
а)

Таблица

R, Ом	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U, В											
η											



б)



в)

Задание 6-3-3. Исследуйте зависимость полезной мощности цепи от сопротивления нагрузки.

1. Определите ЭДС и внутреннее сопротивление r батареи гальванических элементов.

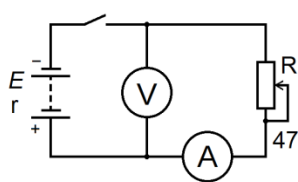
2. Соберите цепь по рисунку а. Увеличивая фиксированные значения сопротивления переменного резистора от меньшего значения внутреннего сопротивления до большего, снимите показания приборов, которые занесите в таблицу. (Например, если внутреннее сопротивление источника тока составляет 8 Ом, то при отключенной цепи омметром можно подобрать сопротивления переменного резистора 2 Ом, 4 Ом, 6 Ом, 8 Ом, 10 Ом, 12 Ом, 14 Ом).

3. По показаниям приборов определите полезную мощность замкнутой электрической цепи и убедитесь, что она максимальная при равенстве сопротивлений: $R = r$.

4. Результаты исследования оформите в виде графика зависимости полезной мощности цепи от сопротивления нагрузки.

5. Анализируя график, убедитесь, что одну и ту же полезную мощность можно получить при различных сопротивлениях нагрузки: $R_1 < r < R_2$.

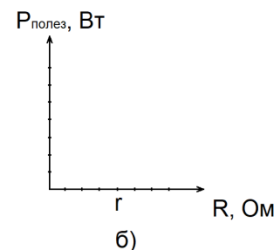
6. Сравнивая результаты данного и предыдущего исследований, убедитесь в том, что понятия максимального КПД и максимальной полезной мощности цепи несовместимы.



а)

Таблица

I, А						
U, В						
R, Ом						
$P_{\text{полез}}, \text{Вт}$						



б)

Контрольные вопросы и задания.

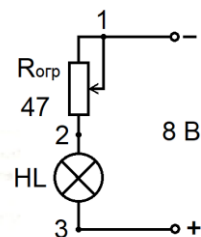
1. Как нужно подключить к источнику тока два одинаковых нагревательных элемента, чтобы они давали наибольшее количество теплоты: последовательно или параллельно.

2. Две миниатюрные лампы накаливания и *МН 6,3 В х 0,3 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 экспериментом 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. а). На нем падает часть общего напряжения и этим он предохраняет потребитель от перегрузки.

а) Вычислите сопротивление и мощность ограничительного резистора $R_{огр.}$, который нужно включить в цепь последовательно, с лампой *МН 6,3 В х 0,3 А*, если напряжение питания в этой цепи 8 В.

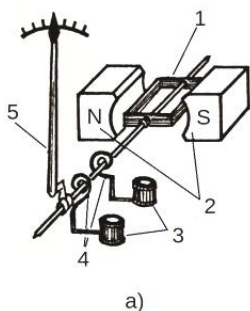
б) Проверьте Ваши расчеты экспериментом, собрав электрическую цепь по рис. а. В качестве $R_{огр.}$ возьмите переменный резистор 47 Ом, предварительно подобрав расчетное сопротивление, используя омметр.



а)

7. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ: АМПЕРМЕТР, ВОЛЬТМЕТР, ОММЕТР, МУЛЬТИМЕТР, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ УИТСТОНА

§ 7-1. ЕЩЕ РАЗ ОБ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ: АМПЕРМЕТРЕ И ВОЛЬТМЕТРЕ



На рис. а показано устройство стрелочного электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы. Принцип его действия основан на взаимодействии проволоочной рамки (катушки) 1, по которой течет ток, с магнитным полем постоянного магнита 2. Подводимый к клеммам 3 измеряемый ток проходит в рамку через токоведущие спиральные пружины 4. К рамке прикреплена стрелка 5. Чем большей силы ток протекает по катушке, тем на больший угол поворачивается рамка со стрелкой по действию силы Ампера, действующей со стороны магнитного поля на проводник (рамку) с током.

Электроизмерительные приборы обладают собственным сопротивлением. Поэтому они своим присутствием оказывают влияние на параметры цепи (силу тока, напряжение и сопротивление).

§ 7-2. АМПЕРМЕТР ВКЛЮЧАЕТСЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО С УЧАСТКОМ ЦЕПИ И ИЗМЕРЯЕТ СИЛУ ТОКА

Амперметр, включаемый последовательно с участком цепи (рис. а), где нужно измерить силу тока, собственным сопротивлением увеличивает общее сопротивление цепи. Поэтому его сопротивление должно быть во много раз меньше сопротивления этого участка.

На условной электрической схеме амперметра (рис. б) видно, что сопротивление R_A амперметра уменьшено включением шунта с малым сопротивлением R_{III} параллельно катушке с сопротивлением R_K :

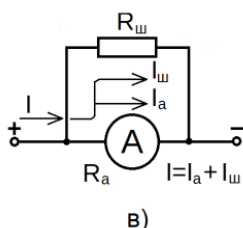
$$R_A = \frac{R_K \cdot R_{III}}{R_K + R_{III}}.$$

Этот шунт входит в состав электрической схемы прибора и располагается внутри корпуса. Шунт создает обходной путь для измеряемого тока I : малая его часть I_K протекает по катушке, большая часть I_{III} — по шунту: $I = I_K + I_{III}$. Причем I_{III} намного больше I_K .

Чем меньше сопротивление амперметра, тем точнее он измеряет силу тока.

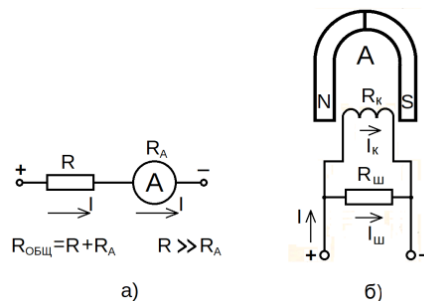
Часто для расширения предела измерения амперметра параллельно ему подключают ещё внешний шунт с небольшим сопротивлением R_{III} , как показано на рис. в.

Введем следующие условные обозначения:



- I — полная сила тока в цепи;
- I_A — сила тока, протекающего через амперметр;
- I_{III} — сила тока, протекающего через внешний шунт;
- U_A — напряжение на амперметре;
- U_{III} — напряжение на шунте;
- R_A — сопротивление амперметра;
- R_{III} — сопротивление шунта.

Если сопротивление внешнего шунта R_{III} известно, то, используя закономерности параллельного соединения проводников, можно определить сопротивление амперметра R_A . Покажем это:



$$I = I_A + I_{ш}; \quad U_A = U_{ш}; \quad I_A R_A = I_{ш} R_{ш}; \quad I_A R_A = (I - I_A) R_{ш}; \quad R_A = \frac{I - I_A}{I_A} R_{ш}.$$

Контрольные вопросы.

1. На чем основана работа амперметра магнитоэлектрической системы?
2. Как устроен амперметр магнитоэлектрической системы?
3. Какую роль играет шунт, встроенный внутрь амперметра?
4. Для чего иногда к амперметру подключают внешний шунт?
5. Каковы правила включения амперметра в электрическую цепь постоянного тока?
6. По какой формуле можно вычислить сопротивление амперметра? Выведите ее.

Задание 7-2-1.

Определите сопротивление амперметра.

Показания приборов и результаты вычислений занесите в таблицу.

1. Соберите электрическую цепь по рис. а. В ней лампа играет роль нагрузки.
2. Измерьте силу тока I в цепи.
3. Включите параллельно амперметру шунт с известным сопротивлением $R_{ш}$ (рис. б) и измерьте силу тока I_a , протекающего через амперметр.
4. Вычислите по полученным данным сопротивление амперметра R_a .

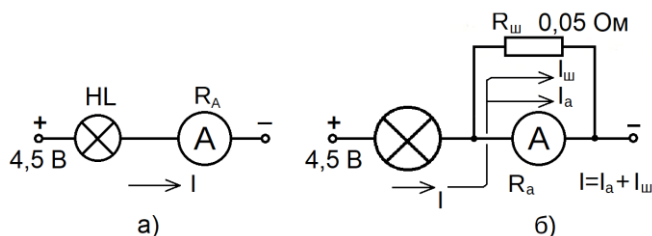


Таблица				
I, A	I _a , A	R _ш , Ом	R _a , Ом	R _a ., Ом

Задание 7-2-2.

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

1. Из формулы $R_A = \frac{I - I_A}{I_A} R_{ш}$ выведите формулу для расчета сопротивления шунта $R_{ш}$.

$R_{ш}$.

2. Воспользуйтесь в качестве известной величины ранее определённым сопротивлением амперметра R_a .
3. Недостающие величины найдите путем измерения на установках, собранных по схемам а и б предыдущего задания, где в качестве шунта $R_{ш}$ возьмите исследуемый провод.

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?

Задание 7-2-3.

Найдите коэффициент расширения предела измерения амперметра.

Результаты опытов и вычислений занесите в таблицу.

1. Соберите электрическую цепь по рис. а и определите силу тока I в цепи.
2. Подключите параллельно к амперметру шунт с известным

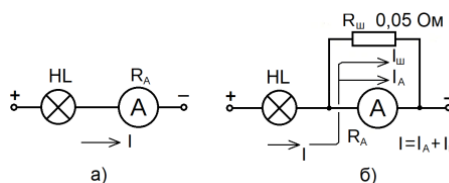


Таблица		
I, A	I _a , A	n

сопротивлением (рис. б) и измерьте по показанию амперметра силу тока I_A , протекающего через прибор.

3. Определите, во сколько раз увеличился предел измерения амперметра: $n = \frac{I}{I_A}$.

Задание 7-2-4.

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

1. По результатам предыдущего задания проградуируйте шкалу амперметра. Для этого 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.

Контрольные вопросы.

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

2. Как можно сделать амперметр из вольтметра магнитоэлектрической системы, а из вольтметра амперметр?

§ 7-3. ВОЛЬТМЕТР ВКЛЮЧАЕТСЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО К УЧАСТКУ ЦЕПИ И ИЗМЕРЯЕТ НАПРЯЖЕНИЕ

Вольтметр магнитоэлектрической системы похож на амперметр той же конструкции. В отличие от амперметра вольтметр включают параллельно участку цепи сопротивлением R , на котором нужно измерить напряжение (рис. а).

Вольтметр, включаемый к измерительному участку параллельно, своим собственным сопротивлением уменьшает общее сопротивление участка. Это ведет к искажению (уменьшению) значения измеряемого напряжения.

Поэтому сопротивление вольтметра многократно должно превосходить сопротивление измеряемого участка. Чем больше сопротивление вольтметра R_V сопротивления измеряемого участка R , тем точнее показание вольтметра и тем меньше искажений он вносит в работу цепи.

Идеальным считается вольтметр с очень большим сопротивлением, через который идет пренебрежимо малый ток, который в задачах не учитывается.

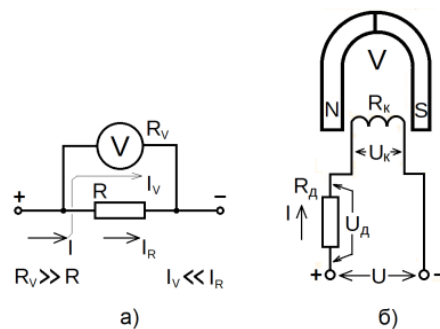
На условной электрической схеме вольтметра (рис. б) видно, что его сопротивление R_B увеличено включением добавочного резистора R_D последовательно с катушкой с сопротивлением R_K , находящейся между полюсами постоянного магнита: $R_B = R_D + R_K$. Дополнительный резистор R_D обладает большим сопротивлением и включается внутри корпуса последовательно с катушкой.

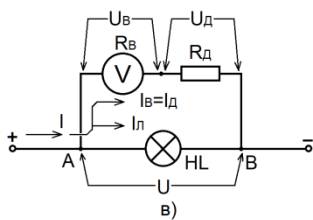
Измеряемое напряжение U распределяется между добавочным резистором R_D и катушкой R_K : $U = U_D + U_K$. Причем напряжение U_D намного больше U_K .

Здесь U_D — напряжение на добавочном резисторе, U_K — напряжение на катушке.

Если к вольтметру подключить последовательно добавочное внешнее сопротивление R_d (рис. в), то на основании закономерностей параллельного и последовательного соединений можно рассчитать его сопротивление R_B .

Введем следующие условные обозначения:





I_B - сила тока через вольтметр;
 I_D - сила тока через добавочное сопротивление;
 U - напряжение на участке AB;
 U_B - показание вольтметра с добавочным сопротивлением;
 U_D - напряжение на добавочном сопротивлении;
 R_B - сопротивление вольтметра;
 R_D - сопротивление внешнего добавочного резистора.

Сопротивление вольтметра вычисляется так:

$$U = U_B + U_D; \quad I_B = I_D; \quad U_D = U - U_B; \quad \frac{U_B}{R_B} = \frac{U - U_B}{R_D}, \quad \text{откуда} \quad R_B = R_D \frac{U_B}{U - U_B}.$$

Контрольные вопросы.

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?

Задание 7-3-1. Определите сопротивление вольтметра.

Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

1. Соберите электрическую цепь по рис. а. В ней лампа играет роль нагрузки исследуемого участка AB.

2. Измерьте напряжение U на этом участке AB.

3. Возьмите добавочный $R_D = 10 \text{ кОм}$.

4. Измерьте напряжение U_B на прежнем участке AB, включив последовательно с вольтметром добавочный резистор R_D (рис. б).

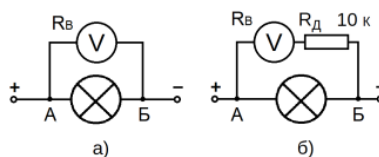


Таблица			
U, В	R_D , Ом	U_B , В	R_B , Ом

5. Рассчитайте сопротивление вольтметра R_B : $R_B = R_D \frac{U_B}{U - U_B}$.

6. Определите коэффициент расширения n предела измерения вольтметра: $n = \frac{U}{U_B}$.

Задание 7-3-2. Рассчитайте относительное входное сопротивление вольтметра

$R_{\text{отн. вх}}$

Эта величина характеризует качество вольтметра и равна сопротивлению прибора, приходящемуся на 1 В измеряемого вольтметром напряжения. Ее вычисляют по формуле

$R_{\text{отн. вх}} = \frac{R_B}{U_{\text{пред}}}$, где $U_{\text{пред}}$ - предел измерения вольтметра. Чем больше относительное входное сопротивление вольтметра, тем точнее производимые им измерения.

Задание 7-3-3.

Что показывают на рис. а амперметр и вольтметр? Истинность ваших рассуждений проверьте на опыте.

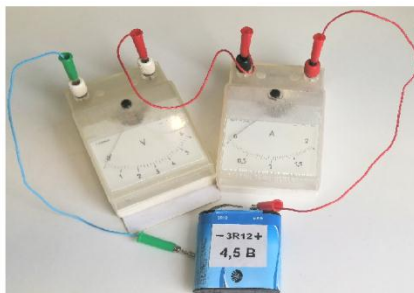
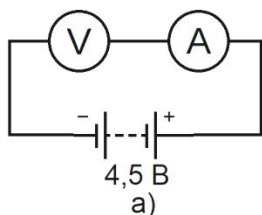


Фото 1

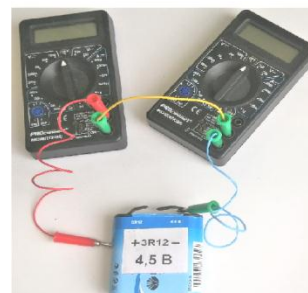


Фото 2

Задание 7-3-4. 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 7-3-5. Определите сопротивление добавочного резистора к лабораторному вольтметру, необходимого для увеличения его предела измерения от 6 В до 20 В.

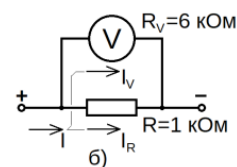
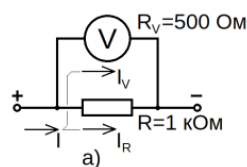
1. Выведите формулу для расчета сопротивления добавочного резистора.

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

3. Если понадобится значение сопротивления вольтметра R_V , его можно взять из предыдущих заданий или измерить омметром.

Задание 7-3-6.

Для измерения напряжения на одном и том же участке цепи использованы два вольтметра с разными сопротивлениями (рис. а, б). Который из них предпочтительнее? Почему?



Задание 7-3-7.

Зная сопротивление вольтметра из предыдущих исследований, определите неизвестное сопротивление резистора 3...20 кОм, используя его в качестве добавочного. Для этого:

1) составьте схемы опытов;

2) выведите формулу для вычисления сопротивления добавочного резистора;

3) проведите эксперимент и вычисления.

Задание 7-3-8

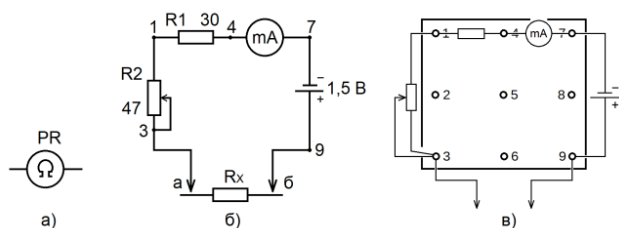
1. Возьмите в кабинете физики лабораторные амперметр и вольтметр с прозрачным корпусом и внимательно рассмотрите их устройство и объясните принцип работы. Найдите встроенный шунт амперметра и добавочный резистор вольтметра.

Примечание. При отсутствии измерительных приборов в прозрачных корпусах возьмите вышедшие из строя, которые всегда имеются в школе, и изучите их внутреннее устройство, предварительно разобрав их.

2. Объясните, почему шунт расширяет предел измерения амперметра, а добавочное сопротивление (резистор) – вольтметра.

§ 7-4. ОММЕТР – ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

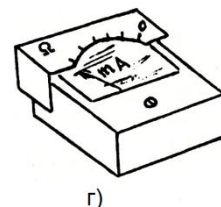
Омметр – это электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения электрического сопротивления. Условное обозначение омметра приведено на рис. а. Модель омметра можно составить по принципиальной схеме, показанной на рис. б. Он состоит из



источника тока, электроизмерительного прибора (миллиамперметра) и последовательно соединенных резисторов: постоянного R_1 и переменного R_2 . Суммарное сопротивление резисторов R_1 и R_2 определяет максимальное отклонение стрелки измерительного прибора. Примерное

сопротивление омметра (без учета сопротивления самого прибора) можно вычислить по закону Ома: $R_1 + R_2 = \frac{U_{\text{пит}}}{I_{\text{пред}}}$, где $U_{\text{пит}}$ – напряжение источника питания, $I_{\text{пред}}$ – предельно допустимый ток, который может идти по прибору.

У многопредельного омметра в качестве R_1 используется несколько резисторов с разными сопротивлениями. Переменный резистор R_2 корректирует установку стрелки прибора на нуль. Обратите внимание, что «Нуль» омметра, в отличие от амперметра и вольтметра, находится у крайнего правого деления шкалы стрелочного прибора, соответствующему максимальному току.



Омметр имеет щупы (штекеры или зажимы типа «крокодил») а и б для подключения к исследуемым участкам. При подключении к входу омметра участка R_x (рис. б) 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.

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 останавливается стрелка, ставят цифры, равные значениям сопротивлений включенных резисторов (рис. г).

Контрольные вопросы.

1. Каково назначение омметра?
2. Как устроен омметр?
3. Почему «нуль» омметра на шкале стрелочного прибора находится справа?
4. Какую роль играет переменный резистор R_2 в электрической схеме омметра?
5. Как градуируют шкалу омметра?

Задание 7-4-1.

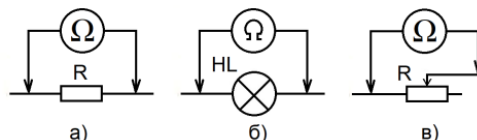
1. Возьмите омметр стрелочный и ознакомьтесь с ним. Обратите внимание, что он имеет источник питания из одного или нескольких гальванических элементов.

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. а);
- б) проверки целостности изолированных проводов и лампы (рис. б).

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



Задание 7-4-2.

Соберите конструкцию модели омметра.

1. Соберите электрическую цепь омметра (рис. а, б). Лабораторный миллиамперметр магнитоэлектрической системы включите на предел измерения «5 мА».
2. Замкните накоротко свободные концы щупов, соединив их между собой. Переменным резистором R_2 установите предельное (максимальное) отклонение стрелки измерительного прибора, что соответствует нулевому сопротивлению между щупами.
3. Сделанный вами модель омметра используйте для:
 - проверки целостности нити накала лампы;
 - обнаружения обрыва в проводе.
4. Проградуируйте модель омметра для измерения сопротивлений резисторов.

§ 7-5. ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР СЕРИИ М83 – УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

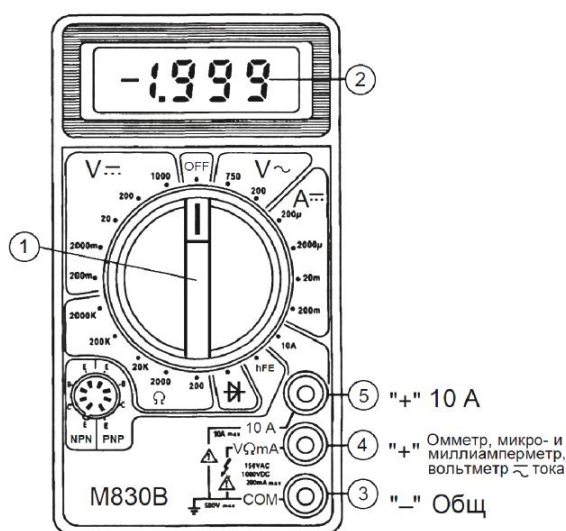
В последние годы наряду со стрелочными (шкальными) измерительными приборами в школьной практике находят применение цифровые измерительные приборы. Одними из таких приборов являются цифровые мультиметры серии М83, рекомендуемые для использования учащимися при выполнении физического эксперимента (кратковременных опытов, лабораторных работ, физического практикума).

Назначение.

Мультиметры серии М83 (рис. а, фото 1) представляют собой портативный (70 x 126 x 24 мм, 170 г) электроизмерительный прибор с цифровым мультиметром с 3,5-разрядным жидкокристаллическим индикатором (дисплеем) 2 (максимальное индуцируемое число 1999) с батарейным питанием.

Эти мультиметры предназначены для измерения постоянного (сектор V-) и переменного (сектор V~) напряжений, постоянного тока (сектор A-), сопротивления (сектор Ω), коэффициента усиления транзисторов (сектор hFE), температуры (сектор °C), проверки (прозвонки) цепей на обрыв (сектор •)), проверки целостности диодов и транзисторов (сектор ∇), содержит генератор сигналов для испытания усилительных цепей (сектор $\square$).

Режим работы прибора переключается ручкой 1.



а)



Фото

Особенности

1. Для работы мультиметра используется батарея типа «Крона» напряжением 9 В (или аналогичные), которая располагается в отсеке, находящемся в нижней части задней крышки прибора. Срок службы батареи составляет около 100 часов. Появление на экране условного изображения батареи сигнализирует о том, что надо заменить «севшую» батарею на «свежую». Для замены батареи нужно отключить щупы прибора от исследуемой цепи (обесточить) и открыть заднюю крышку, предварительно открутив два шурупа (фото 2).

2. Мультиметр в электрическую цепь включается при помощи черного и красного проводников, оканчивающихся металлическими щупами. Черный провод рекомендуется всегда вставлять в общее гнездо «СОМ» 3, который включается к потенциалу «-» измеряемого участка цепи. Красный провод, включаемый к потенциалу «+» цепи, в зависимости от рода измерений включается в среднее гнездо ($V\Omega mA$) 4 или в верхнее гнездо «10A» 5.

При другой полярности включения проводов высвечивается знак «-» на дисплее, что на целостность мультиметра не влияет.

Примечание. Если при эксплуатации мультиметра вы взяли за правило красный провод включать к гнезду «+», а черный к «-», это избавит вас от необходимости при каждом измерении проверять правильность включения щупов.

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.

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

Погрешность измеряемой величины определяется как $\pm$ (% отсчитываемых данных плюс количество единиц младшего разряда).

Внимание!

1. Для защиты прибора при измерении силы постоянного тока до 200 мА используется предохранитель с номиналом «0,5 А / 250 В», расположенный в том же отсеке, где находится батарея питания. Измерение силы тока «10 А» и все другие измерения производятся, минуя предохранитель.

2. 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 авторы столкнулись 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 авторы рекомендуют зафиксировать шнур в трубке держателя при помощи деревянного или иного клина так, чтобы он не вращался и, следовательно, не рвался.

Примечание. Для измерения электрических величин мультиметром мы предлагаем использовать соединительные проводники, прилагаемые к данному комплекту.

Задание 7-5-1. Ознакомьтесь с техническими возможностями распространённых мультиметров серии M83.

Таблица

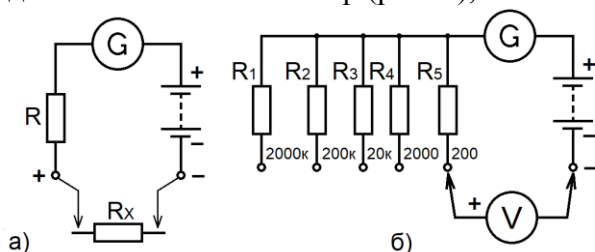
Параметры	M830B (DT830B)	M832 (DT832)	M838 (DT838)	Точность
Напряжение постоянного тока	200 мВ - 1000 В			± 0,5 %
Напряжение переменного тока	200 В - 750 В			± 1 %
Постоянный ток	200 мкА - 10 А	2000 мкА - 10 А		± 1,8 %
Сопротивление	200 Ом - 2000 кОм			± 1 %
Измерение температуры	Нет	Нет	(-40...+1370) °C	± 1 %
Проверка транзисторов (hFE)	Да	Да	Да	—
Тестирование диодов	Да	Да	Да	—
Прозвонка цепи	Нет	Да	Да	—
Генератор сигнала	Нет	Да	Нет	—

Задание 7-5-2. Измерьте напряжение между щупами омметра на различных диапазонах измерений сопротивлений.

1. Упрощённая схема омметра показана на рис. а. Она состоит из измерителя тока G , ограничительного резистора R , источника напряжения GB . Значение сопротивления R зависит от выбранного диапазона измерения.

Принцип измерения неизвестного сопротивления R_x заключается в том, что измеряемый участок уменьшает силу тока в цепи, что отображается на дисплее (у стрелочного прибора на шкале) мультиметра в виде сопротивления измеряемого участка.

2. Измерьте выходное напряжение между щупами омметра на различных диапазонах, подключая к ним вольтметр (рис. б), и заполните таблицу.



Таблица

Диапазон	200 Ом	2000 Ом	20 кОм	200 кОм	2000 кОм
Напряжение, В					

Задание 7-5-3. Измерьте сопротивление проводников.

Оборудование: мультиметр M830B, макетная плата с пружинными контактами, постоянные резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 1 кОм, 10 кОм, 300 кОм; переменный резистор 47 Ом.

1. Подготовьте мультиметр для измерения сопротивления:

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

- 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. Возможно, что на пределах «200» и «2000» у вас вместо последнего нуля будет какое-то число, что допускается.

2. Измерьте сопротивление постоянных резисторов. Установите переключатель функций на требуемый диапазон сектора «Ω» и присоедините концы щупов к концам

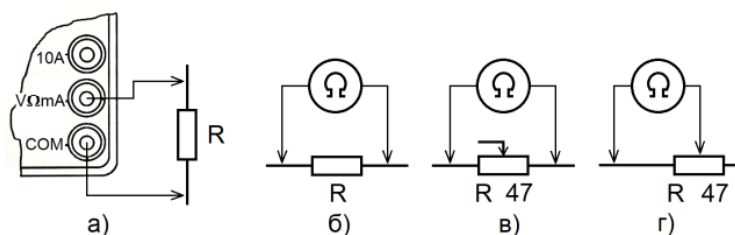
резистора (рис. а, б). По показанию дисплея определите сопротивление резистора. Таким образом, определите сопротивления всех прилагаемых постоянных резисторов.

Внимание:

- измеряемый участок электрической цепи должен быть обесточен и отключен от соединения с другими участками;
- избегайте одновременного касания руками выводов резистора и щупов (человеческое тело можно рассматривать как проводник с определенным сопротивлением);
- при возникновении на дисплее знака перегрузки «1» необходимо переключиться на более высший предел измерений.

3. Измерьте сопротивление переменного резистора:

- измерьте полное сопротивление переменного резистора (рис. в);
- соберите цепь по рис. г и, медленно перемещая движок резистора из одного крайнего положения до другого, следите за показанием дисплея. Объясните причину изменения показания прибора.



Задание 7-5-4. Измерьте постоянное напряжение.

Внимание!

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

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

1. Подготовьте мультиметр для измерения постоянного напряжения. Для этого подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. а, б).

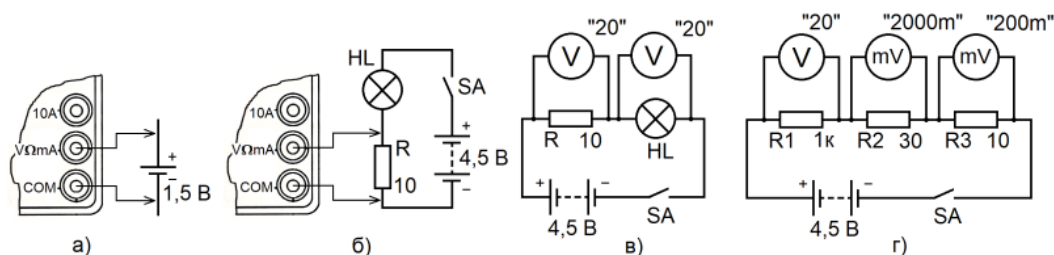
2. Найдите сектор «V-» на панели прибора, содержащий пять пределов измерения постоянного напряжения: 1000 В, 200 В, 20 В, 2000 мВ (2 В), 200 мВ (0,2 В).

3. 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.

4. Произведите измерение постоянного напряжения других прилагаемых источников питания.

5. Измерьте напряжение на участке цепи. Соберите цепь по рис. и поочередно измерьте напряжение на участках R и HL , используя мультиметр как вольтметр постоянного тока.

6. Соберите цепь по рисунку г и поочередно измерьте напряжение на участках R_1 , R_2 , R_3 , используя мультиметр как вольтметр или милливольтметр.



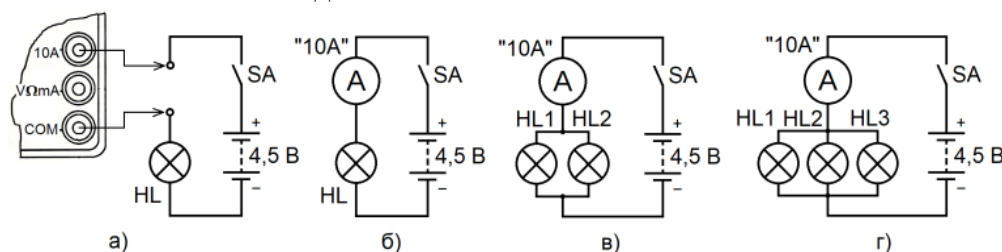
Задание 7-5-5. Измерьте силу постоянного тока в диапазоне от 200 мА до 10 А.**Внимание!**

Мультиметр в качестве амперметра (миллиамперметра, микроамперметра) включается в цепь только последовательно с участком, где измеряется сила тока. Непосредственное включение щупов к источнику тока не допускается. Это вызовет короткое замыкание, что может привести к выходу из строя и мультиметра, и источника питания.

Только для измерения силы постоянного тока в диапазоне от 200 мА до 10 А красный провод включается в верхний разъем «10А» (рис. а). При остальных измерениях силы тока в диапазонах 200μ (200 мкА), 2000μ (2000 мкА), 20m (20 мА), 200m (200 мА) красный провод включается в средний разъем «VΩmA».

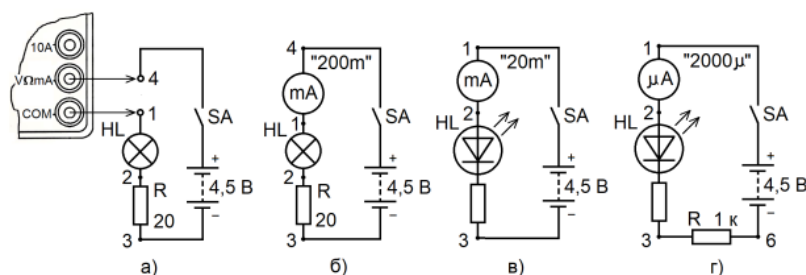
Время измерения силы тока на пределе «10 А» не должно быть более 15 секунд.

1. Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока до 10 А. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «10А» (верхнее гнездо) (рис. а, фото).
2. Найдите в секторе «А-» на панели прибора предел измерения постоянного тока «10 А» и против него установите ручку переключателя рода работ.
3. Соберите поочередно электрические цепи, в которых произведите измерение силы тока в одной лампе (рис. а, б), в двух параллельно соединённых лампах (рис. в), в трёх параллельно соединённых лампах (рис. г).
4. Повторите измерения, изменив полярность включения щупов в цепь, и объясните причину появления знака «-» на дисплее.

**Задание 7-5-6. Измерьте силу постоянного тока в диапазоне от 200 мкА до 200 мА**

Внимание! Измерение силы постоянного тока в диапазоне от 200 мкА до 200 мА защищено плавким предохранителем номиналом «0,5 А / 200 В», который установлен в батарейном отсеке. При его сгорании на этих пределах сила тока не измеряется.

1. Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока до 200 мА. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис. а).
2. Найдите сектор «А-» на панели прибора и диапазоны измерения постоянного тока: 200μ (200 мкА), 2000μ (2000 мкА), 20m (20 мА), 200m (200 мА).
3. Измерьте силу постоянного тока до 200 мА. Для этого соберите поочередно электрические цепи, в которых произведите измерение силы тока, используя мультиметр как миллиамперметр (рис. а, б, в) и микроамперметр (рис. г).



Задание 7-5-7. Измерьте переменное напряжение.**Внимание!**

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

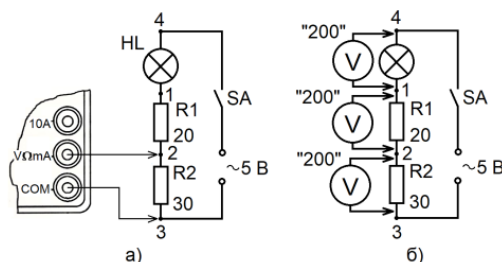
Мультиметр предназначен для измерения переменного напряжения частотой 45 – 450 Гц.

1. Подготовьте мультиметр для измерения переменного напряжения. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо) (рис.).

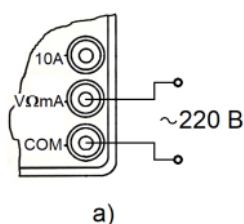
2. Найдите сектор «V~» на панели прибора, содержащий два предела измерения переменного напряжения: 200 В и 750 В.

3. 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.

4. Произведите измерение переменного напряжения на участках R_1 , R_2 , HL и общее напряжение на них (рис. 13, б), подключая параллельно к ним вольтметр с пределом измерения «200 В».



Внимание! Измерение переменного сетевого напряжения производится преподавателем.



Для этого ручка переключателя функций устанавливается против предела «750 В». Мультиметр располагается на горизонтальной поверхности вблизи источника напряжения 220 В. Щупы проводников, включенные в нижнее (COM) и среднее «VΩmA» гнезда мультиметра (рис. а), с учетом мер предосторожности вставляются в сетевую розетку. При этом на дисплее высветится действующее напряжение сети.

Задание 7-5-8. Проверьте (прозвоните) цепь на обрыв.**Примечание.**

а. Функцию прозвонки цепей имеют только мультиметры М832 и М838. Технические характеристики мультиметров приведены в задании 8-5-1.

б. Перед прозвонкой обязательно обесточьте проверяемый участок цепи.

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

1. Подготовьте мультиметр для прозвонки цепей. Подключите черный провод (щуп) к разъему «COM» (нижнее гнездо), а красный к разъему «VΩmA» (среднее гнездо).

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

3. Проверьте (прозвоните) целостность проводников. Щупами мультиметра касайтесь выводов проверяемых участков: резисторов, ламп, проводников. Если сопротивление участка окажется меньше (30 ± 20) Ом, то будет звучать звуковой сигнал зуммера. При наличии обрыва в испытываемом участке или большом его сопротивлении звукового сигнала не будет.

Задание 7-5-9. Измерьте температуру.**Примечание.**

- Функцией измерения температуры обладает мультиметр марки M838.
- Диапазон измеряемых температур составляет от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $1370\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Для измерения температуры объекта прилагается термопара.

1. Измерьте температуру окружающей среды. Для этого установите переключатель функций против сектора « $^{\circ}\text{C}$ », и на дисплее появится температура окружающей среды в градусах, выраженных по шкале Цельсия.

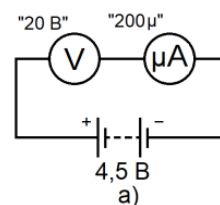
2. Измерьте температуру объекта.

Установите переключатель функций против сектора « $^{\circ}\text{C}$ », термопару включите к разъемам «СОМ» и « $\text{V}\Omega\text{mA}$ ». Коснитесь термопарой исследуемого объекта и на экране появится его температура, выраженная в $^{\circ}\text{C}$.

Примечание. Испытание диодов, транзисторов и усилительных каскадов будет рассматриваться ниже при изучении соответствующих тем.

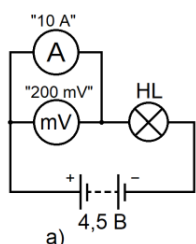
Задание 7-5-10. Измерьте сопротивление вольтметра.

1. Соберите цепь по рисунку а, где вольтметр, входящий в состав мультиметра, показывает напряжение U_V на собственном сопротивлении R_V , а микроамперметр другого мультиметра измеряет силу тока $I_{\mu\text{A}}$ через вольтметр.



2. По показаниям приборов вычислите сопротивление:

$$R_V = U_V / I_{\mu\text{A}}.$$

**Задание 7-5-11. Измерьте сопротивление амперметра.**

1. Соберите цепь по рисунку а, где амперметр показывает силу тока в лампе, а милливольтметр измеряет напряжение на внутреннем сопротивлении амперметра.

2. По показаниям приборов измерьте сопротивление амперметра:

$$R_A = U_{mV} / I_A.$$

3. Сравните сопротивление вольтметра, вычисленное в предыдущем задании, с сопротивлением амперметра.

Задание 7-5-12.

По аналогии с предыдущими заданиями составьте схемы и измерьте сопротивления входящих в состав мультиметра милливольтметров, миллиамперметров и микроамперметров.

§ 7-6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ УИТСТОНА

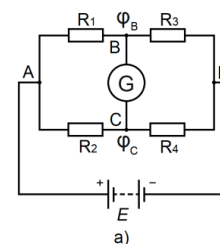
Для измерения различных физических величин с высокой точностью широко используется так называемый «Измерительный мост Уитстона», предложенный в 1833 году Самуэлем Хантером Кристи (Англия) и усовершенствованный в 1843 году Чарльзом Уитстоном (Англия).

Одинарный мост постоянного тока (мост Уитстона) состоит из четырех резисторов, образующих плечи моста: участки AB (R_1), BD (R_3), AC (R_2), CD (R_4). AD – диагональ питания моста; BC – измерительная диагональ.

Одинаковость потенциалов $\varphi_B = \varphi_C$ выполняется при условии:

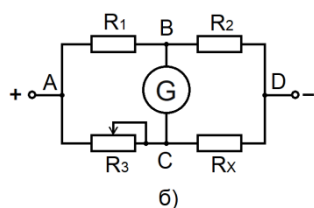
$$R_1 R_4 = R_2 R_3; \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}; \quad \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}.$$

В данном случае точки В и С являются точками равного потенциала и напряжение между ними равно нулю: $U_{AB} = \varphi_B - \varphi_C = 0$. При



этом сила тока через измерительный прибор (здесь гальванометр) отсутствует. Такой мост Уитстона называется сбалансированным.

Сбалансированный мост Уитстона широко используется для измерения неизвестного сопротивления участка цепи. Для этого в одно из плеч моста включается неизвестное сопротивление R_x , в другое плечо переменный резистор (реостат) (рис. б).



Регулируя сопротивление переменного резистора, добиваются того, чтобы потенциалы на концах измерительной диагонали ВС стали одинаковыми, о чем свидетельствует отсутствие тока через прибор G. Сопротивление переменного резистора измеряется омметром. Из условия сбалансированности моста определяется

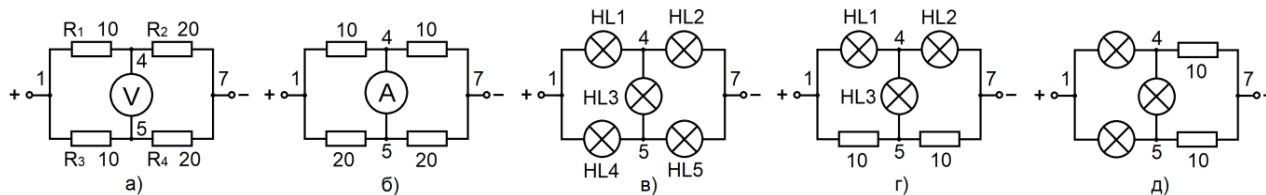
$$\text{неизвестное сопротивление: } R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$

Задание 7-6-1. Проверьте условия выполнения равенства потенциалов на концах измерительной диагонали сбалансированного моста Уитстона.

1. Убедитесь на опытах, что точки 4 и 5 имеют одинаковые потенциалы (с учетом погрешностей резисторов 5 %), о чем свидетельствует отсутствие: напряжения на вольтметре (рис. а); силы тока в амперметре (рис. б); свечения ламп HL₃ (рис. в, г, д).

Обратите внимание на то, что во всех случаях произведения сопротивлений участков, взятых по диагоналям, равны. Например, на рисунке а имеем: $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$; $10 \cdot 20 = 20 \cdot 10$. Это условие выполняется в цепи, приведенной на рисунке б. При аналогичном расчете по рисункам в, г, д имейте в виду, что во всех схемах использованы одинаковые лампы.

2. Используя резисторы 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, светодиоды, лампы, вольтметр и амперметр, разработайте схемы, которые демонстрируют, что между точками равного потенциала напряжение и сила тока отсутствуют.



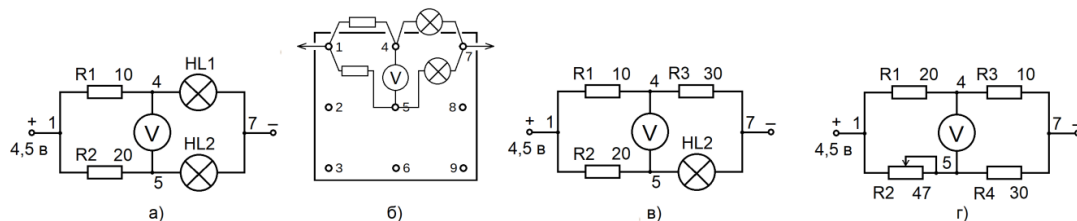
Задание 7-6-2. Определите уровни потенциалов на концах измерительной диагонали несбалансированного моста Уитстона.

1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. Предположите полярность потенциалов точек 4 и 5 относительно друг друга. Ваш вывод проверьте экспериментом, включив между этими точками вольтметр.

3. Укажите правильную полярность включения вольтметра между точками 4 и 5 (рис. в). Соберите цепь и ваш вывод проверьте экспериментально.

4. На рис. г, увеличивая или уменьшая сопротивление переменного резистора, по показанию вольтметра убедитесь в изменении полярностей точек 4 и 5. Объясните наблюдаемое явление.

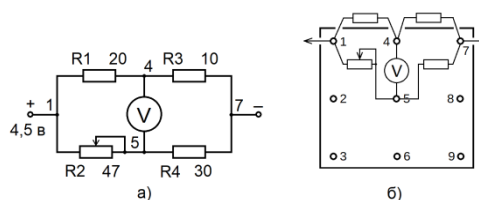


Задание 7-6-3. Вычислите сопротивление балансирующего резистора по методу моста Уитстона.

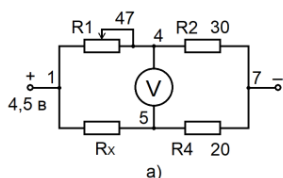
1. Соберите цепь (рис. а).

2. Перемещая ползунок переменного резистора R_2 , сбалансируйте мост.

2. Измерьте омметром сопротивление переменного резистора R_2 и убедитесь в правильности расчёта: $R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3}$.



Задание 7-6-4. Вычислите сопротивление неизвестного резистора по методу моста Уитстона.



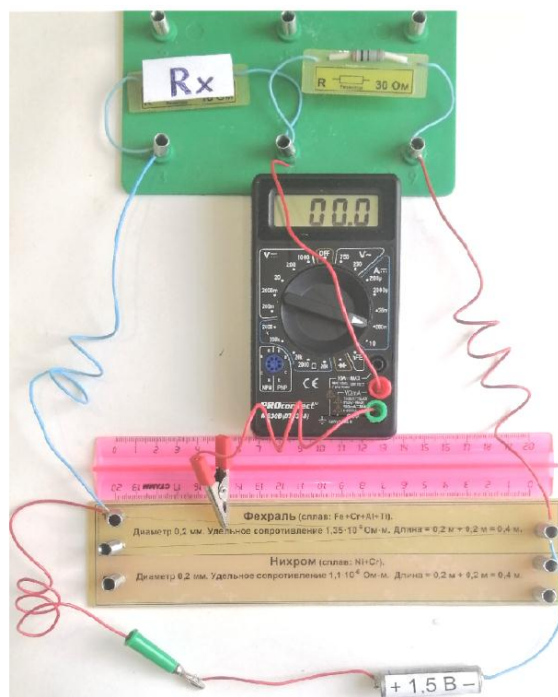
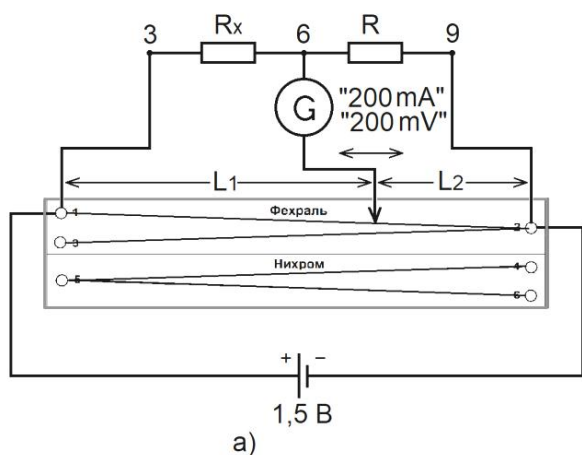
1. Соберите цепь по рис. а, где в качестве участка неизвестным сопротивлением возьмите резистор 10 Ом, маркировку которого скройте наклейкой.

2. Перемещая ползунок переменного резистора R_1 , приведите к равенству потенциалы точек 4 и 5 так, чтобы вольтметр не показывал напряжения между ними. Омметром измерьте сопротивление переменного резистора, необходимого для балансировки моста.

3. По методу моста Уитстона, исходя из условия равновесия, вычислите сопротивление участка R_x .

§ 7-7. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ РЕОХОРДНЫЙ

Задание 7-7-1. Изучите принцип работы реохорда, используемого для измерения сопротивления проводника.



Фото

На рисунке а представлен мост Уитстона, предназначенный для измерения сопротивлений участков цепи с высокой точностью. Диагональ питания включается к элементу 1,5 В (батарею 4,5 В необходимо включить через ограничивающий ток резистор 30 Ом). Измерительную диагональ представляет собой гальванометр, роль которого выполняет мультиметр, включенный либо как вольтметр постоянного напряжения на пределе 200 мВ, либо как миллиамперметр постоянного тока на пределе 200 мА.

Измерительный прибор включается между резисторами R_x , R и участками L_1 , L_2 , являющимися частью фехралевого провода, выполняющего в данном эксперименте роль реохорда.

Участки R_x , R , L_1 , L_2 являются плечами измерительного моста Уитстона. При сбалансированности моста выполняется равенство: $L_2 R_x = L_1 R$.

1. Используя различные резисторы, имеющиеся в вашем распоряжении, перемещая скользящий контакт вдоль фехралевого провода, добейтесь сбалансированности моста и проверьте справедливость вышеприведенного равенства.

2. В качестве плеча R возьмите резистор 10 Ом, плечо R_x замените прилагаемым в комплекте медным эмалированным проводом диаметром 0,28 мм длиной 1 - 2 м.

Приведите мост в равновесие и определите сопротивление провода: $R_x = \frac{L_1 R}{L_2}$.

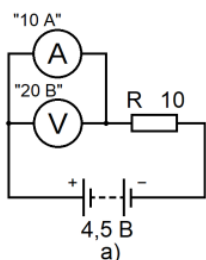
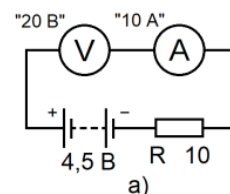
3. Плечо R_x замените соединительным проводом, используемым при сборке цепей. Зная сопротивление медного провода (плечо R) из пункта 2, реохордом сбалансируйте мост и вычислите сопротивление провода (оно составляет тысячные доли ома).

§ 7-8. ЗАДАЧИ ЕГЭ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Задача 1.

1. Что показывают амперметр и вольтметр (рис. а)? (Приборы могут быть школьные, стрелочные, лабораторные или входящие в состав цифрового мультиметра: вольтметр на пределе «20 В», амперметр на «10 А»).

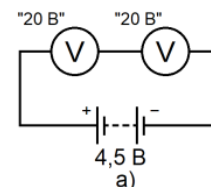
2. В правдивости ваших рассуждений убедитесь на опыте.



Задача 2.

1. Что показывают амперметр и вольтметр (рис. а).

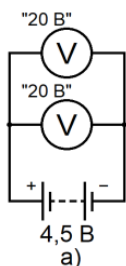
2. В правдивости ваших рассуждений убедитесь на опыте.



Задача 3.

1. Два одинаковых вольтметра (например, в составе мультиметра, включенные на пределе «20 В») соединены последовательно с батареей, как показано на рисунке а). Каковы их показания?

2. Ваш ответ проверьте экспериментом и объясните наблюдаемый факт.



Задача 4.

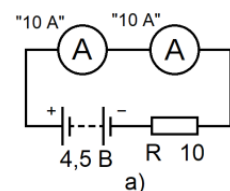
1. Два одинаковых параллельно соединенных вольтметра включены к источнику напряжения (рис. а). Каковы их показания?

2. Ваш ответ проверьте экспериментом и объясните наблюдаемый факт.

Задача 5.

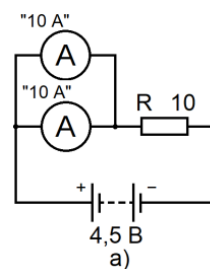
1. Два одинаковых амперметра включены последовательно между собой и с участком R 10 Ом. Каковы их примерные показания с учетом падения части ЭДС на сопротивлении внутреннего участка батарейки?

2. Результаты ваших вычислений подтвердите экспериментом.

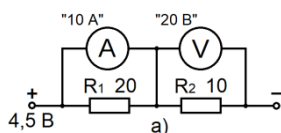


Задача 6.

1. Два одинаковых амперметра включены между собой параллельно и последовательно с участком R 10 Ом. Каковы их примерные показания с учетом падения части ЭДС на сопротивлении внутреннего участка батарейки?



2. Результаты ваших вычислений подтвердите экспериментом.

**Задача 7.**

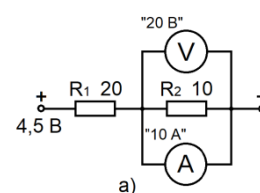
1. Что показывают измерительные приборы, включенные параллельно участкам R_1 и R_2 (рис. а)?

2. Соберите цепь и ваш вывод проверьте на опыте.

Задача 8.

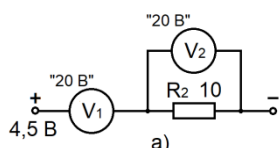
1. Что показывает каждый из приборов, включенных параллельно участку сопротивлением 10 Ом (рис. а)?

2. Соберите цепь и ваш вывод проверьте экспериментом.

**Задача 9.**

1. Каковы показания вольтметров (рис. а)?

2. Ваши предположения подтвердите экспериментом и объясните наблюдаемый факт.



Задача 10*. Определите сопротивления миллиамперметра и милливольтметра, имея соленый огурец (или картофель), цинковую и медную пластины, соединительные проводники.

Примечания.

1. Задача была составлена автором для учащихся 9 кл. финала 38-ой Всероссийской олимпиады школьников.

2. Перед решением задачи предлагаем повторить задания 7-5-10 и 7-5-11.

3. Сопротивление милливольтметра определяется по показаниям приборов в схеме, собранной по рисунку **а** и фото 1.

4. Для определения сопротивления миллиамперметра собирается схема по рисунку **б** и фото 2.

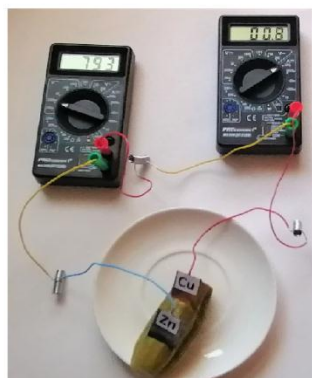
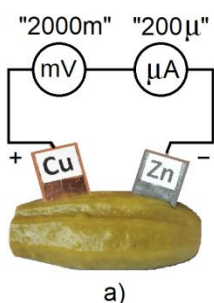


Фото 1

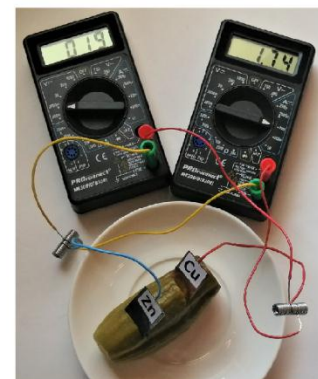
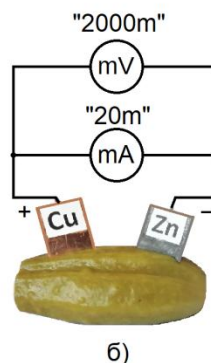


Фото 2

Задача 11.

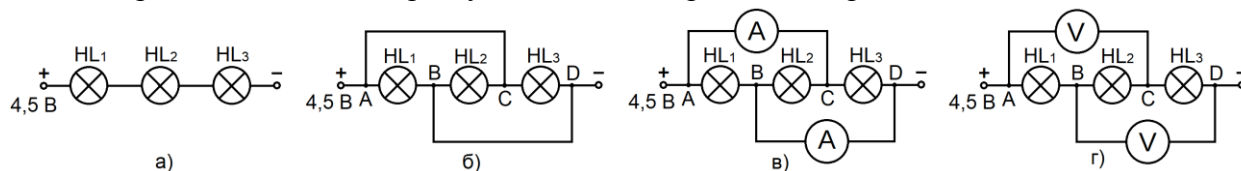
1. К трем последовательно соединенным лампам (рис. а) включаются шунты (рис. б), амперметры (рис. в), вольтметры (рис. г).

Объясните:

- каким способом соединены между собой лампы на рисунке б;
 - как и почему изменяются яркости ламп на рисунках б и в по сравнению с рисунком а;

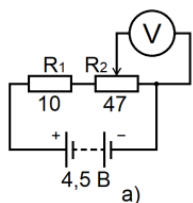
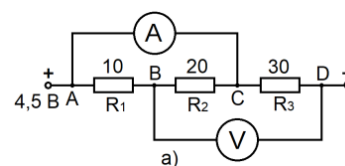
- что показывают приборы на рисунках в и г.

2. Правильность ваших рассуждений подтвердите экспериментом.

**Задача 12.**

1. Что показывают измерительные приборы в схеме, собранной по рисунку а?

2. Правильность вашего решения проверьте экспериментом.

**Задача 13.**

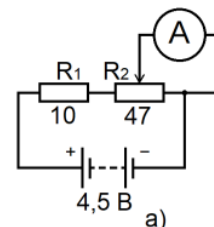
1. Предположите, как будет изменяться показание вольтметра при перемещении ползунка переменного резистора 47 Ом (рис. а) от крайнего правого положения до крайнего левого положения.

2. Справедливость ваших рассуждений проверьте экспериментом.

Задача 14.

1. Предположите, как будет изменяться показание амперметра при перемещении ползунка переменного резистора 47 Ом (рис. а) от крайнего правого положения до крайнего левого положения.

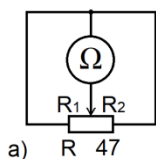
2. Справедливость ваших рассуждений проверьте экспериментом.

**Задача 15.**

1. Предположите, как будет изменяться показание омметра при перемещении ползунка переменного резистора 47 Ом (рис. а) от крайнего левого положения до крайнего правого положения.

2. Предположите, как соотносятся сопротивления R_1 левого и R_2 правого участков переменного резистора, если ползунок находится в таком положении, когда омметр показывает наибольшее сопротивление цепи.

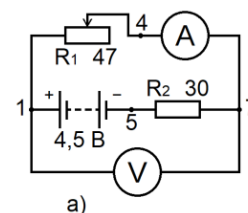
3. Справедливость ваших рассуждений проверьте экспериментом.

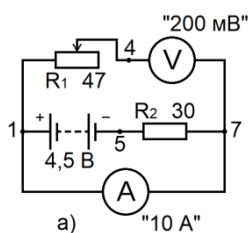
**Задача 16.**

1. Предположите, как будут изменяться показания неидеальных измерительных приборов при перемещении ползунка переменного резистора R_1 от крайнего правого положения до крайнего левого положения (рис. а). Внутренним сопротивлением батарейки можно пренебречь.

2. Ваши вычисления подтвердите экспериментом с учетом погрешностей, даваемых приборами, резисторами и пренебрежением внутренним сопротивлением источника тока.

3. По показаниям приборов в крайних положениях измерьте сопротивление амперметра и полное сопротивление переменного резистора.



**Задача 17.**

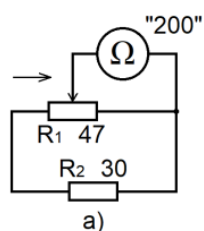
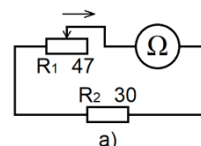
1. Предположите, как будут изменяться показания неидеальных измерительных приборов при перемещении ползунка переменного резистора R_1 от крайнего правого положения до крайнего левого положения (рис. а). Внутренним сопротивлением батарейки можно пренебречь.

2. Ваши рассуждения подтвердите экспериментом с учетом погрешностей, даваемых приборами, резисторами и пренебрежением внутренним сопротивлением источника тока.

Задача 18.

1. Предположите, в каких пределах будет изменяться показание омметра при перемещении ползунка переменного резистора от крайнего левого положения до крайнего правого (рис. а).

2. Ваши рассуждения подтвердите экспериментом.

**Задача 19*.**

1. Предположите, в каких пределах будет изменяться показание омметра при перемещении ползунка переменного резистора от крайнего правого положения до крайнего левого (рис. а).

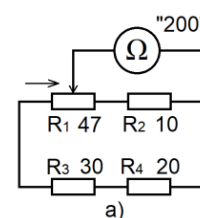
2. Ваши рассуждения подтвердите экспериментом.

Задача 20*.

1. Предположите, в каких пределах будет изменяться показание омметра при перемещении ползунка переменного резистора от крайнего левого положения до крайнего правого (рис. а).

2. Вычислите сопротивление цепи, если ползунок переменного резистора находится в середине.

2. Ваши рассуждения подтвердите экспериментами.



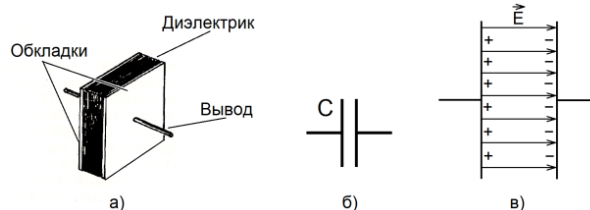
Ответы. **Задача 1:** $U = 4,5 \text{ В}$; $I = 0$. **Задача 2:** $U = 0$; амперметр показывает силу тока через резистор. **Задача 3:** каждый из них показывает половину напряжения, имеющегося на выводах батарейки. **Задача 4:** каждый из них показывает напряжение на выводах батарейки, примерно равное ЭДС. **Задача 5:** Показания амперметров одинаковы и равны силе тока, проходящего через резистор. **Задача 6:** сумма показаний амперметров равняется силе тока, проходящего через резистор. **Задача 7:** $I \approx 0,45 \text{ А}$; $U \approx 4,5 \text{ В}$. **Задача 8:** $I \approx 0,22 \text{ А}$; $U = 0$. **Задача 9:** $U_1 = 4,5 \text{ В}$; $U_2 = 0$. **Задача 10:** из соленого огурца и пластин образуется источник напряжения; соединив измерительные приборы последовательно, определяется сопротивление милливольтметра, параллельно – сопротивление миллиамперметра. **Задача 12:** амперметр шунтирует резисторы R_1 , R_2 и показывает силу тока в резисторе R_3 $I \approx 0,14 \text{ А}$; вольтметр показывает напряжение на резисторе R_3 $U \approx 4,2 \text{ В}$. **Задача 15:** $(R_1 / R_2) = 1$. **Задача 16:** $U_1 \approx 17 \text{ мВ}$, $I_1 \approx 170 \text{ мА}$; $U_2 \approx 2,7 \text{ В}$, $I_2 \approx 0,056 \text{ А}$. **Задача 17:** амперметр шунтирует последовательно соединенные R_1 , вольтметр и показывает силу тока, протекающего через R_2 ; вольтметр показывает напряжение (примерное) на сопротивлении амперметра; при перемещении ползунка показания приборов не изменяются. Примечание: сопротивление вольтметра многократно больше полного сопротивления переменного резистора. **Задача 18:** от 30 Ом до 77 Ом. **Задача 19:** от 18 Ом до 0 без учета сопротивления проводников. **Задача 20:** левое положение – 26,6 Ом, правое – 9 Ом; 23 Ом.

8. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЁМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОРЫ

§ 8-1. КОНДЕНСАТОР – ЭТО НАКОПИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Конденсаторы, как и резисторы, – наиболее распространенные электро- и радиотехнические детали.

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



На рисунке б показано общее условное графическое обозначение конденсатора.

Если одну из обкладок конденсатора зарядить, то другая приобретает равный заряд противоположного знака (рис. в) и в пространстве между ними возникает электрическое поле.

§ 8-2. ЭЛЕКТРОЁМКОСТЬ ХАРАКТЕРИЗУЕТ СПОСОБНОСТЬ КОНДЕНСАТОРА НАКАПЛИВАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Основная характеристика конденсатора – его электрическая ёмкость (или сокращенно «ёмкость»). Она характеризует способность конденсатора накапливать электрический заряд;

обозначают ее буквой C . Ёмкость определяют по формуле $C = \frac{q}{U}$, где q – заряд конденсатора, Кл; U – напряжение между его обкладками, В. Отсюда можно уяснить физический смысл этой величины: емкость конденсатора численно равна заряду, который увеличивает на единицу напряжение между его обкладками.

За единицу емкости принят фарад (Ф), названный в честь известного английского ученого Майкла Фарадея, который внёс огромный вклад в развитие учения об электричестве, проведя серию важнейших опытов.

Ёмкость 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 это величина 1 фарад, скажем, что емкость даже земного шара по разным оценкам составляет меньше 1 Ф.

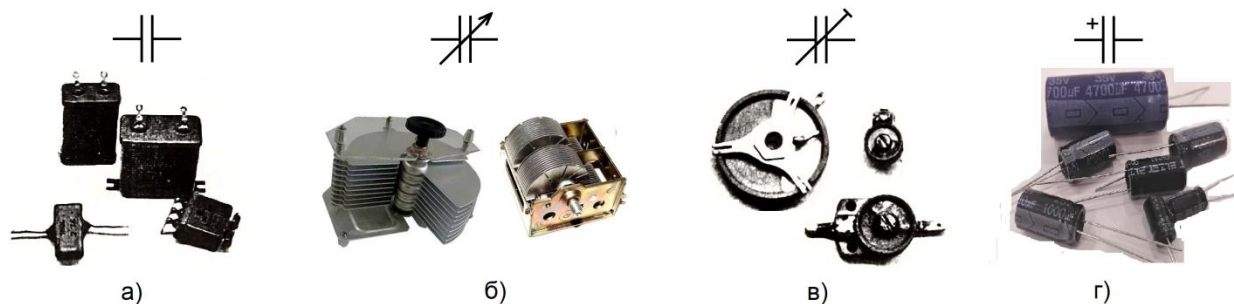
На практике для удобства используют более мелкие единицы ёмкости: микрофарад (обозначают мкФ; $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$), нанофарад (нФ, $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$) и пикофарад (пФ, $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$). Между ними существует такое соотношение: $1 \text{ Ф} = 10^6 \text{ мкФ} = 10^9 \text{ нФ} = 10^{12} \text{ пФ}$; $1 \text{ мкФ} = 10^3 \text{ нФ} = 10^6 \text{ пФ}$; $1 \text{ нФ} = 10^3 \text{ пФ}$.

§ 8-3. КОНДЕНСАТОРЫ БЫВАЮТ ПОСТОЯННОЙ ЁМКОСТИ, ПЕРЕМЕННЫЕ И ПОДСТРОЕЧНЫЕ

Конденсаторы, ёмкость которых не регулируется, называются конденсаторами постоянной ёмкости (рис. а). В зависимости от используемого диэлектрика между обкладками они называются бумажными, слюдяными, керамическими и т.д.

Конденсаторы, ёмкость которых можно менять в заданных интервалах, называются конденсаторами переменной ёмкости и подстроечными (рис. б, в).

Особую группу конденсаторов постоянной ёмкости составляют электролитические (оксидные) конденсаторы (рис. г). Их включают в цепь постоянного напряжения, обязательно соблюдая полярность выводов.



§ 8-4. ОБОЗНАЧЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМАХ

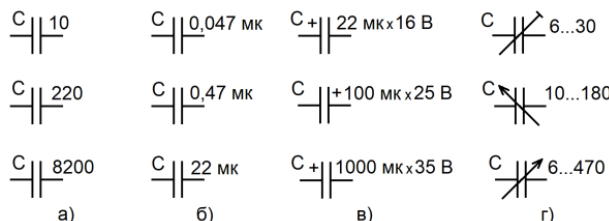
Для конденсаторов постоянной ёмкости на схеме рядом с условным графическим обозначением указывают значение ёмкости в пикофарадах и микрофарадах.

При ёмкости менее 0,01 мкФ (10 000 пФ) ставят число пикофарад без обозначения размерности, например, 10, 220, 8200 (рис. а).

Для ёмкости 0,01 мкФ и более ставят число микрофарад с добавлением букв «мк», например, 0,047 мк, 0,47 мк, 22 мк (рис. б).

У электролитических конденсаторов возле одной из обкладок проставляют знак «+». Для них также указывают номинальное напряжение (оно написано на корпусе конденсатора) – 22 мк х 16 В, 100 мк х 25 В, 1000 мк х 35 В (рис. в).

Для конденсаторов переменной ёмкости и подстроечных конденсаторов указывают пределы изменения ёмкости при крайних положениях подвижной части - ротора, например, 6...30, 10... 180, 6...470 (рис. г).



§ 8-5. КОДИРОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

На корпусах конденсаторов номинальные ёмкости кодируются двумя или тремя цифрами и буквами латинского алфавита: *p* — пикофарады; *n* — нанофарады; *μ* — микрофарады.

Номинальные ёмкости до 91 пФ выражают в пикофарадах, используя для обозначения букву *p*; от 100 пФ до 9100 пФ - в долях нанофарады; от 0,01 мкФ до 0,091 мкФ - в нанофарадах, которая обозначается буквой *n*.

Ёмкости от 0,1 мкФ и более выражают в микрофарадах, используя для этого букву *μ*.

Обозначение единицы ёмкости ставят:

- впереди числа, если ёмкость выражается десятичной дробью: *p*91 (0,91 пФ), *n*15 (0,15 нФ = 150 пФ), *μ*47 (0,47 мкФ);

- вместо запятой, если ёмкость составляет целое число с десятичной дробью: *1p*6 (1,6 пФ), *5n*1 (5,1 нФ), *3μ*3 (3,3 мкФ);

- после числа, если ёмкость конденсатора равна целому числу: *10p* (10 пФ), *22n* (22 нФ), *50μ* (50 мкФ).

Таблица

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

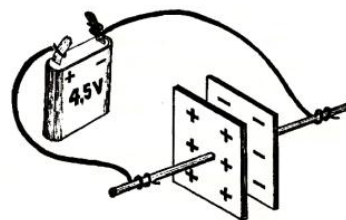
Допустимые отклонения ёмкости в процентах маркируются после номинального значения ёмкости буквенным кодом согласно таблице.

§ 8-6. КОНДЕНСАТОР – НАКОПИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

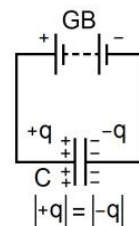
Конденсатор при подключении к источнику тока на своих обкладках накапливает электрическую энергию (электрические заряды). Причём, на обкладках накапливаются равные заряды, но противоположные по знаку (рис. а, б).

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле: $W = \frac{CU^2}{2}$, где: C – емкость конденсатора, Ф; U – напряжение на обкладках, В; W – накопленная энергия, Дж.

Из формулы следует, что чем больше емкость конденсатора и напряжение на его обкладках, тем больше энергии он накапливает.



а)



б)

Внимание!

1. При включении конденсаторов в электрическую цепь во избежание пробоя диэлектрика нельзя превышать максимально допустимого значения напряжения, указанного на корпусе.

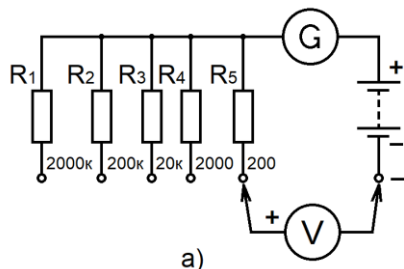
2. При включении электролитических (оксидных) конденсаторов в цепь обязательно нужно соблюдать правильную полярность соединения его электродов с соответствующими выводами источника питания.

3. Значения ёмкости электролитических конденсаторов, указанных на корпусе, могут отличаться от истинного на 30 % и более.

Задание 8-6-1. Проверьте исправность конденсатора.

1. Повторите § 7-4 «Омметр – прибор для измерения сопротивления».

2. Воспользуйтесь результатами выполненного задания 7-5-2, где вы измерили выходные напряжения между щупами омметра на разных диапазонах измерения сопротивления (рис. а, таблица).



а)

Таблица

Диапазон	200 Ом	2000 Ом	20 кОм	200 кОм	2000 кОм
Напряжение, В	3	0,14	0,14	0,13	0,07

3. Проверьте целостность конденсаторов 100 мкФ, 1000 мкФ, 4700 мкФ на разных диапазонах.

К сведению.

Для 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 (мультиметром).

Если конденсатор исправен, то при касании щупами омметра его обкладок он сразу же начнет заряжаться от источника питания прибора, о чем свидетельствует показание на дисплее.

Через заряженный конденсатор ток перестает течь и дисплей покажет разрыв цепи «1». Время зарядки конденсатора зависит от используемого диапазона (напряжения на щупах) и ёмкости конденсатора.

Если при испытании омметр покажет нулевое сопротивление, значит, конденсатор (диэлектрик между обкладками) пробит.

Если же омметр покажет наличие некоторого сопротивления конденсатора, это будет означать, что диэлектрик дает утечку тока.

Задание 8-6-2. Убедитесь в том, что конденсатор является накопителем электрической энергии.

1. Соберите цепь (рис. а, б). Зарядите конденсатор ёмкостью 4700 мкФ, подключив его выводы к источнику тока с учётом полярностей электродов.

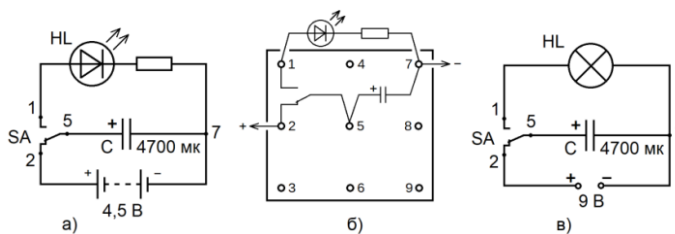
2. Переключите заряженный конденсатор к светодиоду с ограничительным резистором и следите за процессом разрядки конденсатора.

3. Повторите опыт, сменив светодиод лампой накаливания (рис. в). В качестве источника тока возьмите две батарейки 4,5 В, соединенные последовательно, или иной источник постоянного напряжения около 9 В.

Ответьте, почему от заряженного конденсатора светодиод светится дольше, чем лампа?

4. Вычислите электрическую энергию, накопленную конденсатором во

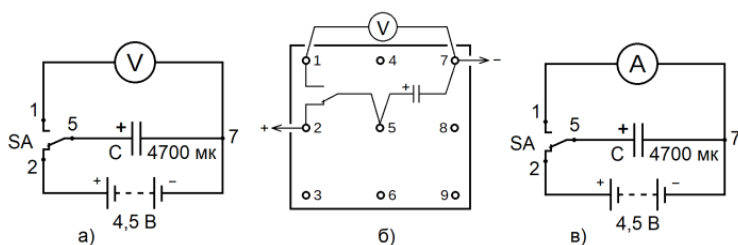
время опытов, по формуле: $W = \frac{CU^2}{2}$.



5. Убедитесь в том, что конденсатор продолжительное время может сохранить запасённую энергию. Для этого зарядите конденсатор и разрядите его на светодиод через несколько десятков минут.

Задание 8-6-3. Изучите разряд конденсатора на измерительные приборы.

Примечание. Перед каждым экспериментом конденсатор следует разрядить, например, подключив его к выводам лампы или светодиода, включенного с учётом полярности.



1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. Зарядите конденсатор от источника тока и переключите его выводы на вольтметр, включенный с учётом полярности. Наблюдайте за процессом разрядки конденсатора через вольтметр, который длится несколько минут.

3. Повторите опыт, заменив вольтметр амперметром или миллиамперметром (рис. в). Обратите внимание на то, что при подключении конденсатора амперметр показывает кратковременный ток.

4. Объясните различие в показаниях измерительных приборов при разрядке конденсатора через них. Помните о том, что вольтметр обладает значительно большим сопротивлением, чем амперметр.

Задание 8-6-4. Изучите процесс зарядки конденсатора.

Примечание. Перед каждой демонстрацией конденсатор следует разрядить, например, подключив к его выводам лампу или светодиод.

1. Соберите цепь (рис. а, б), включив последовательно конденсатор, светодиод, источник тока.

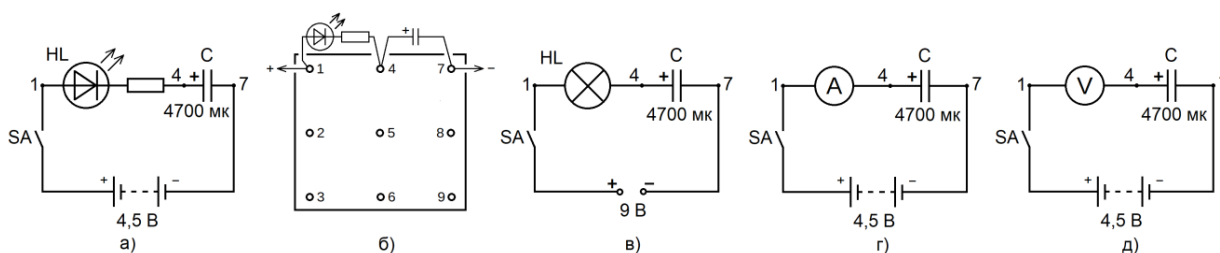
2. Включите цепь и следите за процессом зарядки конденсатора по свечению светодиода. Обратите внимание на то, что по мере зарядки конденсатора яркость светодиода ослабевает. При полной зарядке конденсатора ток в цепи прекращается, светодиод не горит. Говорят, что заряженный конденсатор блокирует цепь постоянного тока.

3. Повторите опыт, заменив светодиод миниатюрной лампой накаливания (рис. в). Объясните, в течение какого времени горит лампа, включенная последовательно с конденсатором к источнику питания. Почему?

4. Повторите опыт пункта 3, заменив лампу амперметром (рис. г) и вольтметром (рис. д). Объясните различие в показаниях приборов в каждом случае.

5. Почему вольтметр, включенный последовательно с конденсатором к источнику тока, после его полной зарядки перестаёт показывать напряжение?

Покажет ли вольтметр напряжение, если включить параллельно к заряженному конденсатору? Ваш вывод проверьте экспериментом.



Задание 8-6-5. Определите ёмкость конденсатора.

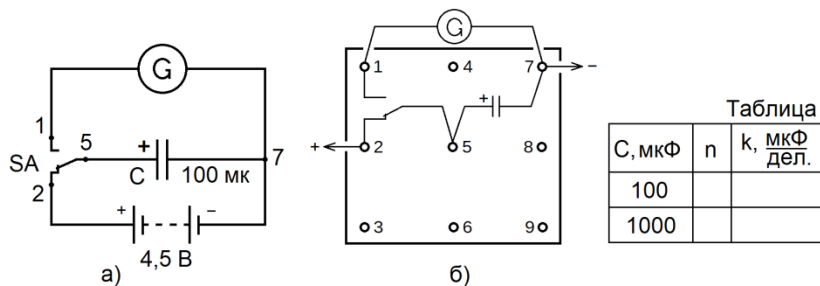
1. Соберите цепь (рис. а, б). Зарядите конденсатор 100 мкФ и разрядите на шкальный (стрелочный) гальванометр (миллиамперметр). Подберите такое напряжение источника питания, чтобы отброс стрелки составлял, например, 2 деления шкалы.

2. Поделив ёмкость конденсатора C на число делений n отброса стрелки прибора, определите коэффициент k : $k=C/n$. Коэффициент k численно равен электроёмкости, вызывающей отклонение стрелки измерительного прибора на одно деление шкалы.

3. Включите в цепь при данном же напряжении источника питания другой конденсатор C_x в пределах (100 - 1000) мкФ, например, 1000 мкФ. Зарядите его и разрядите на гальванометр.

По отбросу стрелки прибора на n_x делений вычислите его ёмкость $C_x = kn_x$.

Результаты опыта занесите в таблицу.



Задание 8-6-6. Определение общей ёмкости двух параллельно и последовательно соединённых конденсаторов.

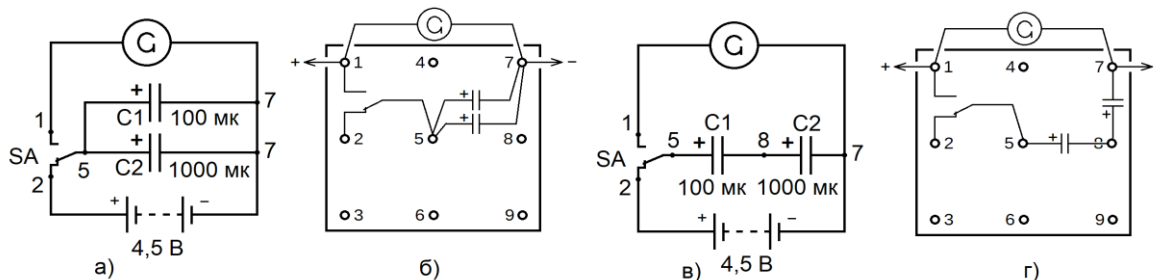
1. Согласно пунктам 1 и 2 предыдущего опыта определите коэффициент k .

2. Соедините конденсаторы 100 мкФ и 1000 мкФ параллельно (рис. а, б) и зарядите их тем же напряжением, использованным для определения коэффициента k . Используя метод отброса стрелки гальванометра, определите общую ёмкость конденсаторов. Убедитесь в том, что при параллельном соединении конденсаторов общая ёмкость равна сумме ёмкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2.$$

3. Соедините конденсаторы 100 мкФ и 1000 мкФ последовательно (рис. в, г) и тем же методом определите их общую ёмкость: $1/C_{\text{общ}} = 1/C_1 + 1/C_2$ или $C_{\text{общ}} = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$.

Результаты опыта занесите в таблицу второй строкой.



Таблица

k, мкФ дел.	C1, мкФ	C2, мкФ	Соединение	n	Собщ, мкФ
			параллельное		
			последовательное		

Задание 8-6-7. Изучите сравнительную таблицу соединений резисторов и конденсаторов.

Таблица

Способ соединения			
Последовательное		Параллельное	
Резисторы	Конденсаторы	Резисторы	Конденсаторы
$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2$	$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$	$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2$
Если номиналы деталей одинаковы			
$R_{\text{общ}} = 2R$	$C_{\text{общ}} = \frac{C}{2}$	$R_{\text{общ}} = \frac{R}{2}$	$C_{\text{общ}} = 2C$

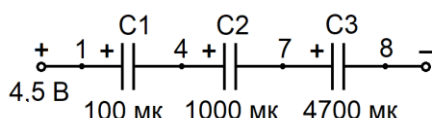
§ 8-7. ЗАДАЧИ ЕГЭ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНДЕНСАТОРОВ

Задача 1.

Условие. Изучите распределение общего напряжения на последовательно соединенных конденсаторах 100 мкФ, 1000 мкФ, 4700 мкФ.

1. Предположите, как будет распределяться общее напряжение между последовательно соединёнными конденсаторами.

2. Вашу гипотезу проверьте экспериментально. Для объяснения наблюдаемого явления исходите из того, что последовательно соединённые конденсаторы заряжаются одинаково. Напряжение на конденсаторах зависит от их ёмкости: $U = q / C$.

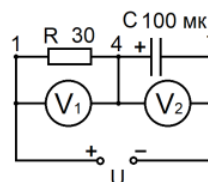


Таблица

C1, мкФ	C2, мкФ	C3, мкФ	Cобщ, мкФ	U1, В	U2, В	U3, В	Uобщ, В

Задача 2.

Условие. Последовательно соединенные конденсатор 100 мкФ и резистор 30 Ом подключены к источнику напряжения. Исследуйте, как распределяется общее напряжение между резистором



Таблица

U, В	U1, В	U2, В
4,5		
9		

и конденсатором.

1. Предположите распределение общего напряжения между участками R и C .

2. Вашу гипотезу проверьте экспериментально, собрав цепь и измерив напряжения.

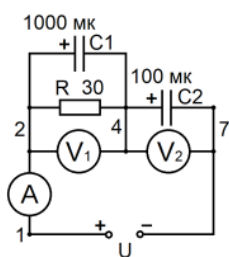
Показания вольтметров занесите в таблицу.

3. Объясните результаты опыта.

4. Предположите, что будут показывать вольтметры по истечении некоторого времени после удаления резистора из цепи, если приборы и конденсатор не идеальные (имеют конечное сопротивление). Вашу гипотезу проверьте экспериментом.

5. Предположите, что показывали бы идеальные вольтметры при удалении резистора из цепи?

6. Предположите, что будут показывать вольтметры после удаления резистора и конденсатора из цепи. Вашу гипотезу проверьте экспериментом.



Таблица

U, В	U ₁ , В	U ₂ , В	I, А
С резистором			
4,5			
Без резистора			
4,5			

Задача 3.

Условие. Определите показания измерительных приборов: а) с резистором 30 Ом; б) без резистора.

1. Соберите цепь и показания приборов занесите в таблицу. Объясните результаты опыта.

2. Предположите, что будут показывать приборы после удаления резистора из цепи. Вашу гипотезу проверьте экспериментом и объясните причины показаний приборов.

Задача 4.

Условие. Исследуйте, как распределяется напряжение питания между конденсаторами и резистором, если ЭДС батареи 4,5 В и имеет некоторое внутреннее сопротивление.

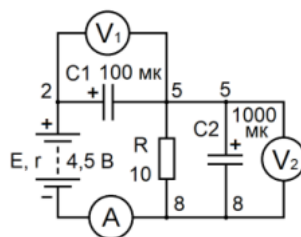
1. Предположите, как будет распределяться ЭДС батареи между внутренним участком r и внешним участком, содержащим резистор 10 Ом и конденсаторы 100 мкФ, 1000 мкФ.

2. Соберите цепь и вашу гипотезу проверьте экспериментом. Показания приборов занесите в таблицу и объясните их происхождение при наличии резистора 10 Ом в цепи. ЭДС источника питания измерьте вольтметром при отключенном внешнем участке.

3. Предположите, как изменятся показания приборов, если резистор удалить из цепи.

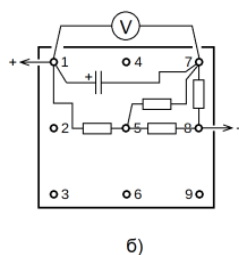
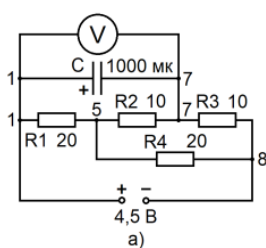
4. Вашу гипотезу уточните экспериментом и данные занесите в таблицу. Объясните причину изменений в показаниях приборов.

5. Объясните, учитывается или не учитывается при расчетах внутреннее сопротивление источника питания в данной схеме.



Таблица

ЭДС, В	U ₁ , В	U ₂ , В	I, А
С резистором			
Без резистора			



Задача 5.

Условие. Что будет показывать вольтметр, включенный параллельно конденсатору? Как будут изменяться показания вольтметра, если из схемы удалять один из резисторов: а) резистор R_3 ? б) резистор R_2 ? в) резистор R_4 ? г) резистор R_1 ?

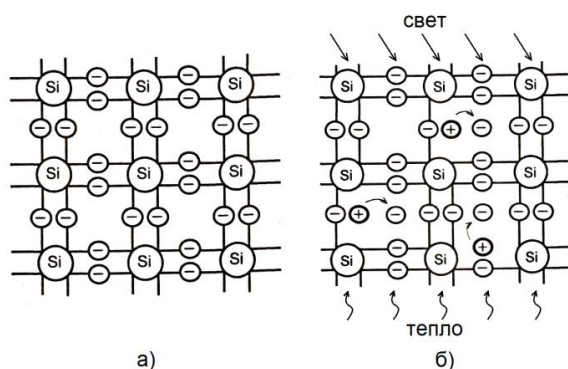
Соберите схему и проведите эксперимент согласно условию. Каждый раз объясните причину возникновения напряжения, показываемого вольтметром.

9. ПОЛУПРОВОДНИКИ. P-N-ПЕРЕХОД. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

§ 9-1. ПОЛУПРОВОДНИКИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ЗАНИМАЮТ ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МЕЖДУ ПРОВОДНИКАМИ И ДИЭЛЕКТРИКАМИ

Все вещества по проводимости электрического тока делятся на проводники и диэлектрики. Но есть еще полупроводники, которые по электрическим свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. В зависимости от условий они могут быть похожими на диэлектрики и плохо проводить ток или на проводники и обладать хорошей проводимостью.

Для изготовления полупроводниковых приборов чаще всего применяются четырехвалентные германий (Ge) и кремний (Si). На рисунке а показана кристаллическая структура полупроводника кремния. Каждый атом кремния окружен четырьмя ближайшими соседями, и все четыре валентных электрона заняты образованием связи между атомами.



В кристалле свободных зарядов нет и он не проводит тока. Это возможно при температурах, близких к абсолютному нулю (-273°C).

При повышении температуры или при освещении валентные электроны могут оторваться от атомов и стать свободными (рис. б). При этом появляются свободные отрицательные заряды-электроны, которые создают в полупроводнике *n*-проводимость (*n* – первая буква латинского слова «negatives» –

отрицательный).

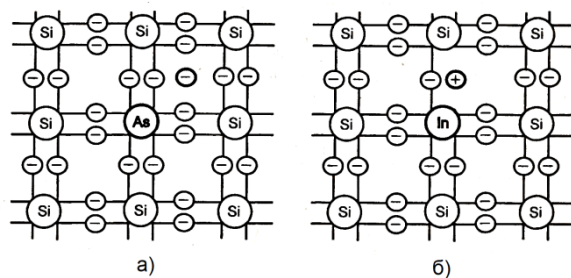
Пустое место в межатомной связи полупроводника, оставшееся на месте вырвавшегося и ставшего свободным электрона, условно называется «дыркой». Дырки могут быть заняты другими свободными электронами, тогда возникают новые дырки и создается эффект их перемещения.

Под воздействием электрического поля дырки приходят в упорядоченное движение подобно положительным зарядам и образуют ток. Дырки создают в полупроводнике *p*-проводимость (*p* – первая буква латинского слова «positives» – положительный).

Итак, в полупроводниках электрический ток создается отрицательными электронами (*n*-проводимость) и положительными дырками (*p*-проводимость).

§ 9-2. ДОБАВИВ В ЧИСТЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК ПРИМЕСИ, ПОЛУЧАЮТ ПРОВОДИМОСТИ N- И P-ТИПОВ

В чистом полупроводнике, обладающем собственной проводимостью, число свободных электронов и свободных дырок одинаково. Однако, добавляя в полупроводниковый материал различные примеси, можно получить полупроводник с преобладанием электронной или дырочной проводимости. Например, если в четырехвалентные кристаллы германия или кремния добавить небольшую примесь пятивалентного мышьяка (As) или сурьмы (Sb), то получится полупроводник *n*-типа. При этом четыре валентных электрона примеси идут на связь с соседними атомами, а пятый электрон легко становится свободным (рис. а).



При добавлении трехвалентного индия (In) эти кристаллы превращаются в полупроводники p -типа, т. к. на связь с одним из соседних атомов не хватает электрона и здесь образуется дырка (рис. б).

§ 9-3. ПОЛУПРОВОДНИКИ ПОЛУЧИЛИ ШИРОКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

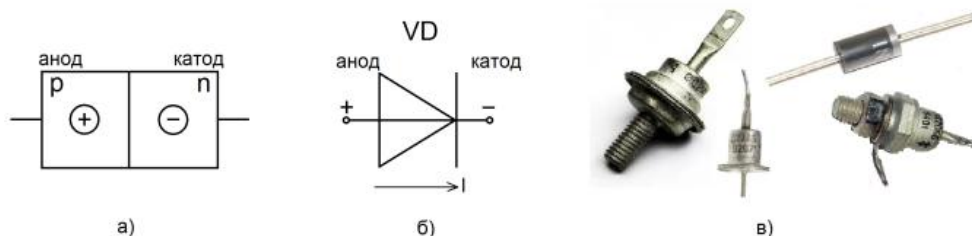
Полупроводниковые материалы занимают исключительно важное место в развитии современной цивилизации. Многие направления научно-технического прогресса просто были бы невозможны без использования полупроводников. Из них изготавливают солнечные батареи, преобразующие световую энергию в электрическую; они снабжают энергией космические аппараты и некоторые виды микрокалькуляторов и фотоаппаратов; используются для получения электрической энергии для бытовых и промышленных нужд в районах с преобладанием солнечных дней в году.

Они являются основным материалом для изготовления таких радиодеталей, как диоды, транзисторы, микросхемы, используемые для изготовления современной радиоаппаратуры и разнообразных электронных устройств: радиоприемников, телевизоров, компьютеров и многих других.

Невозможно себе представить внедрение цифровых технологий во все сферы человеческой деятельности без применения полупроводниковых материалов.

§ 9-4. ДИОД – ЭТО ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРИБОР, ПРОВОДЯЩИЙ ТОК ТОЛЬКО В ОДНОМ НАПРАВЛЕНИИ

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. а).



Условное графическое обозначение диодов приведено на рисунке 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. б). 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 «+», а к катоду «-» источника тока.

На рисунке в показаны внешние виды некоторых широко применяемых диодов.

§ 9-5. ПОЧЕМУ P - N -ПЕРЕХОД ОБЛАДАЕТ ОДНОСТОРОННЕЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ?

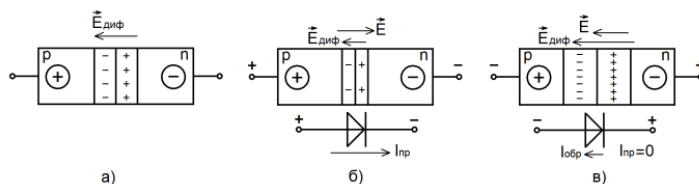
Контакт p - и n -полупроводников, названный p - n -переходом, играет главную роль в работе диода. После соединения p и n областей друг с другом начинается процесс взаимной

диффузии основных носителей заряда через контакт. Часть дырок из области p , где их концентрация высока, переходит в область n , а электроны из области n , примыкающей к области p , переходят через границу раздела в противоположном направлении. Вследствие этого в p -области на границе с n -областью создается отрицательный пространственный заряд, а в n -области на границе с p -областью – положительный пространственный заряд (рис. а).

Наличие зарядов противоположных знаков вдоль границы раздела разного типа полупроводников приводит к появлению между этими областями электрического поля, направленного из области n в область p . Возникшее поле (его называют диффузионным полем $E_{диф}$) оказывает тормозящее действие на дальнейшее перемещение основных носителей заряда. Этот слой, возникший на границе контакта полупроводников n - и p -типов, называется контактным или запирающим слоем. Контактная разность потенциалов (напряжение) запирающего слоя составляет 0,2-0,3 В в германиевых диодах и 0,5-0,7 В в кремниевых.

Если к p - n -переходу напряжение приложено так, что внешнее электрическое поле E направлено от анода к катоду навстречу внутреннему диффузионному полю (рис. б), то электрическое поле запирающего слоя слабеет, его толщина и сопротивление уменьшаются. При этом основные носители заряда (дырки в p -области и электроны в n -области) устремляются навстречу друг другу, и в запирающем слое происходит их рекомбинация (замещение дырок электронами). На их место от источника питания будут поступать все новые и новые заряды. Сопротивление запирающего слоя резко уменьшается, в цепи течет электрический ток $I_{пр}$, называемый прямым. Рассмотренный способ включения называется включением в пропускном или прямом направлении.

При изменении полярности приложенного напряжения внешнее электрическое поле совпадает с электрическим полем p - n -перехода (рис. в), в результате чего толщина и сопротивление слоя возрастают. Движение основных носителей заряда (прямой ток) через переход прекращается. Теперь через диод течет только незначительный обратный ток $I_{обр}$, вызванный движением неосновных носителей заряда, которым во многих опытах можно пренебречь. Этот способ включения p - n -перехода (диода) называется включением в запирающем или в обратном направлении.

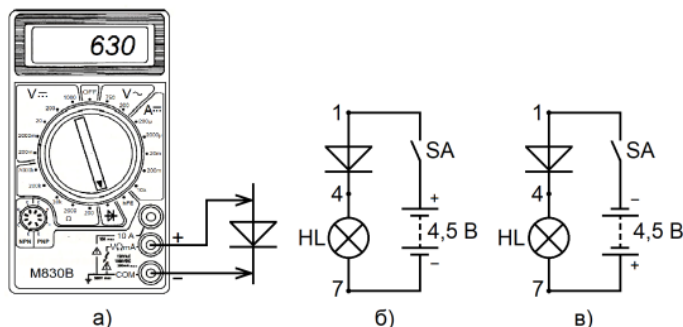


Задание 9-5-1. Проверьте исправность диода мультиметром.

На практике часто приходится определять анод (+) и катод (-) диода и исправность его p - n -перехода. Для этого можно воспользоваться различными способами.

1 способ. Работоспособность диода можно оценить омметром. Если положительный щуп шкального (стрелочного) омметра подключить к аноду, отрицательный к катоду, то омметр должен показывать малое прямое сопротивление диода. А при подключении в другом направлении омметр фиксирует очень высокое сопротивление.

Однако этот способ ненадежный. При использовании омметра в составе цифрового мультиметра, который выдает на щупы очень низкое тестовое напряжение в режиме «омметр», на p - n -переход диода не будет подано напряжение, достаточное для того, чтобы он был смещен в прямом направлении: (0,5-0,7) В для кремниевых диодов и (0,2-0,3) В для германиевых. Возможно, что омметр в обоих направлениях будет показывать разрыв, т.е. очень большое



сопротивление диода.

2 способ. Используемый в данном комплекте цифровой мультиметр М830В имеют функцию «проверка диода», которая отображает фактическое прямое напряжение p - n -перехода диода, когда он проводит ток. Например, на рисунке а мультиметр показывает 630 мВ, представляющее напряжение запирающего слоя исследуемого диода. Это возможно тогда, когда анод включен щупом к среднему гнезду «+», а катод к нижнему (общему) гнезду «-».

1. Возьмите различные кремниевые и германиевые диоды и определите их:

- аноды и катоды;
- разность потенциалов запирающего слоя p - n -переходов.

3 способ. Используя свойство односторонней проводимости диода, можно проверить его работоспособность и идентифицировать выводы анод-катод.

1. Соберите цепь по рисункам б, в и выполните поставленную задачу, меняя полярность включения последовательной цепи «диод - лампа» к источнику тока.

Задание 9-5-2. Изучите одностороннюю проводимость диода.

1. Соберите цепь (рис. а, б). Диод, включенный «прямо», проводит ток, лампа горит.

2. Измерьте напряжение U_1 на диоде, U_2 на лампе, и общее напряжение U на участке «лампа-диод». Заполните таблицу.

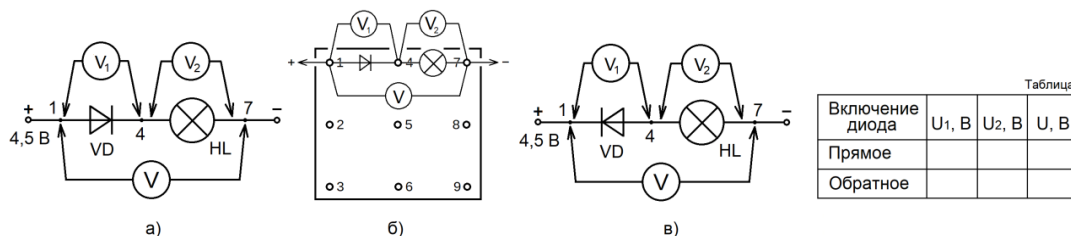
Убедитесь, что последовательно соединённые диод и лампа общее напряжение делят между собой.

3. Смените полярность включения диода (рис. в) и убедитесь в том, что «обратно» включенный диод тока не проводит.

4. Измерьте напряжение на участках и обратите внимание на то, что теперь почти всё напряжение источника питания приходится на долю диода.

Объясните, какое сопротивление току оказывает диод, включенный в обратном направлении.

Примечание. При проведении измерений помните о том, что сопротивление вольтметра во много раз меньше обратного сопротивления диода, которое составляет несколько десятков тысяч Ом.



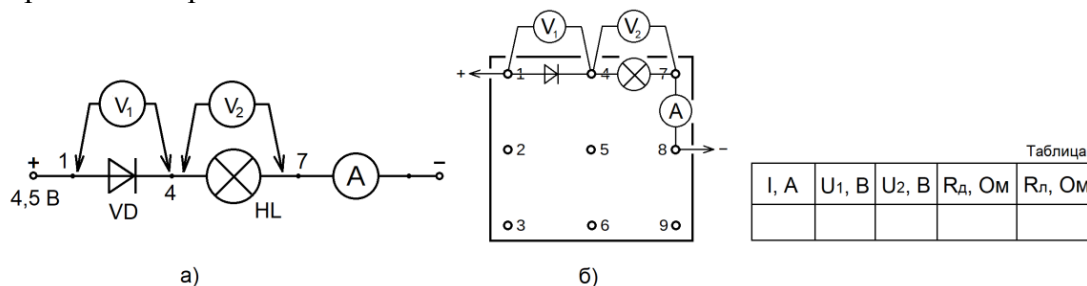
Задание 9-5-3. Определите прямое сопротивление диода.

1. Соберите цепь (рис. а, б), где диод, включенный в прямом направлении, проводит ток, и лампа горит.

2. Измерьте силу тока в цепи, напряжение на лампе и диоде.

3. По закону Ома для участка цепи вычислите сопротивление диода R_d и лампы R_L . Заполните таблицу.

Сравните сопротивление лампы и диода.



Примечание. Значение прямого сопротивления диода зависит от силы протекающего через него тока.

Задание 9-5-4. Убедитесь в существовании разности потенциалов запирающего слоя p - n -перехода кремниевого диода.

1. Соберите цепь (рис. а, б), где последовательно с диодом включенный резистор 5 Ом (состоится из двух параллельно соединённых резисторов по 10 Ом) служит для защиты его от пробоя.

2. Плавно увеличивая выходное напряжение источника питания, следите за тем, как ток в цепи начинает заметно расти только при превышении напряжения 0,5 В на диоде. Это свидетельствует о том, что разность потенциалов запирающего слоя у кремния составляет не менее 0,5 В.

При увеличении напряжения на диоде от 0,5 В до 0,8 В сила тока через него резко возрастает, достигая максимально допустимого. Соответственно уменьшается прямое сопротивление p - n -перехода.

К сведению. У германиевого диода разность потенциалов запирающего слоя составляет около 0,2 В.

Внимание. При проведении опыта помните о том, что нельзя превышать силу прямого тока через диод 1,0 А, максимально допустимого для данного типа.

§ 9-6. ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИОДА – ЭТО ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА В НЁМ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

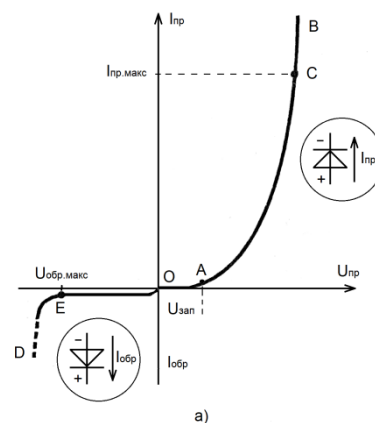
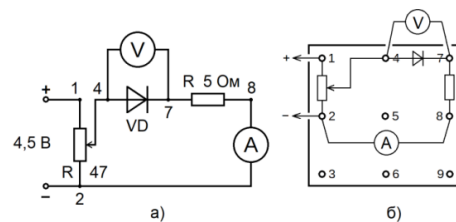
Вольтамперная характеристика диода, показывающая зависимость протекающего по нему тока от значения и полярности поданного напряжения, является его основной характеристикой (рис. а).

Напряжение U_{np} , приложенное к диоду, называют прямым, если «плюс» питания соединен с p -областью (анодом) диода, а «минус» – с n -областью (катодом). В этом случае p - n -переход имеет малое сопротивление и через диод течет прямой ток, вызванный движением основных носителей заряда.

Зависимость силы прямого тока от прямого напряжения показана на верхней правой части графика – ветвь ОВ. Вначале, при малых напряжениях, прямой ток растет незначительно. Это участок ОА (загиб или «ступенька»), происхождение которого объясняется разностью потенциалов запирающего слоя: для германиевых диодов этот участок составляет (0,2 – 0,3) В, а для кремниевых – (0,5 – 0,7) В. Дальше ветвь АВ идет круто вверх, характеризуя быстрый рост прямого тока через диод с увеличением приложенного прямого напряжения. При этом прямое сопротивление p – n – перехода резко уменьшается.

Точка С на графике представляет один из основных параметров диода – 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», p – n – переход имеет большое сопротивление и в цепи течёт небольшой обратный ток $I_{обр}$, обусловленный движением



неосновных носителей зарядов. Эта зависимость показана в левой нижней части графика – ветвь OD.

Существует еще один важный параметр диода – его максимальное обратное напряжение (соответствует точке E), при превышении которого может произойти разрушение (пробой) $p-n$ – перехода.

Задание 9-5-5. Постройте вольтамперную характеристику кремниевого диода.

1. Соберите электрическую цепь (рис. а, б). В ней переменный резистор R_1 служит для плавного регулирования напряжения на диоде, а резистор R_2 играет роль ограничителя тока, защищая диод и миллиамперметр от перегрузки.

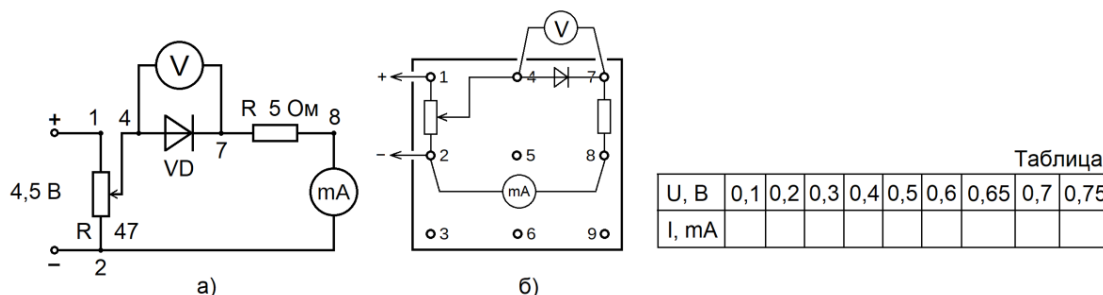
2. Напряжение на диоде увеличивайте каждый раз на 0,1 В, доведя его до 0,7 В, и фиксируйте показания миллиамперметра.

Внимание! Сила прямого тока не должна превышать максимально допустимого среднего тока для данного типа диода.

1. По полученным данным постройте график зависимости силы прямого тока через диод от приложенного напряжения.

2. По графику определите значение разности потенциалов запирающего слоя $p-n$ – перехода диода.

3. Анализируя график (таблицу), убедитесь в том, что при увеличении силы прямого тока через $p-n$ – переход диода его сопротивление уменьшается.



Примечание. Обратите внимание на то, что разность потенциалов запирающего слоя $p-n$ – перехода для кремниевого диода составляет около 0,5 В. При увеличении прямого напряжения на диоде его $p-n$ – переход открывается только при напряжении около 0,5 В, что наглядно видно на графике.

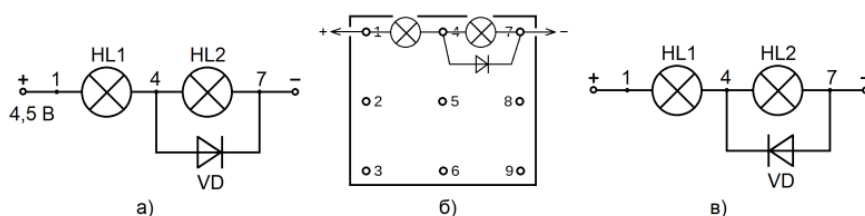
§ 9-7. ЗАДАЧИ ЕГЭ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУНТИРУЮЩЕГО И ОГРАНИЧИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ДИОДОВ.

Задача 1.

Условие. Объясните причину разного уровня нагревания спиралей ламп в схемах, показанных на рисунках а, в.

1. Соберите цепь (рис. а) и объясните, почему лампа HL_1 светит ярко, а лампа HL_2 светит тускло (или совсем не светит).

2. Измените полярность включения диода (рис. б) и объясните, почему теперь обе лампы светят одинаково ярко.

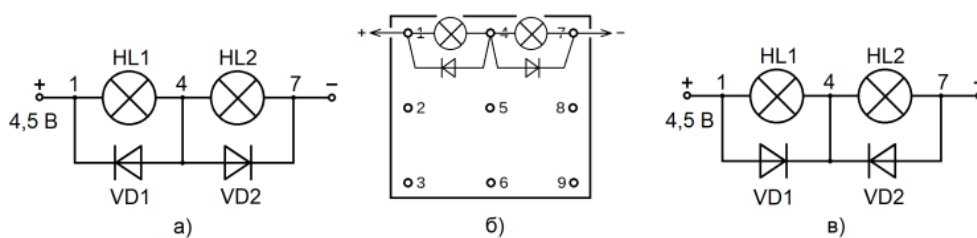


Задача 2.

Условие. Объясните причину различия в свечении ламп в конструкциях, показанных на рис. а и в.

1. Соберите цепь (рис. а, б) и объясните различие в свечении ламп при данной полярности питания и при противоположной.

2. Как изменится свечение ламп, если изменить полярность включения источника питания (рис. в)? Ваш вывод проверьте экспериментом. Как изменится свечение ламп при изменении полярности питания? Проверьте на опыте.

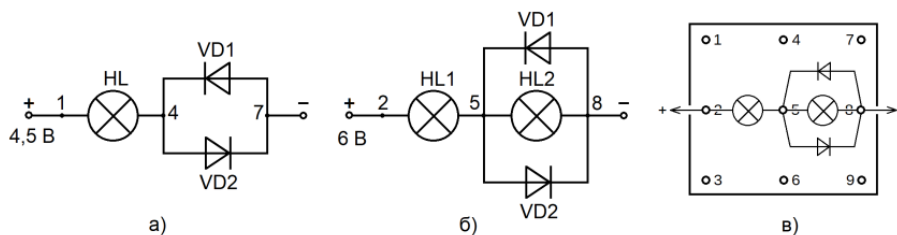


Задача 3.

Условие. Объясните путь прохождения тока от вывода «+» к выводу «-» в конструкциях, нарисованных на рисунках а и б.

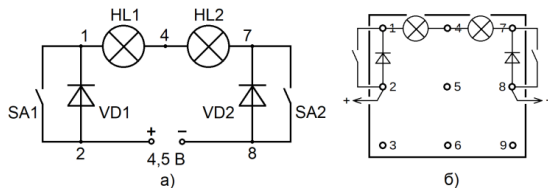
1. Соберите цепь (рис. а) и запомните уровень яркости лампы. Как изменится свечение лампы при изменении полярности питания? Ваш вывод проверьте опытом.

2. Соберите цепь (рис. б) и проверьте, как изменится яркость лампы при изменении полярности питания. Объясните наблюдаемое явление.



Задача 4.

Условие. Объясните роль выключателей SA_1 и SA_2 в управлении свечением ламп при разных полярностях подаваемого к конструкции напряжения (рис. а).



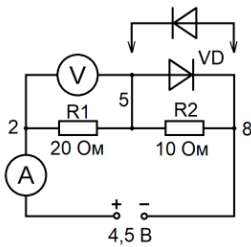
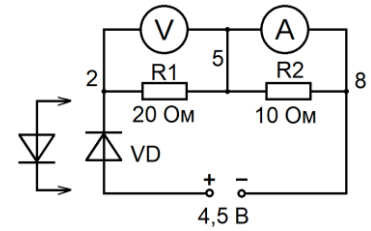
1. Какой из выключателей управляет свечением ламп при данной полярности включения источника питания (рис. а, б) и при противоположной? Ваш вывод проверьте экспериментально.

Задача 5.

Условие. Изучите, что будут показывать измерительные приборы при данной полярности включения диода и при обратной полярности.

1. Предположите, каковы показания амперметра и вольтметра при прямом включении диода, установленного параллельно резистору R_2 . Вашу гипотезу проверьте экспериментом и сделайте вывод.

2. Предположите, что покажут приборы, если изменить полярность включения диода. В правильности ваших рассуждений убедитесь на опыте.

**Задача 6.**

Условие. Исследуйте, что будут показывать измерительные приборы при данной полярности включения диода и при обратной полярности.

1. Предположите, каковы показания амперметра и вольтметра при прямом включении диода, установленного последовательно с резисторами. Вашу гипотезу проверьте экспериментом и сделайте вывод.

2. Предположите, что покажут приборы, если изменить полярность включения диода. В правильности ваших рассуждений убедитесь на опыте.

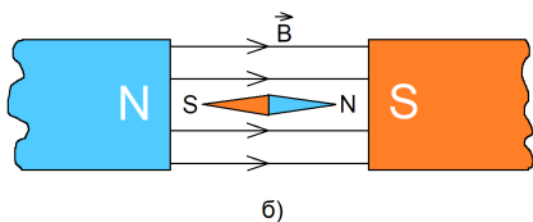
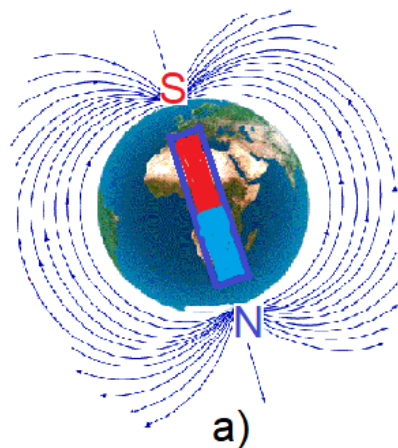
10. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 10-1. ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ БЫЛИ ИЗВЕСТНЫ ИЗДРЕВЛЕ

В районе древнего города Магнесия (территория современной Турции) были обнаружены минералы, способные притягиваться друг к другу и удерживать кусочки железа. Их называли магнитами.

Предметы, изготовленные из магнита, взаимодействовали друг с другом – одними концами притягивались, другими – отталкивались. Имеющие возможность свободно вращаться магниты одним концом показывали на север, другим – на юг. Это свойство магнитов привело к изобретению компаса – незаменимого прибора для путешественников и мореплавателей. Конец магнитной стрелки компаса, указывающего на север, назвали северным полюсом (N), указывающего на юг – южным (S).

Магнитное поле характеризуется вектором магнитной индукции $\vec{B}$. За направление вектора магнитной индукции принимается направление, которое показывает северный полюс N магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле (рис. б).



Было обнаружено, что Земной шар является гигантским магнитом, северный полюс которого расположено вблизи южного географического полюса, а южный полюс Земли находится вблизи северного географического полюса (рис. а).

Опыты показывают, что:

- северный и южный полюсы магнита не могут существовать независимо друг от друга;
- разноименные полюсы магнита притягиваются, одноименные отталкиваются.

Задание 10-1-1. Используйте в качестве магнитной стрелки различные железосодержащие предметы.

Любой свободно подвешенный магнит всегда ориентируется так, что одним концом будет показывать на географический север, другим – на юг.

1. Касаясь постоянным магнитом любой формы (полосовым, подковообразным, цилиндрическим), который имеется в вашем распоряжении, намагнитьте подручные инструменты: иглу, сверло, ножницы, лезвия канцелярские и другие стальные предметы.

2. Подвесьте их свободно на нити так, чтобы они висели в горизонтальном положении.

3. По истечении некоторого времени, когда подвешенный предмет успокоится, убедитесь в том, что горизонтальная ось предмета направлена по линии «север – юг» (рис. а).

4. Положите эти же инструменты на плавающие на воде предметы (пенопластовую пластину, тарелки, блюда и т.д.) (рис. а). По ориентации предметов определите стороны горизонта.



§ 10-2. ЭРСТЕД УСТАНОВИЛ СВЯЗЬ МЕЖДУ ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ И МАГНЕТИЗМОМ.

Хотя электрические и магнитные явления были известны давно, но их рассматривали как два разных явления.

Опыты показывали, что:

- неподвижные (статические) заряды не действуют на магнитные материалы, например, магнитную стрелку;
- магнитное поле не действует на неподвижные электрические заряды.

В 1820 году датский ученый Г.Х. Эрстед экспериментально установил связь между электрическими и магнитными явлениями. Он заметил, что магнитная стрелка реагирует на находящийся вблизи проводник с током.

Модель опыта Эрстеда показана на рисунках а и б. Магнитная стрелка, ориентированная по направлению «юг – север» (рис. а), не реагирует на обесточенный проводник, расположенный вдоль её оси, хотя он подключен к выводу «+» батарейки. Если замкнуть цепь, то стрелка располагается перпендикулярно проводнику с током (рис. б – проводник над стрелкой, рис. в – проводник под стрелкой).



Задание 10-2-1. Повторите опыт Эрстеда по обнаружению связи между электрическими и магнитными явлениями.

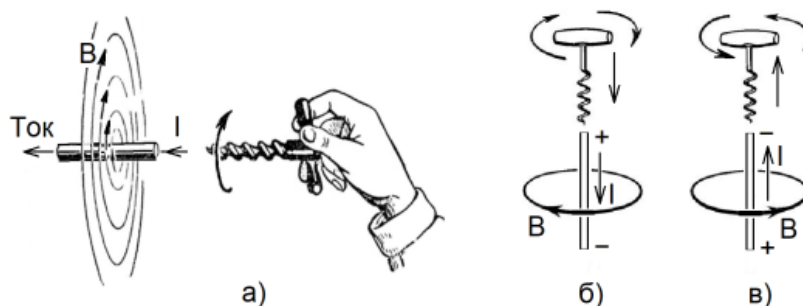
1. При отсутствии в вашем распоряжении магнитной стрелки или компаса (например, в домашних условиях) подвесьте горизонтально на нити намагниченную иглу, которая будет служить магнитной стрелкой.

2. Располагая под иглой, ориентированный по направлению «юг-север», проводник без тока и с током, наблюдайте влияние тока на магнитную стрелку.

3. Видоизмените опыт, меняя направление тока и располагая проводник над стрелкой.

§ 10-3. ПРАВИЛО БУРАВЧИКА СВЯЗЫВАЕТ НАПРАВЛЕНИЕ ТОКА В ПРОВОДНИКЕ С НАПРАВЛЕНИЕМ ЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Правило буравчика заключается в том, что если поступательное движение буравчика (винта, болта, сверла) совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадет с направлением линий магнитного поля тока (рис. а, б, в).



Задание 10-3-1. Научитесь использовать правило буравчика для определения направления магнитного поля, создаваемого электрическим током.

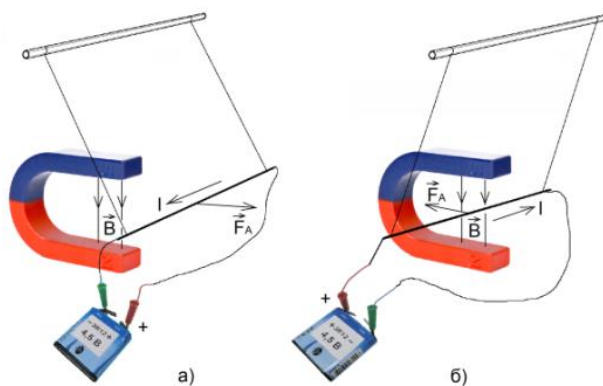
1. Примените правило буравчика для определения направления магнитного поля (ориентации северного полюса магнитной стрелки) вокруг проводника с током в опытах, проводимых в задании 10-2-1.

2. Проверьте, правильно ли расположены полюсы магнитной стрелки на рисунке б (§ 10-2).

§ 10-4. СИЛА АМПЕРА – ЭТО СИЛА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Покоящееся заряженное тело (заряд) вокруг себя создает только электрическое поле, а движущийся заряд еще порождает и магнитное поле. Магнитные поля упорядоченно движущихся частиц, участвующих в создании тока, суммируясь, формируют магнитное поле вокруг проводника.

Проводник с током, имеющий собственное магнитное поле, взаимодействует с любым другим магнитным полем, в которое его поместили. Например, на свободно подвешенный проводник с током, находящийся в поле подковообразного магнита, действует сила Ампера. Её направление зависит от взаимного расположения вектора магнитной индукции $\vec{B}$ и длины Δl части проводника, находящегося в магнитном поле. Эту силу называют силой Ампера и определяют по формуле $F = IB\Delta l \sin \alpha$, где F – сила Ампера (Н), B – модуль вектора магнитной индукции (Тл), Δl – часть длины проводника, расположенная непосредственно в магнитном поле (м), α – угол между вектором магнитной индукции и проводником с током.



Задание 10-4-1. Наблюдайте действие силы Ампера на проводник с током в магнитном поле.

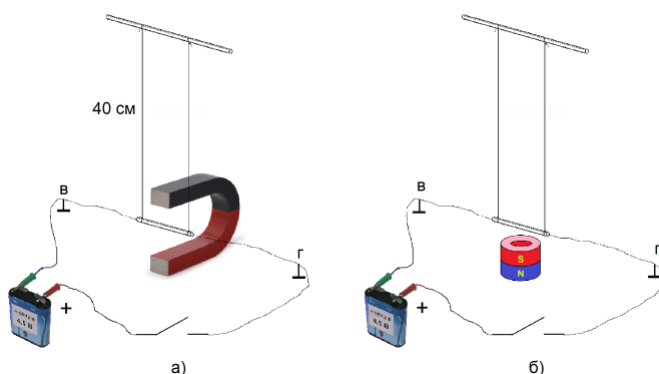
1. Соберите установку, используя подковообразный, цилиндрический (рис. а, б) или иной формы магнит, которым вы располагаете. Подвесьте кусок медного провода длиной 7-10 см и диаметром 0,4-1,0 мм на двух нитках длинами по 40 см.

Подвешенный провод тонким и гибким медным проводом в эмалевой изоляции (ПЭТВ-1) диаметром 0,28 мм через выключатель соедините с источником тока. В местах соединения цепи эмалевой слой удалите ножом или наждачной бумагой.

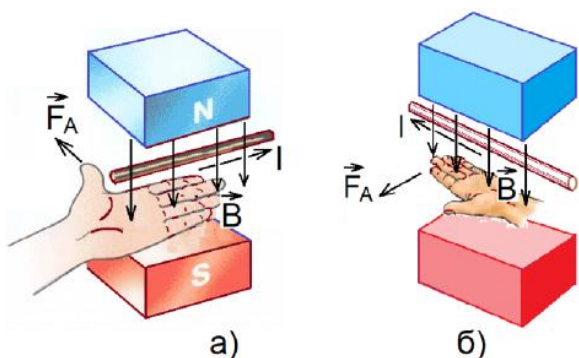
Эмалированный провод в двух местах (точки в и г) закрепите (не нарушая гибкости) так, чтобы манипуляции с выключателем или батареей не влияли на подвижность подвешенного провода.

2. Замыкая цепь, следите за тем, как подвешенный провод с током взаимодействует с магнитом.

3. Исследуйте характер взаимодействия, меняя: а) полюсы магнита; б) направление тока в проводнике.



§ 10-5. ПРАВИЛО ЛЕВОЙ РУКИ ОПРЕДЕЛЯЕТ НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ СИЛЫ АМПЕРА



Направление силы Ампера определяют правилом левой руки. Если ладонь левой руки расположить так, чтобы магнитные силовые линии входили в ладонь (они направлены от северного полюса N к южному S), а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением электрического тока в проводнике, то отставленный большой палец укажет направление силы Ампера, действующей на проводник в магнитном поле (рис. а, б).

Задание 10-5-1. Учитесь применять правило левой руки для определения направления силы Ампера.

1. Потренируйтесь правильно применять правило левой руки по рисункам а, б (§ 10-5).

2. Используя правило левой руки, проверьте правильность направления действия силы Ампера по рисункам а, б (§ 10-4).

3. Проверьте действие правила левой руки для каждого случая в экспериментах, проводимых согласно заданию 10-4-1.

§ 10-6. КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ – ВАЖНЫЙ ЭЛЕМЕНТ РАДИОТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Известно, что проводник, по которому течет электрический ток, приобретает способность воздействовать на магнитную стрелку, расположенную около него (опыт

Эрстеда). Таким же свойством, но в значительно большей мере, обладает проводник, смотанный в виде катушки.

Эта катушка приобретает еще одно новое 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 проволоки l , площадью поперечного сечения S и удельным сопротивлением материала, из которого он изготовлен:

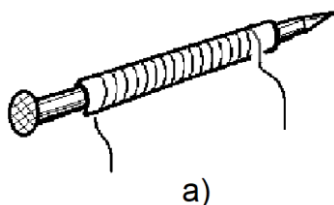
$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

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 многократно 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. Она широко используется в таких устройствах, как электромагнитное реле, телефон, трансформатор, электромагнит, электродвигатель.

Задание 10-6-1. Изготовьте электромагнит.



1. Подберите жесткий цилиндрический каркас для электромагнита (например, корпус шариковой ручки) и ножовкой по металлу (или лобзиком) обрежьте трубку длиной 8 см (рис. а).

2. Намотайте на каркас, начиная с одного края и равномерно распределяя по всей длине (150-300) витков медного эмалированного провода ПЭТВ-1 диаметром 0,28 мм (прилагается с комплектом).

3. Оставьте свободные концы катушки по 20 см, закрепите их, обмотав несколькими витками ниток, и снимите изолирующую эмаль по 2 см с обоих концов.

4. Возьмите железосодержащий стержень (гвоздь, болт, сверло), входящий с некоторым трением в каркас, и вставьте в каркас с катушкой. Электромагнит готов.

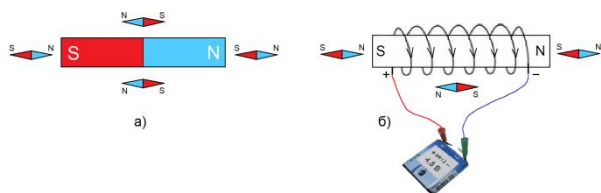
Задание 10-6-2. Испытайте действие электромагнита.

1. Подключите к катушке с вставленным стержнем источник тока (батарейку) 4,5 В и, поднеся его к ферромагнитным предметам (гвоздикам, скрепкам, иглам, ножницам и т.д.), убедитесь в притягивающем действии электромагнита.

2. Поднося электромагнит тем и иным концом к магнитным стрелкам на подставке или подвешенной намагниченной игле (задание 10-1-1), убедитесь в том, что концы катушки с током имеют магнитные полюсы северный (N) и южный (S).

3. Проводя опыты пунктов 1, 2 со стержнем и без стержня внутри, убедитесь в способности ферромагнитного материала усиливать магнитные свойства катушки.

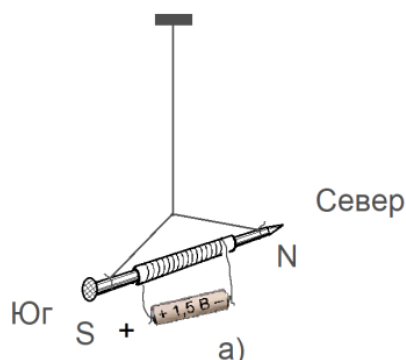
Задание 10-6-3. Исследуйте магнитное поле вокруг магнита и электромагнита.



В § 10-1 было сказано, что за направление вектора магнитной индукции $\vec{B}$ принимается направление, которое показывает северный полюс N магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле.

1. Исследуйте магнитное поле постоянного магнита (рис. а) магнитной стрелкой или подвешенной на нити намагниченной иглой, обходя пространство вокруг магнита и зарисуйте картину магнитных линий.

2. Повторите опыт пункта 1 с электромагнитом (рис. б).



Задание 10-6-4. Определите географические стороны горизонта при помощи электромагнита.

1. Подвесьте катушку со стержнем (например, гвоздем) в горизонтальном положении на нити длиной около 40 см и оставьте висеть, пока не перестанет вращаться из-за раскручивания свитой нити.

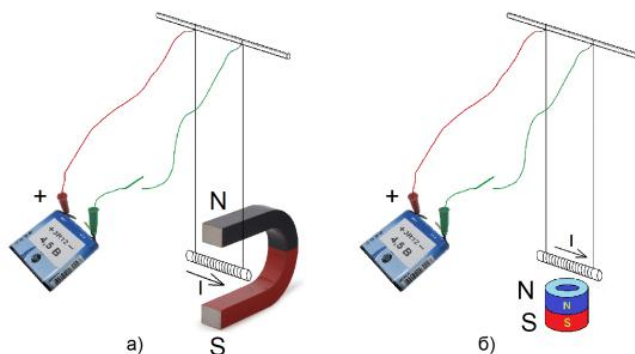
2. Когда подвешенный электромагнит успокоится, к катушкам подключите источник тока (элемент) 1,5 В и убедитесь, что катушка с током сориентируется по линии «север - юг».

3. Смените полярность включения элемента и убедитесь в том, что электромагнит переориентируется в пространстве на 180°.

Задание 10-6-5. Наблюдайте действие силы Ампера на катушку с током в магнитном поле.

1. По катушке, изготовленной в задании 10-6-1 и подвешенной в магнитном поле (рис. а, б) (без стержня внутри), пропустите кратковременный ток и наблюдайте действие на неё силы Ампера согласно правилу левой руки.

2. Предположите, как будет изменяться взаимодействие катушки с магнитом, если менять направления тока и магнитной индукции. Истинность ваших рассуждений подтвердите экспериментом.



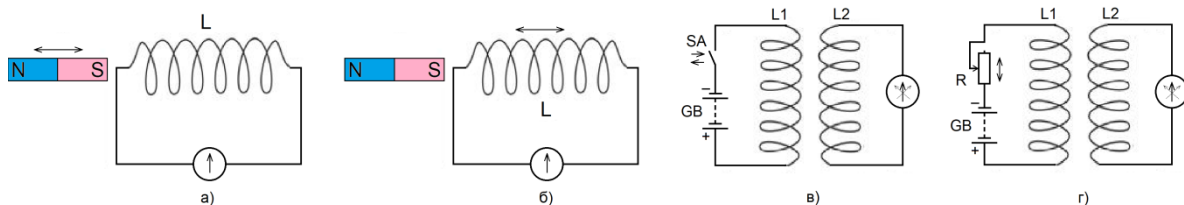
§ 10-7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ – ЭТО ПОРОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В ПРОВОДЯЩЕМ КОНТУРЕ ПЕРЕМЕННЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Г.Х. Эрстед в 1820 г. обнаружил существование магнитного поля вокруг проводника с током: электрический ток порождает магнитное поле.

М. Фарадей, ознакомившись с опытами Эрстеда, в 1821 году поставил перед собой задачу: сделать обратное преобразование – преобразование магнетизма в электричество. Через 10 лет исследований он открыл явление электромагнитной индукции, которое заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре, находящемся в переменном магнитном поле.

Переменность магнитного поля, пронизывающего контур, можно обеспечивать различными способами: двигать источник магнитного поля относительно контура; двигать контур относительно магнита; рядом с контуром расположить другой контур с переменным током и т.д. (рис. а, б, в, г).

Понятие «индукция» понимается как процесс возбуждения, наведения чего-либо. Электромагнитная индукция – это явление возникновения индукционного тока в замкнутом проводящем контуре под действием изменяющегося магнитного потока, пронизывающего данный контур.



Задание 10-7-1. Изготовьте катушку для изучения явления электромагнитной индукции.



1. Приготовьте диэлектрические каркасы (2 шт) цилиндрической формы диаметрами 4 см и 3 см. Высота каркасов 1–3 см.

Удобно использовать синтетические крышки от различных жидкостей. Глухую поверхность крышек удалите (лобзиком, ножом).

2. Намотайте на диэлектрические каркасы по 50 - 100 витков провода ПЭТВ – 1 диаметром 0,28 мм (прилагается с комплектом) так, чтобы были видны направления обмоток. Концы проводов закрепите, пропустив их сквозь предварительно сделанные отверстия на каркасе, или привязав ниткой. Ради цельности намоток зафиксируйте их клеем, например, «Момент», или закрепите нитками.

3. Начало и конец катушек длиной по 30 см оставьте свободными. Их концы по 2 см оголите от лака. Можно припаять к штекеру.

Задание 10-7-2. Исследуйте явление электромагнитной индукции.

1. Подключите катушку к вольтметру мультиметра и ручку установку функций расположите против диапазона «200m». Можно использовать микроамперметр на пределе измерения «200μ». Лучше всего подойдет шкальный (стрелочный) гальванометр.

2. Вставляйте в катушку и выдвигайте из неё северный полюс постоянного магнита любой формы. Направление индуцированного тока определяйте по его знаку на дисплее.

3. Меняя скорость движения магнита относительно катушки, установите связь между скоростью движения и силой индукционного тока.

4. Повторите действия пунктов 2 и 3, вставляя и выдвигая южный полюс магнита.

5. Вышеописанным способом исследуйте явление возникновения индукционного тока в катушке при движении проволоочного мотка относительно неподвижного магнита.

Задание 10-7-3. Исследуйте явление электромагнитной индукции, используя в качестве источника магнитного поля электромагнит.

1. Катушку большего диаметра подключите к вольтметру мультиметра и ручку переключения функций установите против диапазона «200m». Можно использовать микроамперметр на пределе измерения «200μ». Лучше всего подойдет шкальный (стрелочный) гальванометр.

2. Катушку меньшего диаметра подключите к батарее 4,5 В. Вдвигая её в большую катушку и выдвигая, наблюдайте за возникновением индукционного тока. Для усиления магнитных свойств электромагнита в малую катушку вставьте ферромагнитный стержень и повторите опыт.

3. Обесточенную малую катушку со стержнем вставьте вовнутрь большой катушки. Подключая её к батарее и отключая, следите за возникновением индукционного тока в другой катушке, подключенной к мультиметру.

4. Объясните, от чего зависит направление индукционного тока (знак «-» или его отсутствие на дисплее перед числовым значением).

Задание 10-7-4. Наблюдайте взаимодействие катушки с током с постоянным магнитом.

1. По правилу буравчика определите северный и южный полюсы катушки с током. Для этого вращайте ручку буравчика по направлению обхода тока в катушке (от «+» к «-»), то его поступательное движение укажет направление вектора магнитной индукции внутри катушки (рис. а).

2. Установите катушку на конце северного полюса магнита и подключите к батарее. В зависимости от направления тока в катушке она либо втягивается в магнит, либо выталкивается. Объясните наблюдаемое явление.

3. Повторите опыт: а) изменив направление тока; б) изменив полюс магнита. В каждом случае объясните наблюдаемое явление.

4. Держите катушку в взвешенном состоянии между полюсами подковообразного магнита и замкните цепь. Помня о том, что магнитное поле направлено от северного полюса к южному, используя правило буравчика и действия силы Ампера, объясните, почему плоскость катушки стремиться встать поперек магнитному полю.

5. Повторите действия пункта 4, изменив направление тока в катушке. Убедитесь, что магнитное поле постоянного магнита оказывает ориентирующее действие на контур с током.

§ 10-8. СИЛА АМПЕРА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В ШКАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ, ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ (ДИНАМИКАХ), ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯХ

Измерительные приборы магнитоэлектрической системы основаны на взаимодействии катушки с током с магнитным полем. Выше в главе 7 (§ 7-1) рассмотрены устройство и принцип работы измерительных приборов магнитоэлектрической системы – амперметра и вольтметра. Измеряемый ток (рис. а) протекает по катушке 1, намотанной на укрепленную на осях легкую алюминиевую рамку, установленной между полюсами магнита 2.

При прохождении тока катушка под действием силы Ампера стремится расположиться поперёк магнитному полю и поворачивает прикрепленную к ней стрелку 3.

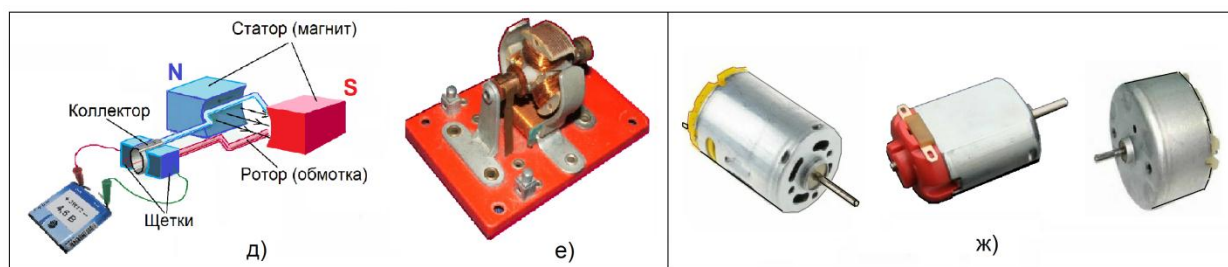
На рисунке б приведены некоторые электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы.



В работе электродинамических громкоговорителей (динамиков) используется действие силы Ампера на переменный ток в подвижной звуковой катушке, находящейся в поле постоянного магнита (рис. в, г). С катушкой жестко связана бумажная конусообразная диафрагма, способная совершать вынужденные колебания вместе с подвижной катушкой.



Двигатель постоянного тока — это устройство, которое преобразует электрическую энергию в механическую — приводит во вращение различные устройства. Электродвигателем постоянного тока такой двигатель называется потому, что для его питания используется постоянный электрический ток.



Модель двигателя постоянного тока состоит из ротора и статора (рис. д). Ротор — это подвижная часть двигателя. Статор — неподвижная часть. В данном случае статор двигателя является индуктором (неподвижным магнитом), а ротор — вращающимся якорем, через который протекает ток от источника энергии.

Принцип действия такого двигателя основывается на законе Ампера. В результате взаимодействия магнитных полей статора и тока обмотки рамка стремится расположиться поперек магнитному полю.

Обычно двигатели постоянного тока устроены сложнее. К примеру, ротор выполняется трехполюсным (рис. е). Такой двигатель легко запускается и работает стабильно.

На рисунке ж показаны электродвигатели постоянного тока (моторчики) широкого использования в самодвижущихся игрушках.

По рисунку д видно, что если вращать рамку (ротор) без тока, то в ней на основании закона электромагнитной индукции возбуждается ЭДС и двигатель превращается в генератор.

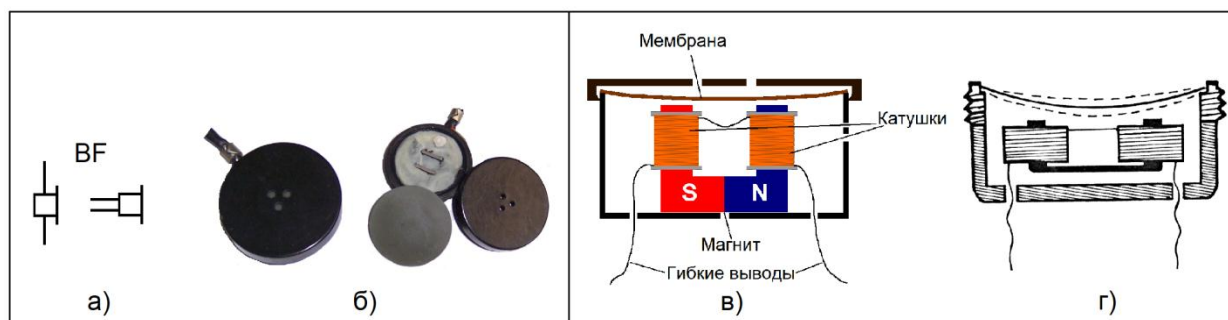
§ 10-9. ТЕЛЕФОН – ЭТО ПРИБОР, ПРЕОБРАУЮЩИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ЗУКОВЫЕ

Работа головного телефона (наушника) электромагнитного типа основана на принципе взаимодействия электромагнита и стальной пластины (мембраны) — на явлении электромагнитной индукции. На рисунках а, б показаны условное графическое обозначение телефона и внешний вид. Его устройство и принцип работы понятны по рисункам в, г.

В телефонном капсюле находится стальная пластина — мембрана; под ней — дугообразный намагниченный стержень, на который насажены две (или одна) соединенные последовательно катушки из большого количества витков тонкого эмалированного медного провода. Концы катушек соединены с наружным шнуром для подключения к звуковоспроизводящей аппаратуре.

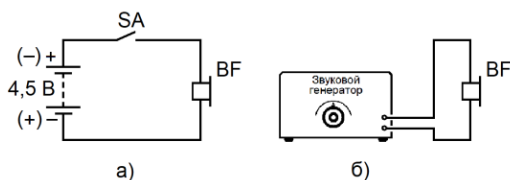
Под действием постоянного магнита мембрана прогибается, не соприкасаясь со стержнем. Электрический ток звуковой частоты, текущий по катушкам, в зависимости от направления может усилить намагниченность стержня или ослабить. При этом мембрана прогибается сильнее (нижняя пунктирная линия) или слабее (верхняя пунктирная линия) (рис. г), чем при отсутствии тока.

Если через катушку пропустить переменный ток, то мембрана будет совершать движения в ту или иную сторону, т.е. колебаться. Колебания мембраны, переданные по воздуху, воспринимаются ухом как звук.



Задание 10-9-1. Изучите устройство и принцип работы телефонного капсюля.

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 рисунку а. 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.



§ 10-10. МИКРОФОН – ЭТО ПРИБОР, ПРЕОБРАЗУЮЩИЙ ЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Устройство, предназначенное для преобразования звуковых колебаний в электрические колебания, называют микрофоном. Условное графическое обозначение микрофона показано на рисунке а. На рисунке б показан внешний вид некоторых из них - студийных, репортерских, вокальных, головных, петличных и т.д.

Существует несколько видов микрофонов, отличающихся друг от друга по принципу действия. Простейшим микрофоном электромагнитного типа может служить капсюль головного телефона, с устройством которого знакомились выше.

Звуковое давление, действуя на мембрану такого микрофона (рис. в, г, § 10-9) вызывает ее колебания. Мембрана, прогибаясь ближе к полюсам магнита, уменьшает толщину воздушного зазора между подковообразным магнитом и мембраной, в результате чего индукция магнитного поля растет. При выпрямлении мембраны воздушный зазор увеличивается, а индукция магнитного поля уменьшается. Магнитное поле, изменяющееся в такт колебаниям мембраны, возбуждает в катушках переменную ЭДС звуковой частоты.



Задание 10-10-1. Изучите принцип работы микрофона.

1. Включите выводы микрофона (телефонного капсюля) к вертикальному входу лабораторного осциллографа и наблюдайте осциллограмму звуковых колебаний, преобразованных микрофоном в электрические (фото 1).

2. Установите микрофон перед резонаторным ящиком камертона и наблюдайте синусоидальные колебания на экране.

3. Выключите напряжение развертки осциллографа и, включая микрофон поочередно к вертикально отклоняющим пластинам (вход «Y») и к горизонтально отклоняющим пластинам (вход «X»), наблюдайте колебания электронного луча. Объясните наблюдаемое явление.

4. Освободите капсюль от крышки и мембраны, оставив включенным к осциллографу с включенной разверткой.

Следите за экраном осциллографа:

- замыкая и размыкая стрелки магнитов металлическим предметом;
- проводя над полюсами магнита другим магнитом туда-сюда, не касаясь;
- поднеся полюсы магнита капсюля к колеблющейся струне музыкального инструмента (например, гитары) или к кончикам ножек колеблющегося камертона.

Во всех случаях объясните причину возникновения индукционного тока в катушках капсюля, регистрируемого осциллографом.



Фото 1

Задание 10-10-2. Соберите простейшее переговорное устройство.

1. Соедините два телефонных капсюля электромагнитного типа так, как показано на рисунке а.

Здесь один из капсюлей (любой) будет служить микрофоном, другой – телефоном. Индукционный электрический ток, порожденный микрофоном вследствие колебания мембраны под действием звука, протекая по катушке телефона, вызывает колебание его мембраны.

2. Постукивайте пальцем по крышке капсюля, принятого за микрофон. При этом в телефоне слышатся отчетливые звуки. Объясните их происхождение.

3. Соедините капсюли двужильным проводом длиной 3 – 4 м. Если два абонента расположатся в удалении друг от друга (лучше в разных комнатах), то можно переговариваться по принципу «приём – передача».

§ 10-11. САМОИНДУКЦИЯ – ЭТО ЯВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА (ИЛИ ЭДС ИНДУКЦИИ) В ПРОВОДНИКЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТОКА В НЕЙ

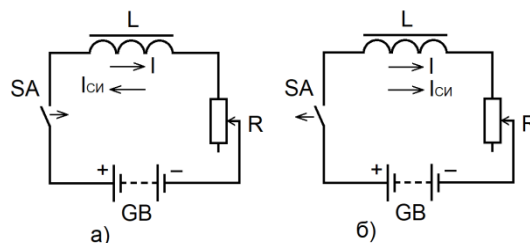
При всяком изменении магнитного потока, пронизывающего контур, в нем возникает ЭДС индукции, а если контур замкнутый – индукционный ток. Это явление называется электромагнитной индукцией. В соответствии с законом Ленца индукционный ток имеет такое направление, при котором создаваемое им магнитное поле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

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

самоиндукции равна $\varepsilon_{СИ} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, где $\Delta\Phi$ – изменение магнитного потока (Вб), L – индуктивность катушки (Гн), $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ – скорость изменения силы тока в катушке (А/с).

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

Пусть имеется электрическая цепь (рис. а), состоящая из последовательно соединенных источника тока, катушки индуктивности, переменного резистора, ключа. Изменение тока в контуре, а значит, явление самоиндукции, могут вызвать следующие факторы: 1) включение цепи, 2) выключение цепи, 3) увеличение силы тока, 4) уменьшение силы тока.



Например, при замыкании цепи ток I в катушке, создаваемый источником питания, увеличивается до максимального, преодолевая индуктивное сопротивление катушки. При этом в этой же катушке, согласно правилу Ленца, возникает ток самоиндукции $I_{СИ}$, противодействующий увеличению тока I . Направления этих токов I и $I_{СИ}$ противоположны.

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 кратковременный ток самоиндукции $I_{СИ}$, противодействующий уменьшению тока I . Направление этих токов I и $I_{СИ}$ должны совпадать, чтобы поддержать уменьшающийся ток питания и его магнитное поле.

Аналогично можно разобрать ситуации 3, 4.

Задание 10-11-1. Наблюдайте ток самоиндукции.

1. Соберите цепь (рис. а, фото 1), где для индикации тока самоиндукции используйте светодиод с ограничительным резистором. В качестве катушки L используйте индуктивное сопротивление из комплекта или самодельные катушки, изготовленные в предыдущих занятиях. Их индуктивность можно увеличить, вставив ферромагнитный стержень.

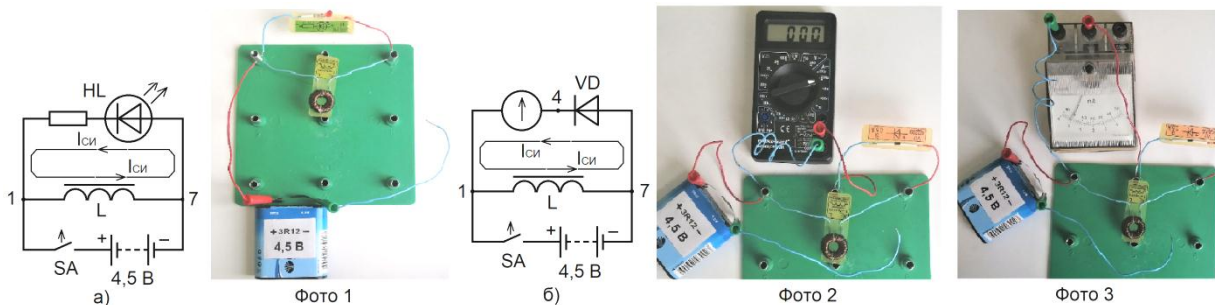
2. Включайте и выключайте ключ SA . Наблюдайте свечение светодиода в момент размыкания цепи и объясните наблюдаемый факт.

3. Соберите цепь (рис. б, фото 2, фото 3), где в качестве индикатора тока используйте гальванометр (микроамперметр мультиметра или миллиамперметр шкальный). Обратите внимание на то, что вследствие запирающего действия диода VD ток от источника питания через гальванометр не идет.

4. Наблюдайте возникновение кратковременного тока самоиндукции $I_{СИ}$ через гальванометр в моменты размыкания цепи. Он протекает по катушке, диоду, гальванометру.

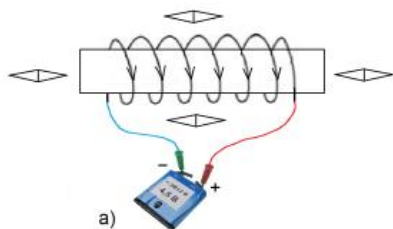
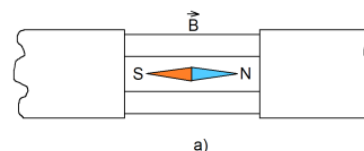
5. Объясните наблюдаемые явления, исходя из закона электромагнитной индукции.

Примечание. Ток самоиндукции $I_{СИ}$, возникающий при замыкании цепи, протекает по катушке, ключу, источнику тока. Он светодиодом не регистрируется.



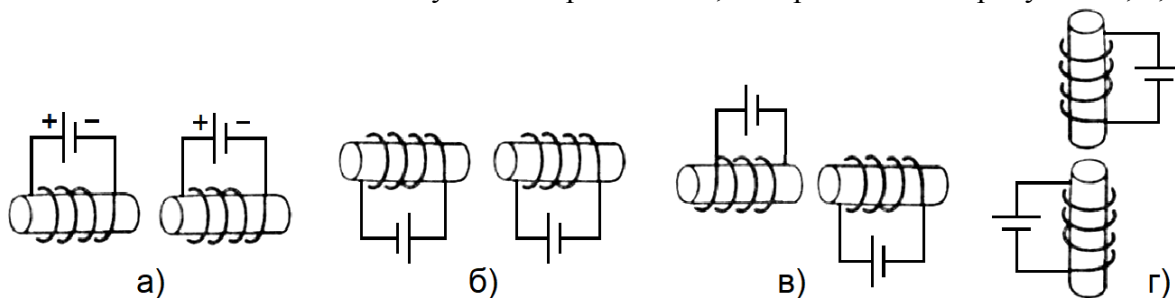
§ 10-12. ЗАДАЧИ ЕГЭ ПО ТЕМЕ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ»

Задача 1. Обозначьте полюсы магнитов и направление вектора магнитной индукции (рис. а).



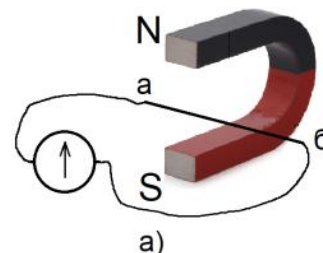
Задача 2. Определите полюсы электромагнита и магнитных стрелок (рис. а).

Задача 3. Как взаимодействуют электромагниты, изображенные на рисунках а, б, в, г?

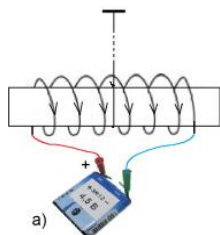


Задача 4. Медный провод ab , расположенный между полюсами магнита (рис. а), подключен к чувствительному гальванометру с положением стрелки в середине шкалы. Как измениться положение стрелки, если проводник:

- 1) находится в покое;
- 2) вдвигать в магнит и выдвигать;
- 3) держать неподвижно, а двигать магнит взад-вперед перпендикулярно проводнику;
- 4) двигать вверх-вниз между полюсами магнита.

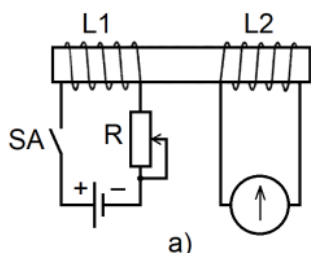
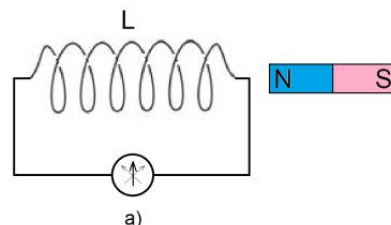


От чего зависит угол отклонения стрелки гальванометра?



Задача 5. Свободно подвешенный электромагнит расположился так, как показано на рисунке а. Определите стороны горизонта.

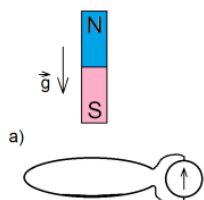
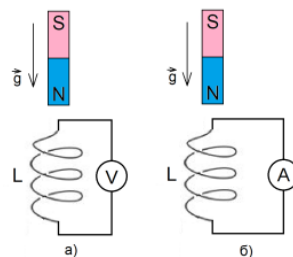
Задача 6. Какими способами в гальванометре с положением стрелки в середине шкалы, подключенном к катушке L (рис. а), можно вызвать отклонение стрелки в ту или иную сторону, используя постоянный магнит? От чего зависит величина угла отклонения стрелки?



Задача 7. На ферромагнитный стержень насажены две подвижные катушки L_1 и L_2 из изолированного медного провода (рис. а). К катушке L_1 через выключатель SA и переменный резистор (реостат) R подключен источник постоянного тока. К катушке L_2 присоединен гальванометр с положением стрелки в середине шкалы. Ответьте: 1) какими способами можно создать

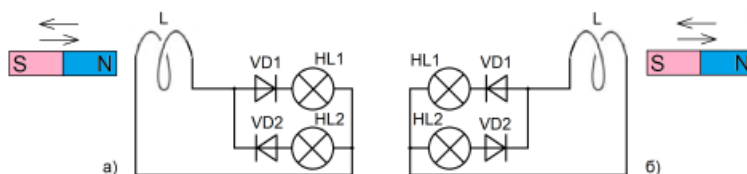
ток во второй катушке? 2) от чего зависит направление отклонения стрелки гальванометра? 3) от чего зависит величина угла отклонения стрелки?

Задача 8. Намагниченный стержень, падающий с ускорением свободного падения, пролетает сквозь катушку, намотанную из медного провода. В первом случае катушка замкнута на идеальный вольтметр (рис. а), во втором случае на идеальный амперметр (рис. б). Опишите характер движения стержней и электродинамические явления, происходящие в катушках.

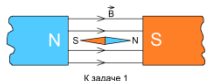


Задача 9. Полосовой магнит начинает свободное падение сквозь проволочное кольцо из состояния покоя (рис. а). Начертите график электрического тока в кольце в зависимости от времени входа магнита в кольцо, пролёта и выхода из кольца.

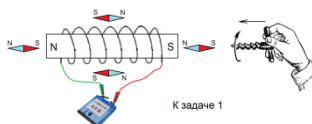
Задача 10. К выводам проволочного витка через идеальные диоды VD_1 , VD_2 соединены две лампы HL_1 , HL_2 так, как показано на рисунках а, б. Объясните, какая лампа загорится при вдвижении в виток и выдвигении в виток: а) северного полюса магнита (рис. а); б) южного полюса магнита (рис. б).



Ответы. 1.

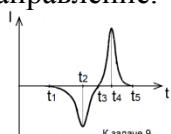


2.



3. а – притягиваются; **б** –

отталкиваются; **в** – притягиваются; **г** – отталкиваются. **4.** 1, 4 – стрелка покоится; 2, 3 – направление отклонения стрелки (направление индукционного тока) зависит от направления движения проводника или магнита; угол отклонения зависит от скорости взаимного движения проводника и магнита в пунктах 2, 3. **5.** Справа северный полюс Земли, слева – южный. **6.** Движением в ту или иную сторону либо катушки относительно магнита, либо полюсов магнита относительно катушки; угол отклонения стрелки зависит от скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур, т.е. от скорости их взаимного перемещения. **7.** Во второй катушке ток можно создать: замыкая и размыкая ключ; увеличивая и уменьшая сопротивление резистора; двигая катушки и стержень относительно друг друга; приближая и удаляя катушки друг от друга. Направление тока (отклонение стрелки) зависит от увеличения или уменьшения намагниченности стержня в результате вышеописанных действий. Угол отклонения зависит от скорости изменения магнитного потока, пронизывающего катушку L_2 . **8.** На рис. а вольтметр регистрирует ЭДС индукции «+» на верхней клемме при входе магнита в катушку и «+» на нижней клемме при выходе. На рис. б при входе магнита в катушку через амперметр протекает кратковременный ток снизу вверх, а при выходе магнита из катушки ток меняет направление. При этом магнит испытывает торможение при входе в катушку и выходе.

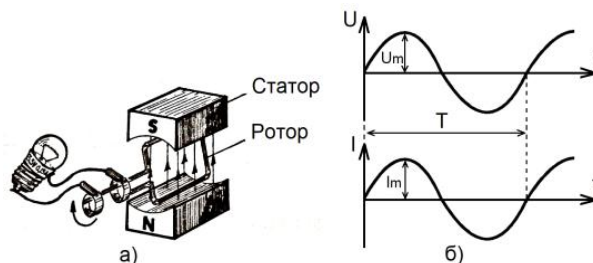


9. **10.** На обоих рисунках при вдвижении загорается лампа HL_1 , при выдвигении – HL_2 .

11. ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ТРАНСФОРМАТОР. ОСЦИЛЛОГРАФ. ЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР

§ 11-1. У ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПЕРИОДИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮТСЯ СИЛА И НАПРАВЛЕНИЕ

Переменным называется такой ток, сила и направление которого периодически изменяются. Переменный ток образуется в витках рамки, вращающейся в магнитном поле (рис. а). По такому принципу работают промышленные генераторы электростанций. Кроме этого существуют другие типы генераторов переменного тока.



В отличие от источников постоянного тока, у генераторов переменного тока знаки электрических зарядов на выходных клеммах непрерывно чередуются, вызывая одновременные изменения полярности и величины напряжения. Следовательно, в электрической цепи, подключенной к источникам переменного напряжения, происходит изменение силы и направления тока.

На рисунке б показаны графики изменения напряжения и силы переменного тока.

§ 11-2. ПЕРИОД, ЧАСТОТА И АМПЛИТУДА – ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основными параметрами переменного тока являются период, частота, амплитуда и действующие значения силы тока, напряжения, ЭДС.

Периодом T называется промежуток времени, в течение которого сила тока и напряжение совершают одно полное колебание. Период измеряется в секундах (с).

Частотой ν называется число полных колебаний силы тока или напряжения за одну секунду. Частота измеряется в герцах, сокращенно Гц.

Между периодом и частотой существует такая зависимость: $T = \frac{1}{\nu}$ или $\nu = \frac{1}{T}$.

Амплитудой силы тока I_m и амплитудой напряжения U_m называются их наибольшие значения за период. Например, по графикам (§ 11-1, рис. б) видно, что за один период сила тока и напряжение дважды достигают амплитудного значения.

В цепи переменного тока напряжение и сила тока непрерывно изменяются, принимая значения между нулевым и амплитудным значениями обоих знаков. Поэтому для характеристики переменного тока и напряжения используются так называемые их действующие (или эффективные) значения. Они обозначаются буквами I и U .

Между действующими значениями силы тока I и напряжения U и их амплитудными значениями I_m и U_m существуют соотношения: $I = 0,7 I_m$ и $U = 0,7 U_m$.

Измерительные приборы амперметр и вольтметр в цепях переменного тока показывают действующие значения силы тока и напряжения.

На всех потребителях электрической энергии, например, на утюгах, электроплитах, холодильниках, осветительных лампах, указывается действующее значение напряжения, потребляемая электрическая мощность и частота тока.

Задание 11-2-1.

1. В России и большинстве других стран мира частота промышленного тока составляет 50 Гц, в США – 60 Гц. В авиации, космической технике и на некоторых других подвижных объектах в целях снижения габаритов и массы электроприборов используется

ток повышенной частоты 400 Гц, 800 Гц, 2400 Гц и т.д. Вычислите периоды токов вышеназванных частот.

2. Операторы связи вашего мобильного телефона используют частоты радиоволн 900 МГц и 1800 МГц. Определите периоды колебаний, соответствующие этим частотам.

Задание 11-2-2.

Известное всем бытовое напряжение 220 В представляет собой действующее значение напряжения. Определите его амплитудное значение.

§ 11-3. ТРАНСФОРМАТОР, ПОВЫШАЯ НАПРЯЖЕНИЕ, ПОНИЖАЕТ СИЛУ ТОКА, И НАОБОРОТ

Переменный ток имеет то преимущество перед постоянным, что его напряжение и силу тока можно изменять многократно с помощью специального устройства, которое называется трансформатором (от латинского слова «transformo» – преобразую).

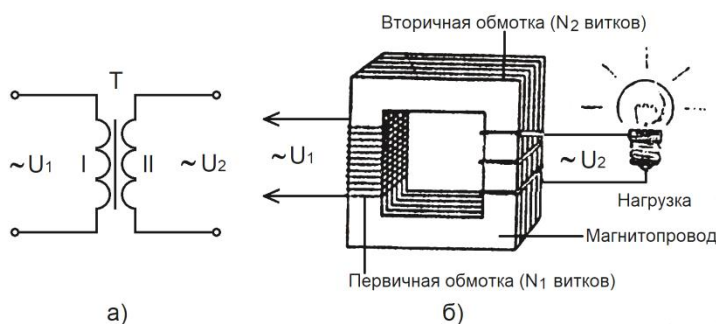
На рисунках а, б и фото приведены условное обозначение, схематическое изображение и внешний вид школьного демонстрационного трансформатора. Внешний вид некоторых трансформаторов показан на рисунке в.

Отношение напряжения U_1 в первичной обмотке к напряжению U_2 во вторичной обмотке или числа витков N_1 в первичной обмотке к числу витков N_2 во вторичной обмотке обозначают буквой K и называют коэффициентом трансформации: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$.

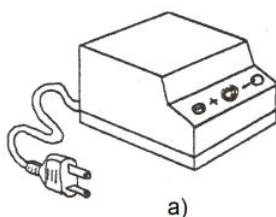
Если $K > 1$, то трансформатор является понижающим, если $K < 1$ – повышающим.

Трансформатор электроэнергию не вырабатывает. Он просто передает ее из первичной обмотки во вторичную, изменив силу тока и напряжение. Если не учитывать небольшие потери энергий, неизбежно идущие на нагревание обмоток и стержня (магнитопровода), то можно считать, что подведенная к первичной обмотке мощность P_1 , равна снимаемой с вторичной обмотки мощности P_2 : $P_1 = P_2$.

Подставив сюда формулу мощности $P = IU$, получаем $I_1 U_1 = I_2 U_2$. Из последнего выражения видно, что трансформатор, повышая напряжение, одновременно во столько же раз понижает силу тока.



Фото



а)

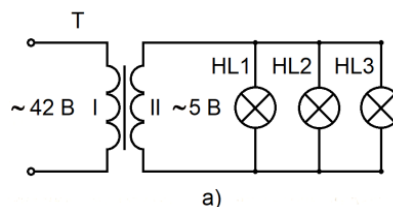
Задание 11-3-1.

В учебном кабинете физики сетевое напряжение 220 В для подачи на ученические столы понижается до 42 В. Для проведения лабораторных работ используют трансформатор, который подводимое к ученическому столу напряжение 42 В понижает до 5 В.

Вычислите коэффициент трансформации в каждом случае.

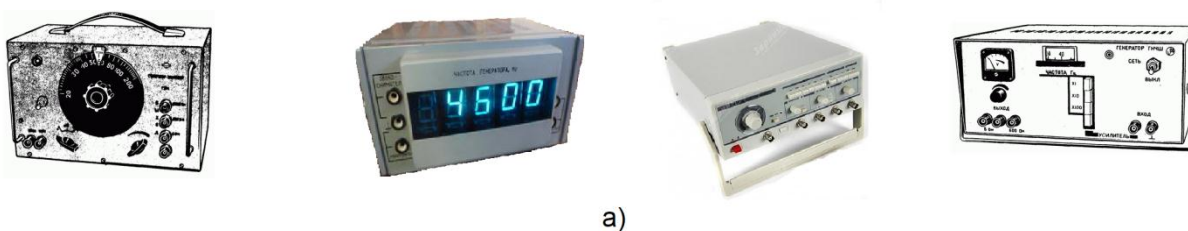
Задание 11-3-2.

Определите силу тока в первичной и во вторичной обмотках трансформатора лабораторного источника питания, если к вторичной обмотке подключены 3 лампы, по каждой из которых течет ток 0,3 А (рис. а).



§ 11-4. ЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР ВЫРАБАТЫВАЕТ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Специальное устройство, вырабатывающее переменный ток частотой в пределах слышимости человеческого уха (до 20 000 Гц), называется звуковым или низкочастотным генератором. Они удобны тем, что имеют регуляторы частоты и напряжения. На рисунке а приведены некоторые из звуковых генераторов, применяемых в школьных физических кабинетах.



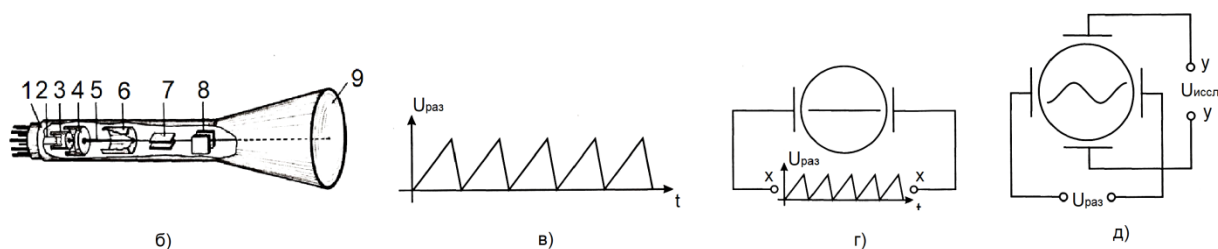
§ 11-5. ОСЦИЛЛОГРАФ – ЭТО УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИБОР, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ ВИДЕТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Электронный осциллограф (рис. а) 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. б). 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. в) подается на горизонтально отклоняющие пластины для разворачивания луча по горизонтали (рис. г, д).



Напряжение исследуемого сигнала с усилителя подается на вертикально отклоняющие пластины (рис. д). Для стабильного (неподвижного) состояния графика сигнала на экране частота развертки луча и частота исследуемого сигнала должны быть синхронизированы, это обеспечивается блоком синхронизации.

Количество колебаний на экране зависит от соотношения периодов исследуемого сигнала и пилообразного напряжения (рис. е, ж). 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.

Под совместным действием пилообразного и исследуемого напряжений электронный луч, двигаясь равномерно горизонтально, совершает вертикальные колебания. В результате на экране видна синусоида.

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.

Для изучения осциллограмм переменного тока нужно знать его характеристики. Переменный электрический ток – это вынужденные электрические колебания. Его график представлен на рисунке 3.

Уравнения силы тока и напряжения имеют вид: $i = I_m \sin \omega t$; $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.

Основными параметрами переменного тока являются:

I - мгновенное значение силы тока, А;

U - мгновенное значение напряжения, В;

I_m - амплитудное значение силы тока, А;

U_m - амплитудное значение напряжения, В;

I - действующее (эффективное) значение силы тока, А;

U - действующее (эффективное) значение напряжения, В;

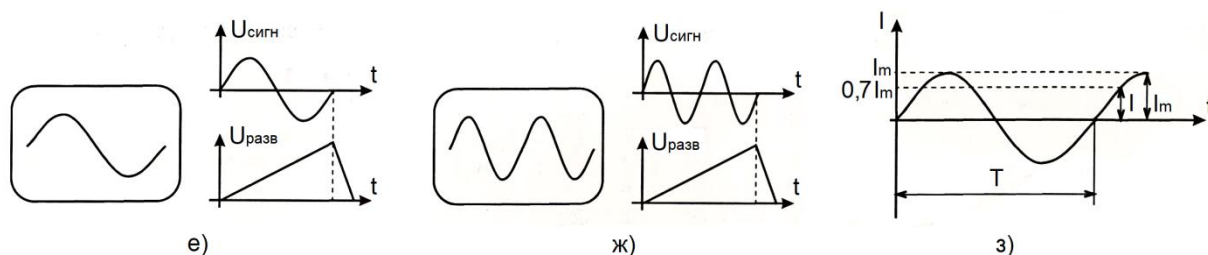
T - период – время одного полного колебания, с;

ν - частота – число колебаний за 1 секунду, Гц;

Ω - циклическая частота, рад/с;

φ - сдвиг фаз между током и напряжением, градус или рад.

При помощи осциллографа исследуют также неэлектрические физические величины, предварительно преобразовав их в электрические при помощи специальных датчиков.



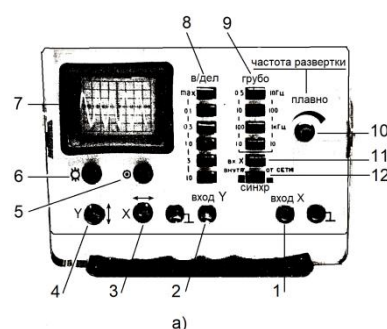
Вопросы для самоконтроля.

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?

Задание 11-5-1. Ознакомьтесь с осциллографом и изучите принцип его работы.

1. На рисунке а показан лабораторный осциллограф ОМШ-3М (у вас может быть другой). Выясните назначения гнезд, ручек и кнопок управления осциллографа, 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.
 - 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.

Задание 11-5-2. Изучите осциллограмму переменного тока.

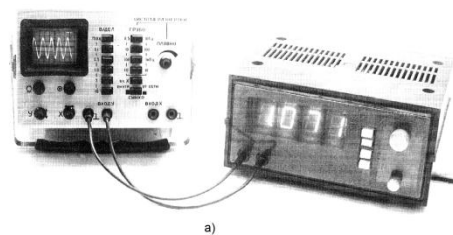
1. Подайте переменное напряжение от звукового генератора на выходы «Y» осциллографа. Кнопками переключателя входного делителя напряжения канала вертикального отклонения установите амплитуду колебаний в пределах экрана электронно-лучевой трубки.
2. Установите на экране неподвижную картину нескольких периодов колебаний, меняя частоту генератора управления разверткой.

3. Меняя уровень выходного напряжения звукового генератора и пользуясь кнопками управления входного сигнала осциллографа, установите амплитуды колебаний в пределах экрана. По масштабной сетке определите примерное значение напряжения сигнала.

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. Отключите напряжение развертки и светящуюся точку установите в середине экрана. Подайте переменное напряжение (промышленное или от звукового генератора) поочередно к входам осциллографа «Y» и объясните наблюдаемое явление.

6. 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.



а)

Задание 11-5-3. Сравните амплитудное и действующее значения переменного напряжения.

1. Соберите цепь при рисунке а, используя лабораторный источник питания, понижающее переменное напряжение 42 В до 5 В, выпрямительный диод, электролитический конденсатор, вольтметры для измерения переменного и постоянного напряжений.

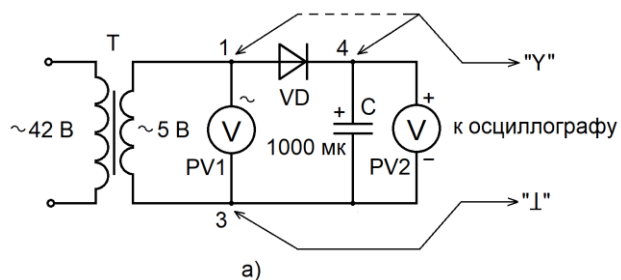
Полярность напряжения на концах вторичной обмотки трансформатора меняется с частотой 50 Гц. Диод пропускает ток только в одном направлении: от анода к катоду. Поэтому в течение одной половины периода ток проходит через диод VD и заряжает конденсатор C до амплитудного напряжения, которое сохраняется на его обкладках, так как параллельно к ним разряжающая нагрузка не включена. В течение второго полупериода ток в конденсатор не поступает: диод заперт.

Вольтметр переменного тока PV_1 измеряет действующее значение напряжения U на вторичной обмотке трансформатора. Вольтметр постоянного тока PV_2 измеряет амплитудное значение напряжения U_m на конденсаторе.

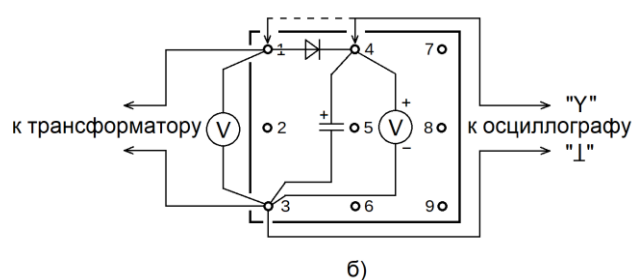
2. Измерьте действующее значение напряжения U вольтметром переменного тока PV_1 и амплитудное значение напряжения U_m вольтметром постоянного тока PV_2 .

3. Найдите отношение амплитудного значения напряжения к действующему и убедитесь, что оно равно $\frac{U_m}{U} \approx \sqrt{2} \approx 1,4$.

4. Сравните осциллограммы постоянного (выпрямленного) и переменного напряжений. Для этого подключайте вход осциллографа «Y» поочередно параллельно конденсатору (т. 4) и параллельно вторичной обмотке трансформатора (т. 1), как показано на рисунке а.



а)

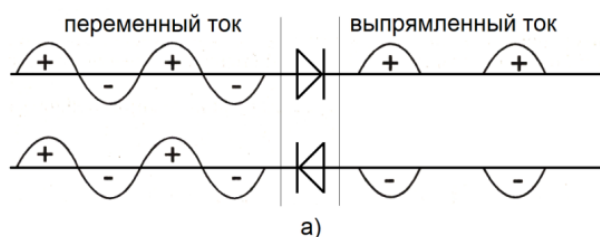


б)

§ 11-6. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ВЫПРЯМЛЯЕТСЯ ДИОДОМ

Для питания стационарных установок: телевизоров, радиоприемников, компьютеров и т.д. используется энергия электрической сети. Но в сети, как известно, переменное напряжение, а радиоэлектронная аппаратура питается постоянным током. Значит, сетевой ток должен быть выпрямлен, т.е. преобразован в ток одного направления.

Выпрямление переменного тока осуществляется с помощью полупроводниковых диодов, свойство которых пропускать ток только в одном направлении было изучено в § 9-4, § 9-5. На рисунке а условно показан слева от диодов график переменного тока, справа – график выпрямленного (постоянного по направлению) тока.

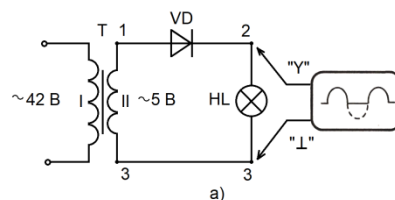


Задание 11-6-1. Изучите принцип однополупериодного выпрямления переменного тока.

1. Соберите цепь по рисунку а, которая состоит из понижающего трансформатора T и выпрямительного диода VD . Подключенная к выходу выпрямителя лампа HL представляет собой нагрузку выпрямителя.

2. Подключите параллельно нагрузке осциллограф и наблюдайте выпрямительное действие диода.

Выпрямление переменного тока происходит следующим образом. На вторичной обмотке трансформатора, включенного в сеть переменного тока, существует переменная ЭДС (напряжение). Поэтому знаки зарядов на ее выходах 1 и 3 меняются с частотой 50 Гц. В первую половину периода, когда точка 1 имеет положительный потенциал, а точка 3 – отрицательный, диод VD открыт и пропускает ток по замкнутому контуру, состоящему из вторичной обмотки трансформатора, диода VD и лампы HL .

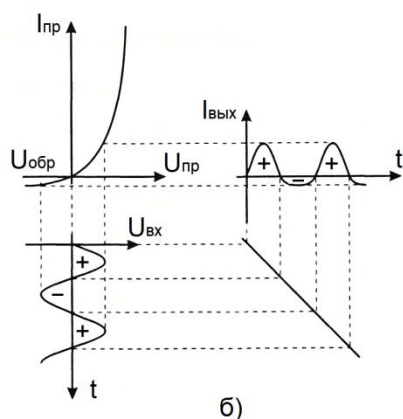


На экране осциллографа, включенного параллельно нагрузке, видна половина синусоиды (сплошная линия).

Во второй полупериод, когда точка 1 имеет отрицательный потенциал, а точка 3 – положительный, диод заперт и ток через него почти не проходит. На нагрузке HL напряжение равно нулю, и на экране осциллографа наблюдается прямая горизонтальная линия.

Данный выпрямитель называется однополупериодным, так как в нем для получения выходного напряжения используется только один полупериод входного напряжения. Он дает пульсирующее напряжение и ток: в нагрузке полупериода ток и напряжение есть, полупериода они отсутствуют.

Физический процесс выпрямления переменного тока легко понять, если к вольтамперной 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 рисунке б.



§ 11-7. КОНДЕНСАТОР СГЛАЖИВАЕТ ПУЛЬСАЦИИ ВЫПРЯМЛЕННОГО ТОКА

Пульсирующий ток, который вырабатывает однополупериодный выпрямитель (рис. а), с успехом можно использовать для зарядки аккумуляторов, работы двигателей постоянного тока, однако, например, для работы электронного усилителя звуковой частоты

они не годятся, т. к. пульсации напряжения создают в громкоговорителе фон переменного тока.

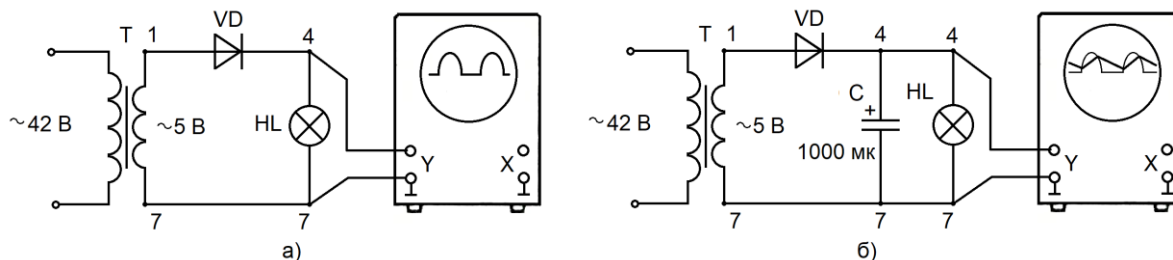
Частично пульсации можно сгладить, если параллельно нагрузке подключить электролитический конденсатор (рис. б). Теперь на экране осциллографа вместо однополупериодных пульсаций (показаны пунктиром) видна сплошная ломаная линия. Объяснить происходящее можно так: конденсатор заряжается током, когда диод открыт, и разряжается через нагрузку R_H , 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.

Задание 11-7-1. Наблюдайте действие сглаживающего фильтра.

1. Соберите цепь (рис. а), где лампа HL питается от источника переменного тока через выпрямительный диод VD .

2. Включите параллельно лампе вертикальный вход осциллографа и убедитесь в однополупериодном выпрямлении переменного тока.



3. Включайте параллельно лампе поочередно конденсаторы 100 мкФ, 1000 мкФ, 4700 мкФ (рис. б) и наблюдайте их сглаживающее действие выпрямленного напряжения. Это явление объясняется так: в первый полупериод, когда диод проводит ток, конденсатор заряжается, а во второй полупериод он разряжается через лампу (ломаная линия на осциллограмме). Чем больше ёмкость конденсатора, тем лучше он сглаживает.

4. Включайте в качестве нагрузки вместо лампы резисторы сопротивлением 30 Ом, 1 кОм и исследуйте, зависит ли качество сглаживания от сопротивления нагрузки.

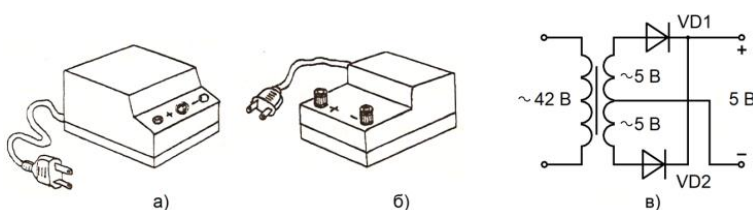
5. Объясните, почему при увеличении емкости конденсатора и сопротивления нагрузки качество сглаживания улучшается.

Примечание. Сопротивление светящейся лампы накаливания в этих схемах составляет 10-20 Ом.

§ 11-8. ЛАБОРАТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ – ЭТО ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

В школах широко используется лабораторный источник постоянного тока для фронтальных работ ИПФ, который переменное напряжение 42 (36) В преобразует в напряжение 4–6 В.

Варианты внешнего вида ИПФ показаны на рисунках а, б, а электрическая схема дана на рисунке в.



ИПФ состоит из трансформатора, на первичную обмотку которого подается переменное напряжение 42 (36) В. Вторичная обмотка имеет средний вывод, делящий ее на две равноценные полуобмотки. На выводах каждой полуобмотки имеется переменное напряжение около 5 В (они соединены последовательно).

Кроме понижения переменного напряжения ИПФ преобразует переменный ток в постоянный. Для этого использованы два диода VD_1 и VD_2 , обеспечивающие двухполупериодное выпрямление напряжения около 4–5 В.

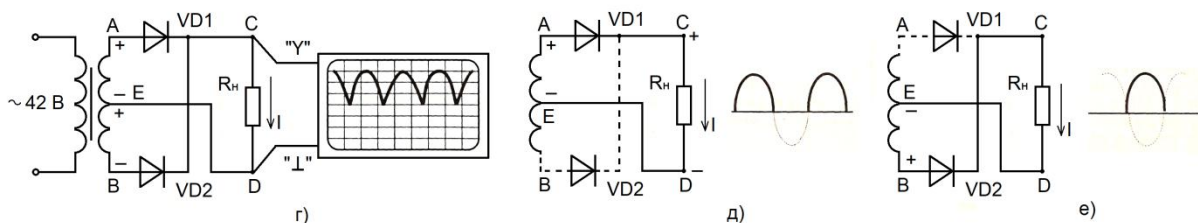
В некоторых модификациях блока питания имеется сигнальная лампа, которая на рисунке в не указана.

Рассмотрим работу этой схемы. Пусть в данный момент на вторичной обмотке трансформатора переменное напряжение в верхней точке А (рис. г) имеет положительный знак 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 VD_1 открыт, т.е. пропускает ток, а диод VD_2 закрыт. Ток пройдет по замкнутому контуру от вывода А через диод VD_1 , нагрузку R_n , верхнюю половину вторичной обмотки трансформатора (рис. д). В итоге на нагрузке R_n есть напряжение, а ток идет в ней сверху вниз (по рисунку).

Во втором полупериоде полярность напряжения на обмотках трансформатора изменяется на противоположную: нижний вывод вторичной обмотки становится положительным по отношению к верхнему и центральному выводам (рис. е). Теперь диод VD_2 открыт и пропускает ток, а диод VD_1 закрыт и тока не пропускает. Ток есть в другом контуре: точка В - диод VD_2 - нагрузка R_n - вторая (нижняя) полуобмотка трансформатора.

В итоге данное устройство выпрямляет оба полупериода за счет действия то одного, то другого диода. Такое выпрямление называют двухполупериодным. Направление тока в нагрузке R_n постоянно по направлению и не зависит от его направления во вторичной обмотке. Сила тока непостоянна: она то возрастает, то убывает, т.е. пульсирует, причем частотой 100 Гц, в два раза большей частоты выпрямляемого переменного тока 50 Гц.

Осциллограф, подключенный к выходу выпрямителя, позволяет наблюдать форму электрических колебаний в нагрузке (рис. г).



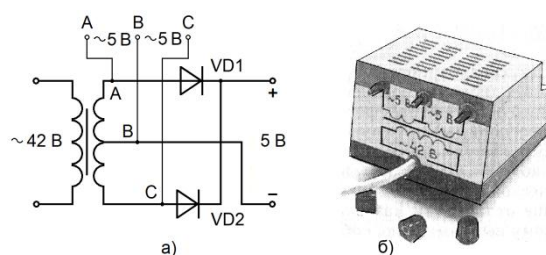
Задание 11-8-1. Изучите устройство источника питания ИПФ и усовершенствуйте его.

На выходе источника питания ИПФ имеется постоянное напряжение 5 В. Ниже показано, как его можно усовершенствовать для получения переменных напряжений 5 В.

1. Снимите корпус источника питания.
2. Найдите трансформатор, выводы первичной и вторичной обмоток, выпрямительные диоды.

3. Припаяйте медные многожильные проводники А, В, С в изоляции к выводам вторичных полуобмоток (рис. а), не нарушая конструкции прибора. Для среднего вывода В возьмите провод, отличающийся от проводов А и С по цвету.

Выведенные наружу концы проводов можно оставить свободными, но лучше всего присоединить их к трем клеммам, установленным



на задней стенке корпуса прибора (рис. б).

4. Соберите блок питания ИПФ в корпусе.

Приклейте нарисованные на бумаге графические обозначения трансформатора к задней стенке корпуса.

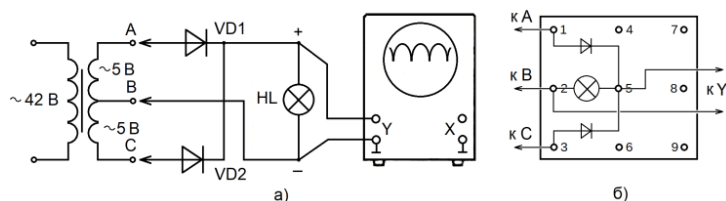
7. Подключив вход осциллографа “Y” к выводам от вторичных полуобмоток А, В, С, наблюдайте осциллограмму переменного тока.

Задание 11-8-2. Изучите двухполупериодное выпрямление переменного тока двумя диодами.

1. Соберите двухполупериодный выпрямитель, подключив к выходу трансформатора со средним выводом на вторичной обмотке два выпрямительных диода (рис. а, б). В качестве трансформатора можно использовать блок питания (его трансформатор), усовершенствованный согласно предыдущему заданию.

2. К выходу выпрямителя подключите лампу *HL MH 6,3 В x 0,3 А*, которая будет исполнять роль нагрузки.

3. Подключите осциллограф к выходу выпрямителя (параллельно лампе) и наблюдайте двухполупериодное выпрямление переменного тока.



4. Наблюдайте осциллограмму выпрямленного напряжения, исключая из схемы поочередно диоды VD_1 , VD_2 , и сравните ее с предыдущей осциллограммой двухполупериодного выпрямления с использованием обоих диодов.

5. Подключите параллельно лампе (нагрузке выпрямителя) поочередно оксидные конденсаторы 1000 мкФ, 4700 мкФ и наблюдайте их сглаживающее действие выпрямленного напряжения.

Задание 11-8-3. Изучите двухполупериодное выпрямление переменного тока четырьмя диодами.

Двухполупериодный выпрямитель на двух диодах со средней точкой вторичной обмотки трансформатора имеет неоспоримые преимущества по качеству выпрямления перед однополупериодным. 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 рисунках а, б. Здесь диоды $VD_1 - VD_4$ являются плечами выпрямительного моста. В одну диагональ моста подается переменное напряжение, с другой диагонали, к которой подключается нагрузка R_H (лампа), снимается выпрямленное напряжение. В таком выпрямителе в течение одного полупериода работают два диода противоположных плеч моста, включенных между собой последовательно: VD_1 и VD_4 ; VD_2 и VD_3 .

Процесс выпрямления переменного тока по мостовой схеме, поясняют рисунки в, г. Обратите внимание на то, что независимо от того, какая пара диодов открыта, ток по нагрузке всегда течет в одну сторону.

Результат выпрямления наблюдают на экране осциллографа, подключенного параллельно нагрузке.

1. Соберите выпрямитель, подключив четыре диода по мостовой схеме к источнику переменного тока с напряжением около 5 В. Можно использовать трансформатор блока питания, усовершенствованного согласно заданию 11-8-1, или иной.

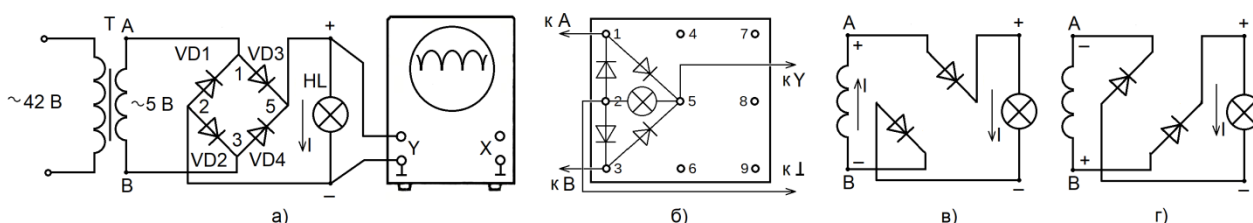
2. К выходу выпрямителя подключите лампу *HL (MH 6,3 В x 0,3 А)* в качестве нагрузки.

3. Подключите осциллограф к выходу выпрямителя и наблюдайте двухполупериодное выпрямление.

4. Объясните принцип работы двухполупериодного выпрямителя, пользуясь рисунками в, г.

5. В конструкции, собранной по рисунку а, поочередно оставляйте в цепи только последовательно соединенные диоды противоположных плеч (VD_1, VD_4 или VD_2, VD_3) (рис. в, г), и понаблюдайте осциллограммы однополупериодно выпрямленного напряжения.

6. Подключите параллельно лампе (нагрузке выпрямителя) поочередно оксидные конденсаторы 1000 мкФ, 4700 мкФ и наблюдайте их сглаживающее действие.



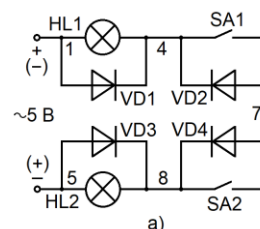
Задание 11-8-4. Изучите роль выключателей в цепи постоянного и переменного токов.

В конструкции, собранной по рисунку а, изучите роль выключателей SA_1, SA_2 (перемычек):

- в цепи постоянного тока, изменяя полярность включения батарейки с ЭДС 4,5 В;

- в цепи переменного тока напряжением 5 В.

Объясните в каждом случае, как и почему влияет на яркость ламп включение того или иного выключателя.

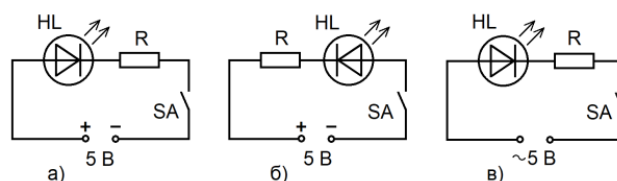


Задание 11-8-5. Демонстрация светодиода в цепи постоянного и переменного тока.

1. Соберите цепь (рис. а) и убедитесь в том, что светодиод, включенный прямо через ограничительный резистор к источнику постоянного напряжения, проводит ток, о чём свидетельствует его свечение.

2. Измените полярность включения светодиода (рис. б). Теперь он не проводит тока и не светит.

3. Включите светодиод к источнику переменного тока (рис. в) и убедитесь в том, что независимо от полярности включения он проводит ток и светит. Объясните этот факт.



12. АКТИВНОЕ, ИНДУКТИВНОЕ, ЁМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

§ 12-1. РЕЗИСТОР (АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ) ПРОВОДИТ ПОСТОЯННЫЙ И ПЕРЕМЕННЫЙ ТОКИ

Электрическое сопротивление, о котором мы говорили до сих пор, – сопротивление проводников, спиралей ламп, резисторов, диодов - называется активным сопротивлением и обозначается буквой R : $R = \rho \frac{l}{S}$, где R – активное сопротивление проводника, Ом; ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·м; l – длина проводника, м; S – площадь поперечного сечения проводника, м².

Для участка с активным сопротивлением закон Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$ справедлив не только для постоянного тока, но и для переменного.

На активном сопротивлении электрическая энергия безвозвратно превращается во внутреннюю (тепловую) энергию: $Q = I^2 R t$.

Кроме активного сопротивления переменный ток в цепях может испытывать реактивные сопротивления, на преодоление которых мощность не затрачивается. К ним относятся индуктивное сопротивление, оказываемое катушкой, и ёмкостное сопротивление конденсатора.

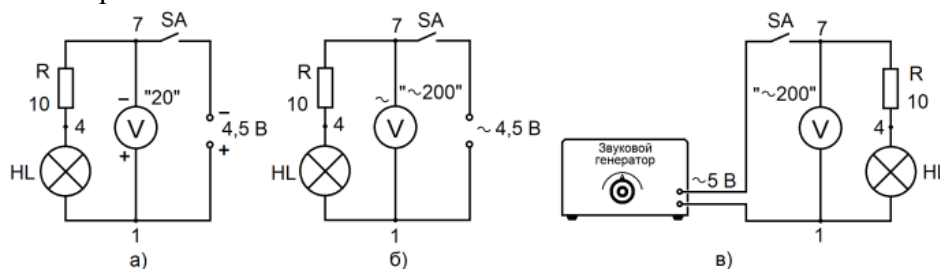
Задание 12-1-1. Убедитесь в проводимости активным сопротивлением постоянного и переменного токов.

1. Соберите цепь (рис а). Подайте на лампу и включенный последовательно с ней резистор постоянное напряжение 4,5 В. Запомните яркость лампы.

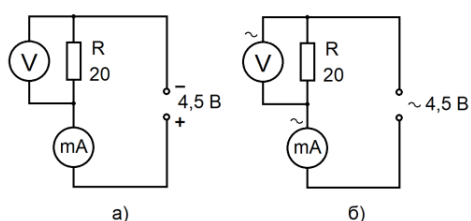
2. Переключите эту цепь на переменный ток напряжением 4,5 В (рис. б). Обратите внимание на то, что лампа и резистор, обладающие активным сопротивлением, одинаково хорошо проводят и постоянный, и переменный ток.

3. Включите лампу с резистором к выходу звукового генератора (рис. в). Меняя частоту тока от 45 Гц до 450 Гц, следите за тем, как лампа и резистор одинаково хорошо проводят токи всех частот.

Примечание. Частотный диапазон напряжения, измеряемого вольтметром переменного тока, входящего в состав мультиметра, составляет 45 Гц – 450 Гц при относительной погрешности $\pm 2\%$.



Задание 12-1-2. Используйте закон Ома в цепях постоянного и переменного токов.



1. Соберите электрическую цепь по рисунку а и убедитесь в справедливости закона Ома для участка в цепи постоянного тока.

2. Соберите цепь по рисунку б и убедитесь в справедливости закона Ома для участка цепи для переменного тока.

Внимание!

1. В первом опыте используются измерительные приборы постоянного тока, во втором - переменного тока.
2. Мультиметр М830В функцией измерения силы переменного тока не оборудован.

§ 12-2. ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КАТУШКИ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ С РОСТОМ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Катушка, включенная в цепь переменного тока, кроме активного сопротивления R , определяемого геометрическими размерами, материалом и температурой провода, обладает дополнительным сопротивлением 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.

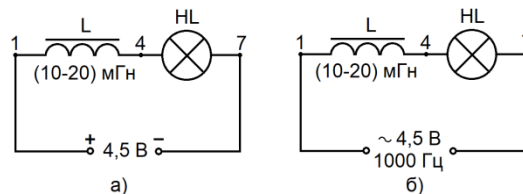
Числовое значение индуктивного сопротивления пропорционально частоте колебаний ν и индуктивности L : $X_L = 2\pi\nu L$.

Если пренебречь активным сопротивлением катушки, ее индуктивное сопротивление можно определить по закону Ома для участка цепи: $X_L = \frac{U}{I}$, где X_L — индуктивное сопротивление (Ом); I — сила переменного тока в катушке (А); U — напряжение на катушке (В).

Задание 12-2-1. Наблюдайте роль катушки в цепи постоянного и переменного тока.

1. Соберите цепь (рис. а), где катушка L последовательно с лампой включена в цепь постоянного тока напряжением 4,5 В. Лампа горит ярко, катушка проводит ток, оказывая только активное сопротивление.

2. Включите катушку последовательно с лампой к звуковому генератору частотой тока 1000 Гц (рис. б) с выходным напряжением 4,5 В. Лампа горит тускло, катушка плохо проводит ток, оказывая активное и индуктивное сопротивления.



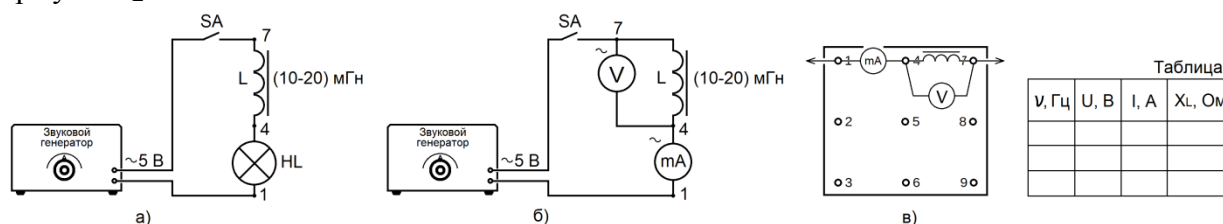
Задание 12-2-2. Исследуйте зависимость индуктивного сопротивления катушки от частоты переменного тока.

1. Соберите цепь (рис. а), где катушка через лампу включена к выходу звукового генератора.

2. Меняйте плавно частоту генератора от 0 до 2000 Гц. Следите за тем, как по мере увеличения частоты уменьшается яркость лампы, свидетельствуя об увеличении индуктивного сопротивления катушки.

3. Соберите цепь (рис. б), где для измерения напряжения на катушке используйте вольтметр переменного тока, а для измерения силы тока — миллиамперметр переменного тока. По показаниям приборов вычислите индуктивное сопротивление катушки при частотах 400 Гц, 800 Гц, 1200 Гц.

Результаты эксперимента занесите в таблицу и проанализируйте их на основе формулы $X_L = 2\pi\nu L$.



Конденсатор оказывает переменному току сопротивление, которое называется ёмкостным. Оно определяется формулой $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$, где X_C — ёмкостное сопротивление (Ом), ν — частота тока (Гц), C — ёмкость конденсатора (Ф).

Ёмкостное сопротивление конденсатора можно также вычислить по закону Ома для участка цепи, если известны сила переменного тока I и напряжение на его обкладках U :

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

Примечание. У идеального конденсатора, упоминающегося в условиях задачи, сопротивление постоянному току считается бесконечно большим.

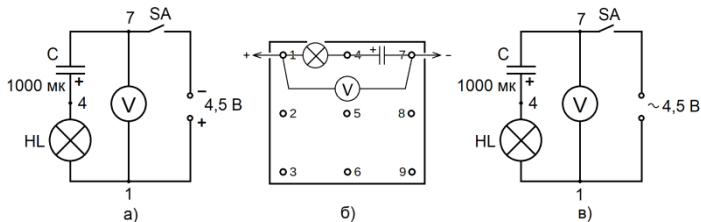
Задание 12-3-1. Наблюдайте роль конденсатора в цепи постоянного и переменного токов.

Примечание. Конденсатор при включении в цепь постоянного тока проводит ток только в период зарядки.

1. Соберите цепь (рис. а, б), где последовательно соединённые лампа HL и конденсатор C включены к источнику постоянного тока.

Включите цепь и обратите внимание на то, что вольтметр показывает наличие напряжения, но лампа не горит. Это свидетельствует о том, что конденсатор, обкладки которого разделены диэлектриком, постоянного тока не проводит.

2. Переключите эту цепь к сетевому источнику переменного тока или звуковому генератору (рис. в). Полярность включения конденсатора любая. Лампа горит, конденсатор проводит переменный ток.

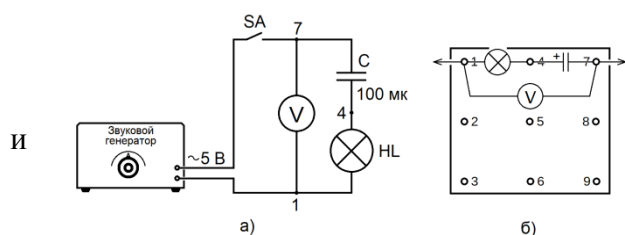


Задание 12-3-2. Исследуйте зависимость ёмкостного сопротивления конденсатора от частоты переменного тока.

1. Включите лампу через конденсатор к выходу звукового генератора (рис. а).

2. Меняйте плавно частоту переменного тока от 0 до 2000 Гц и следите за тем, как по мере увеличения частоты лампа загорается ярче, а при уменьшении частоты она затухает гаснет, хотя напряжение остаётся неизменным. Следовательно, сопротивление конденсатора переменному току зависит от частоты

согласно формуле $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$.

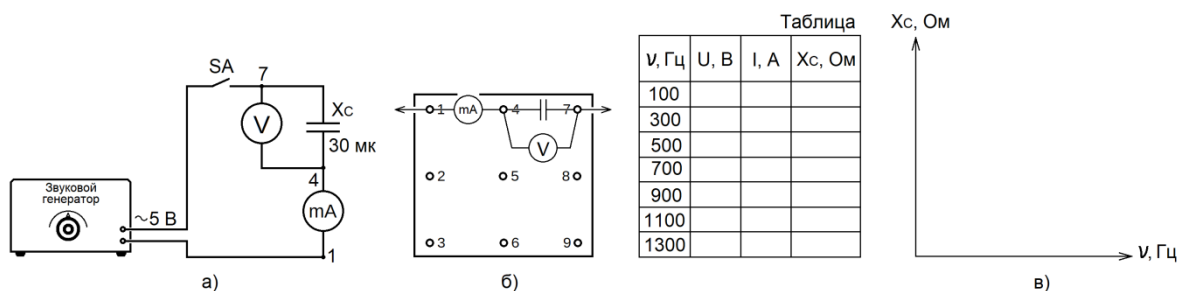


Задание 12-3-3. Постройте график зависимости ёмкостного сопротивления конденсатора от частоты переменного тока.

1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. По показаниям приборов вычислите ёмкостное сопротивление конденсатора при частотах тока генератора, указанных в таблице.

3. По результатам эксперимента постройте график зависимости ёмкостного сопротивления конденсатора от частоты тока: $X_C = f(\nu)$ и проанализируйте его вид.



Задание 12-3-4. Определите ёмкость конденсатора.

1. Соберите цепь (рис. а). Установите частоту генератора 2000 Гц. Измерьте напряжение на конденсаторе 100 мкФ и силу тока в нём. По показаниям приборов вычислите ёмкостное сопротивление конденсатора X_C и его электроёмкость C .

2. Повторите действия пункта 1 для конденсатора 1000 мкФ.

Результаты опыта занесите в таблицу.

Примечание.

1. Полярность включения конденсатора не имеет значения.

2. Вычисленная ёмкость может не совпадать с номинальной, нанесённой на корпусе, по следующим причинам:

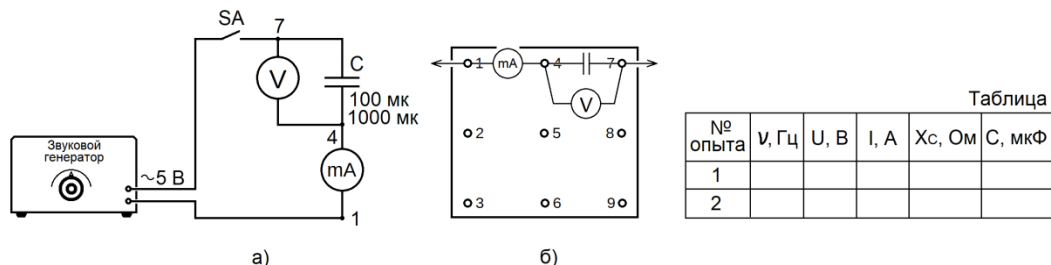
- у электролитических конденсаторов, применяемых в опыте, относительная погрешность ёмкости составляет 30 %;

- электролитический конденсатор, предназначенный для работы в цепях постоянного тока, в данном опыте включается в цепь переменного тока;

- электролитические конденсаторы с течением времени склонны терять ёмкость, поэтому вычисленные вами значения электроёмкости конденсаторов могут быть меньше маркированных на корпусе значений;

- измерительные приборы имеют погрешность.

Для более точного измерения силы тока рекомендуем использовать более точный лабораторный амперметр или миллиамперметр переменного тока.



Задание 12-3-5. Сравните графики зависимости ёмкостного и индуктивного сопротивлений от частоты переменного тока.

1. По табличным данным заданий 12-2-3 и 12-3-3 постройте графики зависимости ёмкостного и индуктивного сопротивлений от частоты тока в одних и тех же координатных осях и произведите их сравнение на основе формул: $X_C = 1/(2\pi\nu C)$; $X_L = 2\pi\nu L$.

2. Объясните, что собой представляют параметры (сопротивление и частота) точки пересечения графиков линий $X_L = f(\nu)$ и $X_C = f(\nu)$.

§ 12-4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ КОНТУРЫ

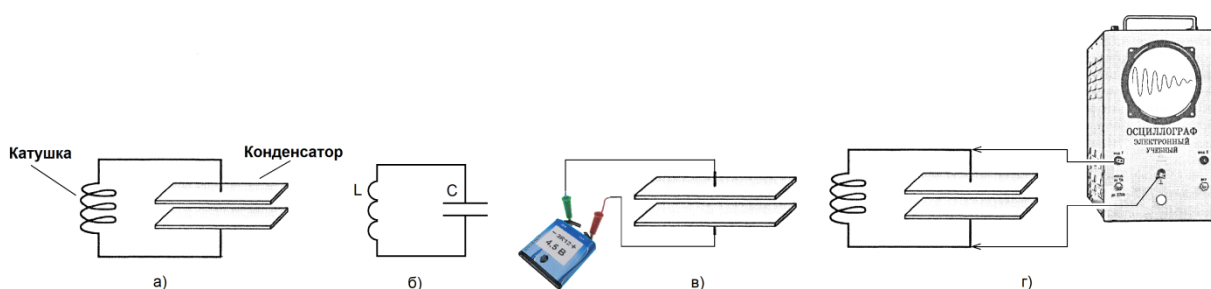
Электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности и конденсатор, называется колебательным контуром. При последовательном соединении элементов цепи колебательный контур называется последовательным, при параллельном – параллельным.

На рисунке а показан параллельный колебательный контур. На рисунке б приведено его условное графическое обозначение.

Если обкладки конденсатора зарядить разноименно (рис. в) и присоединить к катушке, то в этой системе происходят электромагнитные колебания – периодические изменения заряда, силы тока и напряжения (рис. г). При этом энергия электрического поля конденсатора $W_C = \frac{q^2}{2C}$ преобразуется в энергию магнитного поля катушки $W_L = \frac{LI^2}{2}$ и наоборот.

Полная энергия электромагнитного поля колебательного контура равна сумме энергий его магнитного и электрического полей: $W = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C}$.

Период свободных электромагнитных колебаний определяется значениями индуктивности катушки L и емкости конденсатора C и определяется по формуле $T = 2\pi\sqrt{LC}$



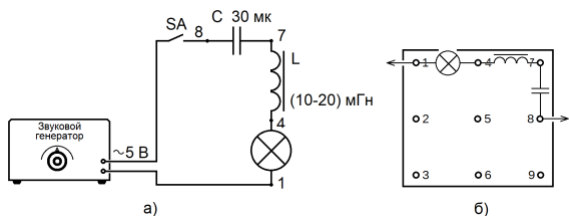
Задание 12-4-1. Наблюдайте явление резонанса в последовательном колебательном контуре.

Реактивные сопротивления катушки $X_L = 2\pi\nu L$ и конденсатора $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$, как видно из формул, зависят от частоты тока: сопротивление конденсатора уменьшается, а сопротивление катушки увеличивается с ростом частоты (задания 12-2-3, 12-3-3).

В последовательном колебательном контуре при малых частотах силу тока в цепи ограничивает в основном конденсатор своим большим ёмкостным сопротивлением. При высоких частотах, наоборот, сила тока ограничивается большим индуктивным сопротивлением катушки.

Явление резонанса в параллельном колебательном контуре наступает при частоте, когда сопротивления участков выравниваются и контур имеет минимальное сопротивление.

1. Соберите цепь (рис. а), где последовательно соединенные катушка, конденсатор, лампа включены к выходу звукового генератора.



2. Установите неизменное выходное напряжение генератора и плавно изменяйте частоту тока от 0 до 2000 Гц. Следите за изменением яркости лампы. По максимальной яркости определите резонансную частоту, при которой последовательный колебательный контур имеет наименьшее сопротивление.

3. Исследуйте, как на резонансную частоту влияет изменение ёмкости цепи параллельным и последовательным соединением конденсатора 100 мкФ.

4. Зная резонансную частоту и ёмкость конденсатора, из формулы Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$ вычислите индуктивность катушки.

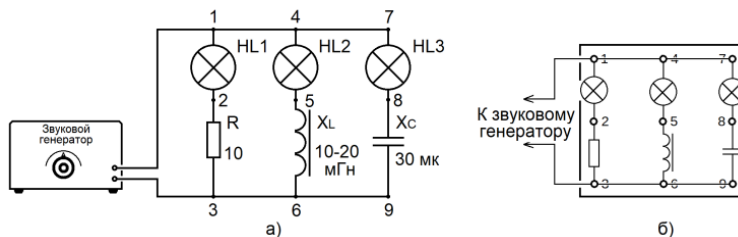
Задание 12-4-5. Сравните графики зависимости силы тока от частоты в последовательном и параллельном колебательных контурах.

1. По табличным данным предыдущих опытов постройте графики зависимости силы тока в параллельном и последовательном колебательных контурах от частоты тока в одних и тех же координатных осях и произведите их сравнение.

2. Объясните, почему при резонансной частоте в параллельном колебательном контуре течет наименьший ток, а в последовательном – наибольший ток.

Задание 12-4-6. Наблюдайте и объясните разделение токов различных частот активным, индуктивным и ёмкостным сопротивлениями.

1. Соберите цепь (рис. а, б), где параллельно соединённые активное сопротивление R (резистор), индуктивное сопротивление X_L (катушка) и ёмкостное сопротивление X_C (конденсатор) включены к выходу звукового генератора. Лампы HL_1 – HL_3 позволяют контролировать силу тока в ветвях.

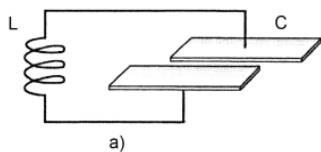
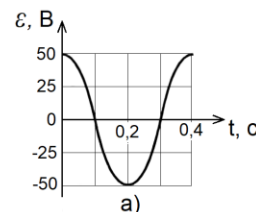


2. Плавно регулируя частоту генератора от 0 до 2000 Гц, следите за яркостью ламп. Обратите

внимание на то, что при малой частоте, например, 100 Гц, горят лампы HL_1 и HL_2 . При увеличении частоты яркость лампы HL_2 уменьшается, а яркость лампы HL_3 увеличивается. Яркость лампы HL_1 , соединённой последовательно с активным сопротивлением R , не меняется. При частоте 2000 Гц горят лампы HL_1 и HL_3 . Наблюдаемое явление объясняется тем, что активное сопротивление резистора от частоты тока не зависит. Индуктивное сопротивление катушки прямо пропорционально, а ёмкостное сопротивление конденсатора обратно пропорционально зависят от частоты переменного тока: $X_L = 2\pi\nu L$; $X_C = 1/(2\pi\nu C)$.

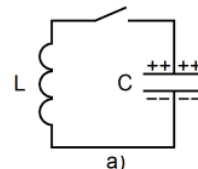
§ 12-5. ЗАДАЧИ ЕГЭ ПО ТЕМАМ ПЕРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК, АКТИВНОЕ, ИНДУКТИВНОЕ И ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Задача 1. По графику (рис. а) найдите амплитудное значение переменной ЭДС, её период, частоту. Запишите формулу изменения ЭДС со временем.

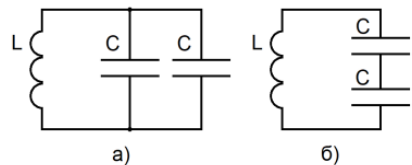


Задача 2. Колебательный контур состоит из катушки с постоянной индуктивностью и плоского воздушного конденсатора с частично перекрывающимися подвижными обкладками (рис. а). Какими способами можно увеличить частоту электромагнитных колебаний?

Задача 3. Через какую долю периода после замыкания заряженного конденсатора на катушку (рис. а) его первоначальная энергия уменьшится вдвое?

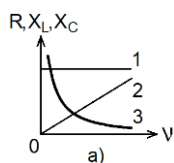
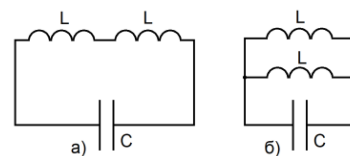


Задача 4. В колебательном контуре емкость конденсатора увеличили в 4 раза. Что нужно сделать, чтобы период электромагнитных колебаний остался прежним?



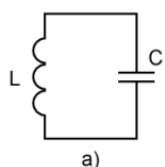
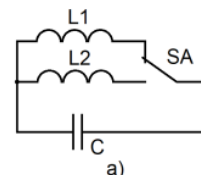
Задача 5. Колебательный контур состоит из катушки и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно (рис. а). Как изменится период собственных колебаний, если конденсаторы включить последовательно (рис. б)?

Задача 6. Колебательный контур состоит из конденсатора и двух одинаковых катушек индуктивности, соединённых последовательно (рис. а). Как изменится резонансная частота контура, если катушки соединить параллельно (рис. б)?



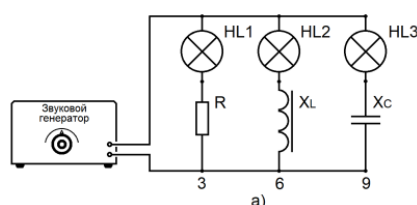
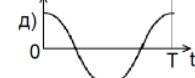
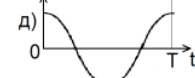
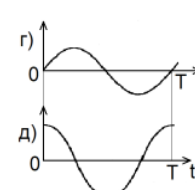
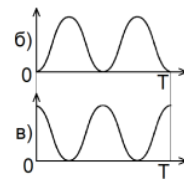
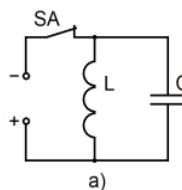
Задача 7. Какой из графиков (рис. а) выражает зависимость активного, ёмкостного и индуктивного сопротивлений от частоты переменного тока?

Задача 8. В колебательном контуре (рис. а) индуктивность катушки $L_1 = 6$ мГн. При переводе ключа на катушку L_2 период собственных электромагнитных колебаний контура увеличился в $\sqrt{6}$ раза. Какова индуктивность катушки L_2 ?



Задача 9. Напряжение между обкладками конденсатора колебательного контура (рис. а) меняется по закону $U_C = U_0 \cos \omega t$, где $U_0 = 20$ В, $\omega = 5\pi \cdot 10^6$ с⁻¹. Какова частота колебаний силы тока в катушке?

Задача 10. Идеальный колебательный контур длительное время находится подключенным к источнику тока (рис. а). После размыкания ключа в контуре начинаются электромагнитные колебания. Графики каких физических процессов, происходящих в течение первого периода, показаны на рисунках б, в, г, д?



Задача 11. В электрической схеме, изображенной на рисунке а, значения активного сопротивления R , индуктивного сопротивления X_L и ёмкостного сопротивления X_C подобраны так, что при частоте генератора 1000 Гц все лампы горят одинаковым накалом. Как будет изменяться накал ламп, если частоту продаваемого напряжения менять от 0 до 2000 Гц?

Ответы. 1. 50 В; 0,4 с; 2,5 Гц; $\varepsilon = 50 \cos 5\pi t$. 2. На основании формул $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ и

$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$ нужно: 1) увеличить площадь наложения пластин; 2) уменьшить расстояние между

пластинами 3) заполнить пространство между обкладками средой. 3. $T/8$. 4. Нужно уменьшить индуктивность катушки в 4 раза. 5. Период уменьшится в 2 раза. 6. Частота увеличится в 2 раза. 7. 1 – активное сопротивление; 2 – индуктивное сопротивление; 3 – ёмкостное сопротивление. 8. 36 мГн. 9. 2,5 МГц. 10. Рис. б – энергия электрического поля конденсатора; рис. в – энергия магнитного поля катушки; рис. г – заряд верхней обкладки конденсатора; рис. д – сила тока в катушке. 11. Яркость лампы HL_1 не меняется; при постоянном токе HL_2 горит, HL_3 не горит; по мере увеличения частоты яркость лампы HL_2 уменьшается, а яркость лампы HL_3 увеличивается.

Однако часто встречаются транзисторы старой системы маркировки, например: МП26А, МП42Б, П416А, П214Г и т.д. Буква М свидетельствует о том, что корпус транзистора холодносварной, буква П – первая буква слова «плоскостной».

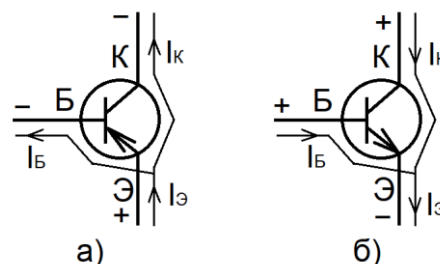
Задание 13-2-1. Возьмите входящие в состав комплекта транзисторы и определите:

- марку;
- тип (структуру);
- выводы: базу, коллектор, эмиттер.

§ 13-3. ТРАНЗИСТОРЫ РАЗНЫХ СТРУКТУР ОТЛИЧАЮТСЯ ПОЛЯРНОСТЬЮ ПИТАНИЯ

Стрелка на выводе эмиттера на обозначении транзистора условно показывает направление тока. Следовательно, токи в $p-n-p$ -транзисторе направлены от эмиттера к коллектору и базе (рис. а), а у $n-p-n$ -транзистора – от коллектора и базы к эмиттеру (рис. б). Причем, $I_{\text{Э}} = I_{\text{К}} + I_{\text{Б}}$; $I_{\text{К}} \gg I_{\text{Б}}$. Помним, что ток условно направлен от «+» к «-».

Обратите внимание на то, что транзисторы разного типа проводимости отличаются полярностью включения питания к их выводам.



§ 13-4. ПРОВЕРКА ИСПРАВНОСТИ ПЕРЕХОДОВ ТРАНЗИСТОРОВ

В транзисторе, в отличие от диода, имеется два $p-n$ -перехода: эмиттерный – между эмиттером и базой – и коллекторный – между базой и коллектором.

Прежде чем использовать транзистор, обычно проверяют целостность его переходов. Делают это тем же способом, что и проверку диода (задание 9-5-1). 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, в обратном направлении (когда у $p-n-p$ -транзистора на базе «+», у $n-p-n$ -транзистора – «-») – большое сопротивление: несколько сотен кОм.

У транзисторов возможны следующие неисправности:

- пробиты оба перехода, когда в обоих направлениях имеют незначительные сопротивления;
- оборваны один или оба перехода, тогда они имеют бесконечно большие сопротивления;
- один переход пробит, другой оборван;
- пробит участок эмиттер-коллектор и он имеет малое сопротивление.

Вопросы для самоконтроля.

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?

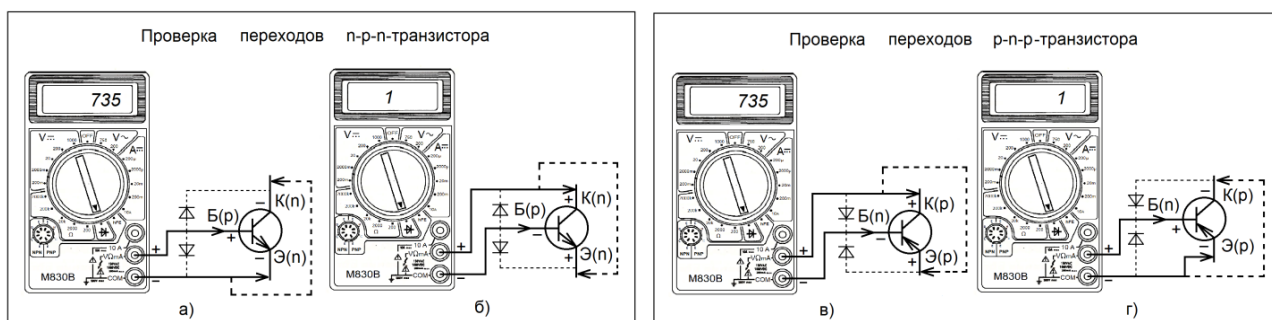
Задание 13-4-1. Проверьте исправности *p-n*-переходов транзистора мультиметром.

Примечание. Условно транзистор можно представить как два диода с общей проводящей зоной - базой (рис. а, б). Следовательно, целостность его *p-n*-переходов можно проверить тем же способом, что и исправность диодов.

1. Установите ручку переключателя режимов работы мультиметра на функцию проверки диода и проверьте целостность переходов транзистора.

2. При включении переходов «база - эмиттер» и «база - коллектор» в прямом направлении (рис. а, в), на дисплее высвечивается значение разности потенциалов запирающего слоя переходов, выраженное в милливольтках.

3. При включении переходов в обратном направлении на дисплее появляется знак разрыва цепи «1», свидетельствуя о большом сопротивлении переходов (рис. б, г).



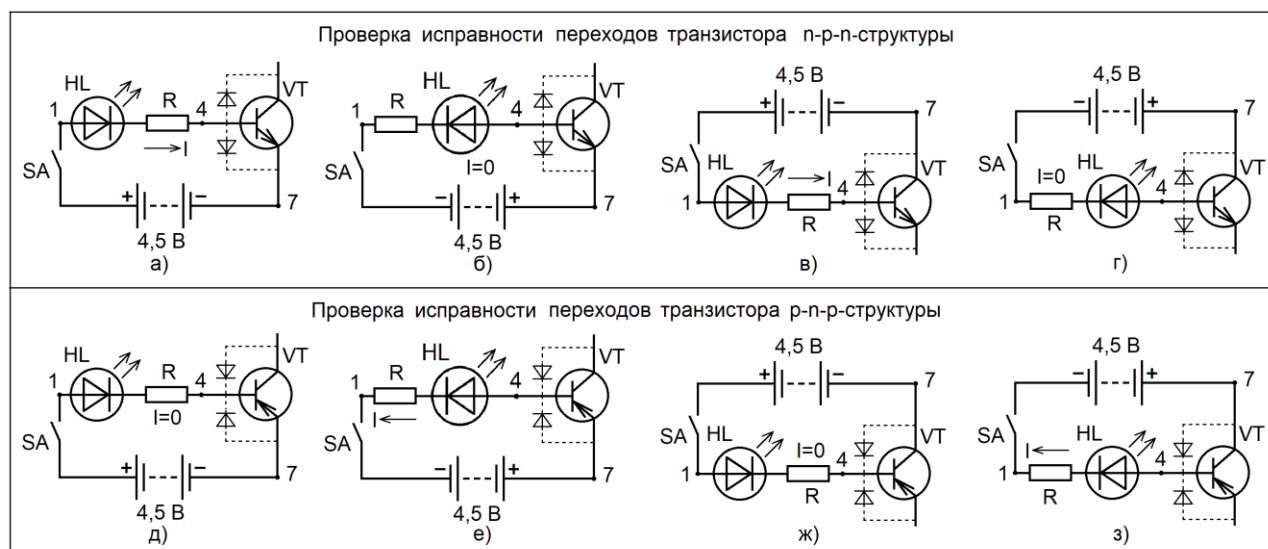
Задание 13-4-2. Проверьте исправности *p-n*-переходов транзистора светодиодом.

1. Соберите цепь по рис. а. Переход «база-эмиттер» транзистора *n-p-n*-типа включен в прямом направлении, о чём свидетельствует свечение диода.

2. Смените полярность включения источника питания и светодиода (рис. б). Переход «база - эмиттер» включен в обратном направлении и тока не проводит. Светодиод не светит.

3. Таким же способом проверьте целостность перехода «база - коллектор» (рис. в, г).

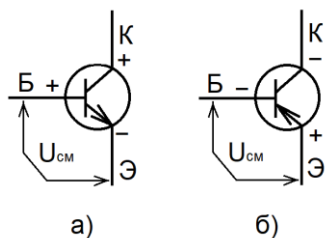
4. Самостоятельно составьте схемы для проверки *p-n*-переходов транзистора *p-n-p*-структуры и выполните действия пунктов 1-3 согласно рисункам д, е, ж, з.



§ 13-5. ЭМИТТЕРНЫЙ ПЕРЕХОД – УПРАВЛЯЮЩИЙ ПЕРЕХОД ТРАНЗИСТОРА

Вспомним, что транзистор, в отличие от диода, имеет два p - n -перехода: эмиттерный и коллекторный. У каждого из этих p - n -переходов имеются запирающие слои, от которых зависит их проводимость.

Слово «эмиттер» в английском языке означает «испускатель» (транзистор был изобретен в 1948 году американцами У. Шокли, У. Браттейном и Дж. Бардиным), а «коллектор» – «собиратель», что отражает физический принцип его работы. Действительно, у n - p - n -транзистора из области эмиттера электроны (у p - n - p -транзистора – дырки) под действием приложенного между базой и эмиттером напряжения впрыскиваются в область базы, где их малая часть рекомбинируется при встрече с дырками базы. Но основная масса электронов (90-99%) через очень тонкий слой (несколько микронов) базы достигает



коллекторного перехода и, легко преодолевая его под действием напряжения коллекторного питания, создает коллекторный ток, который во много раз превышает базовый ($I_K \gg I_B$).

Для того, чтобы открыть эмиттерный переход, между базой и эмиттером нужно создать небольшое прямое напряжение: 0,2-0,3 В для германиевых транзисторов и 0,5-0,7 В для кремниевых. Часто это напряжение называют

напряжением смещения.

Обратите внимание на то, что напряжение смещения (рис. а, б), прикладываемое на эмиттерный переход для нормальной работы транзистора, должно быть приложено к базе «плюсом» относительно эмиттера у n - p - n -транзистора и «минусом» у p - n - p -транзистора.

Задание 13-5-1. Изучите роль напряжения смещения эмиттерного перехода в работе транзистора.

Необходимые для открывания транзистора напряжение смещения между базой и эмиттером можно создать разными способами, некоторые из которых показаны ниже.

Способ 1.

1. Соберите цепь по рисункам а, б, где переменным резистором R регулируется напряжение смещения на эмиттерном переходе n - p - n -транзистора от отдельного гальванического элемента 1,5 В.

2. Плавнo перемещая ползунок резистора R с нижнего по рисунку положения вверх, фиксируйте напряжение, при котором транзистор открывается (лампа загорается). Оно составляет около (0,6 - 0,7) В для кремниевого транзистора.

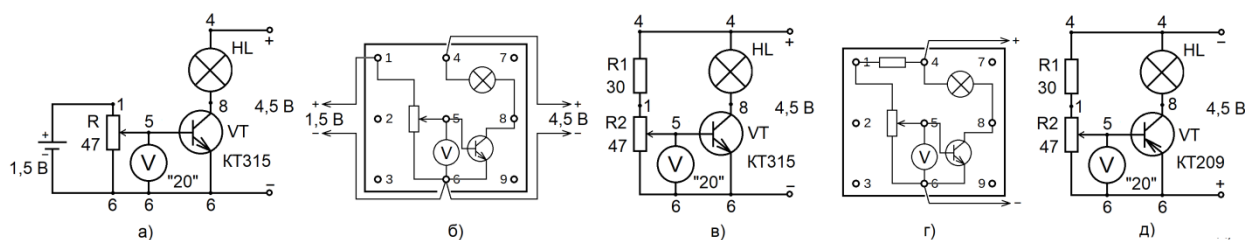
Способ 2.

1. Соберите цепь по рисункам в и г, где резистор R_1 защищает переход «база-эмиттер» n - p - n -транзистора от короткого замыкания с источником питания. Переменным резистором R_2 регулируется напряжение смещения между базой и эмиттером, которое создается от общей батареи элементов 4,5 В.

2. Плавнo перемещая ползунок резистора R_2 с нижнего по рисунку положения вверх, фиксируйте напряжение, при котором транзистор открывается.

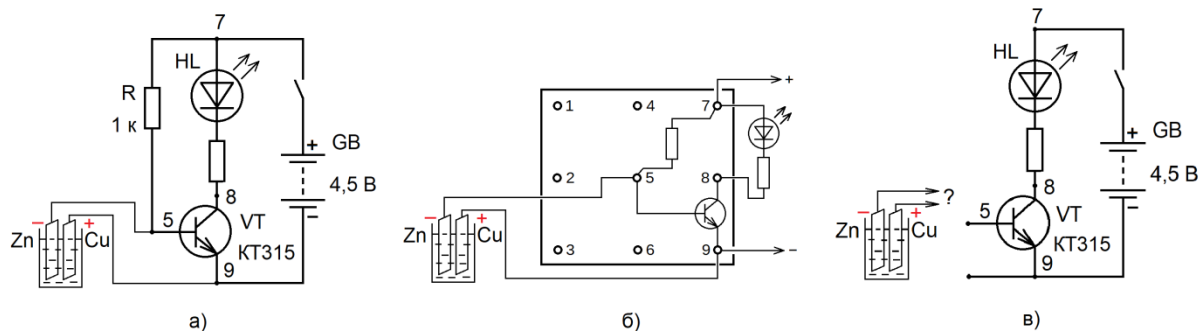
3. Повторите эксперимент с транзистором p - n - p -структуры (рис. д), сменив полярность питания и включения вольтметра.

4. Повторите эксперименты, используя вместо лампы светодиоды.



Задание 13-5-1. Решение экспериментальных задач с использованием транзистора.

1. Соберите цепь (рис. а, б), где в исходном состоянии светодиод в цепи коллектора горит.



2. Включите к базе цинковый электрод, а к эмиттеру – медный. Опустите электроды в солёный раствор (или воткните в солёный огурец). Транзистор закрывается, светодиод гаснет.

3. Смените электроды и повторите опыт. Светодиод никак не реагирует на опускание электродов в раствор. Объясните наблюдаемое явление.

4. Исключите из цепи базовый резистор 1 кОм (рис. в). В исходном положении электроды в раствор не опущены. Светодиод не горит.

Помня о том, что кремниевый транзистор *n-p-n*-структуры приоткрывается напряжением около 0,4 В между эмиттером и базой, приложенным потенциалом «+» к базе, определите, какой электрод куда надо включить, чтобы при их опускании в раствор транзистор открылся и светодиод загорелся?

Ваш вывод проверьте экспериментом.

5. Повторите эксперимент, используя транзистор *p-n-p*-структуры.

Примечание.

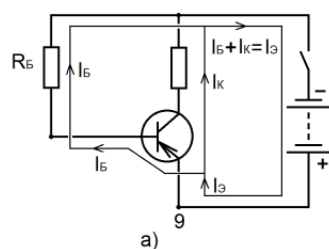
1. Цинковая и медная пластины, опущенные в раствор соли, представляют собой источник питания. Причем, медная пластина является положительным электродом, а цинковая пластина – отрицательным.

2. Для четкого срабатывания транзистора на его вход можно подавать напряжения от батареи, составленных из двух элементов.

§ 13-6. РЕЗИСТОР В ЦЕПИ БАЗЫ УПРАВЛЯЕТ ТОКАМИ В ТРАНЗИСТОРЕ

Значение базового тока в десятки и сотни раз меньше значения коллекторного тока. Но база является управляющим электродом транзистора. От силы базового тока I_B зависит сила коллекторного тока I_K . Будет правильно, если скажем, что базовый ток управляет коллекторным током.

Сила базового тока I_B , протекающего через эмиттерно-базовый *p-n*-переход, устанавливается величиной базового резистора R_B .



Обратите внимание, что резистор в цепи базы и эмиттерный переход соединены друг с другом последовательно. Отсюда следует, что при уменьшении сопротивления базового резистора базовый ток I_B растет, вызывая увеличение напряжения смещения на эмиттерном переходе и, как следствие, увеличение тока коллектора I_K .

При увеличении сопротивления в цепи базы все происходит наоборот.

Задание 13-6-1. Изучите управляющее действие базового тока I_B коллекторным током I_K .

1. Соберите цепь по рисункам а, б на базе транзистора *n-p-n*-типа (КТ315), где:
 - миллиамперметр PA_1 , включенный на предел измерения «20 мА», измеряет силу базового тока I_B ;
 - миллиамперметр PA_2 , включенный на предел измерения «200 мА», измеряет силу коллекторного тока I_K ;
 - резистор R_B формирует силу базового тока I_B .
2. Устанавливая поочередно в качестве базового резистора 10 кОм и 300 кОм, фиксируйте показания приборов в таблице.
3. Повторите эксперимент пунктов 1 и 2 на базе транзистора *p-n-p*-типа (КТ209).
3. Сделайте вывод о том, как коллекторный и эмиттерный токи зависят от базового тока.
4. Сделайте разрыв в базовой цепи (отсоедините один вывод резистора R_B) и объясните причину отсутствия тока в замкнутой коллекторной цепи.

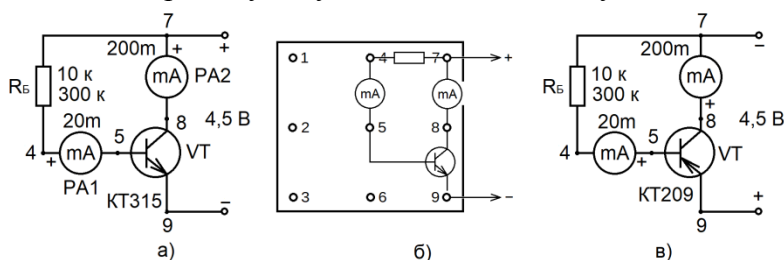


Таблица				
Транзистор	R_B , кОм	I_B , мА	I_K , мА	$I_3 = I_B + I_K$, мА
n-p-n	10			
	300			
p-n-p	10			
	300			

Задание 13-6-3. Управляйте работой транзистора сопротивлением вашего тела.

1. Соберите цепь по рис. а и б. Включая и выключая резистор R , убедитесь в том, что, когда базовая цепь отключена, в коллекторной цепи ток отсутствует. Светодиод не светит. При замыкании цепи базы в коллекторе появляется ток. Ток базы управляет коллекторным током.
2. Соберите цепь (рис. в фото 1, фото 2), где в качестве базового резистора используйте сопротивление вашего тела между руками. Опыт проведите дважды: сухими руками и влажными. Объясните, почему в этих случаях яркость свечения светодиода разная.

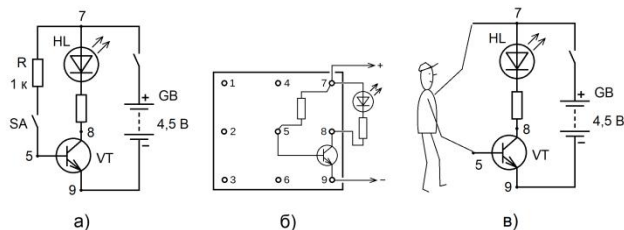


Фото 1

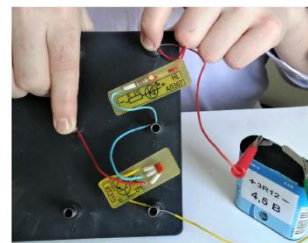


Фото 2

§ 13-7. КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

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, которые приведены на рисунках: а - схема с общей базой (ОБ), б – схема с общим эмиттером (ОЭ), в – схема с общим коллектором (ОК).

В усилительных каскадах чаще всего транзисторы включаются по схеме с общим эмиттером. Простые измерения силы тока и напряжения, проведенные во входной (базовой) цепи и выходной (коллекторной) цепи, показывают, что транзистор, включенный по схеме с общим эмиттером, многократно усиливает и силу тока, и напряжение. Значит, он также является услителем мощности входного сигнала, определяемого как произведение силы тока и напряжения: $P = IU$.

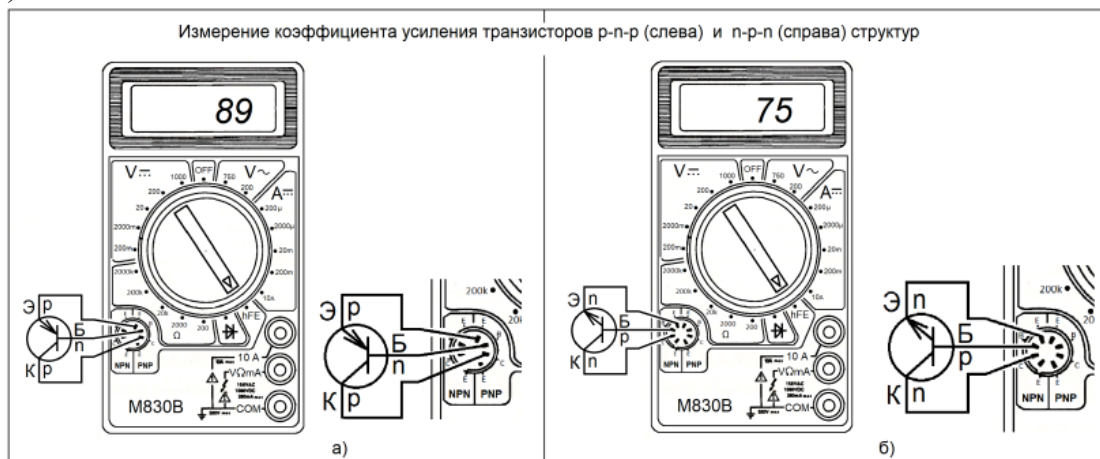
Усилительные свойства транзистора, включенного по схеме ОЭ, характеризует статический коэффициент передачи тока $h_{21Э}$ (читается «аш-два-один-э»), равный отношению изменения силы тока коллектора I_K к изменению силы тока базы I_B при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером $h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$.

Приблизленно статический коэффициент передачи тока можно измерить по формуле $h_{21Э} = \frac{I_K}{I_B}$, если изменения базового тока вызывают почти пропорциональные изменения коллекторного тока ΔI_K .

В дальнейшем коэффициент $h_{21Э}$ часто будем называть просто коэффициентом усиления.

Задание 13-7-1. Измерьте коэффициент усиления транзистора по току мультиметром.

1. Установите переключатель функций работы мультиметра в положение « hFE ».
2. Возьмите транзистор $p-n-p$ -структуры и определите его выводы эмиттера, базы и коллектора.
3. Вставьте выводы транзистора в соответствующие разъемы гнезда на левой нижней части панели мультиметра (рис. а).
4. По показанию на дисплее определите приблизительное значение коэффициента усиления по току $h_{21Э}$ (статический коэффициент) при условии базового тока 10 мкА и напряжении между коллектором и эмиттером 2,8 В, которое обеспечивается внутренним питанием мультиметра.
5. Вышеописанным способом измерьте коэффициент усиления транзистора $n-p-n$ -типа (рис. б).



Задание 13-7-2. Вычислите коэффициент усиления транзистора.

1. Соберите цепь (рис. а, б).

2. По показаниям миллиамперметров, показывающих значения базового и коллекторного токов при базовых резисторах 10 кОм и 300 кОм, вычислите коэффициент усиления транзистора $h_{21Э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$ п-р-п-структуры. Числовые значения эксперимента занесите в таблицу.

3 Повторите эксперимент для р-п-р-транзистора (рис. в).

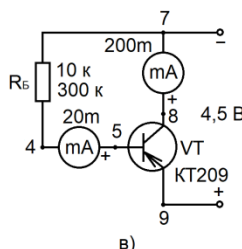
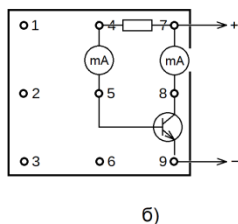
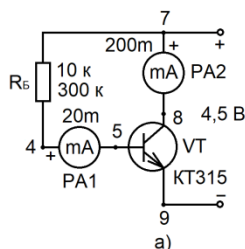
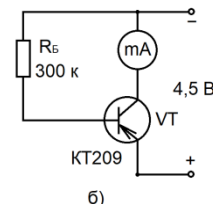
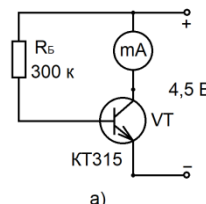


Таблица				
Транзистор	R_b , кОм	I_b , мА	I_k , мА	$h_{21Э}$
п-р-п	10			
	300			
р-п-р	10			
	300			

Задание 13-7-3. Вычислите приблизительные значения коэффициентов усиления транзисторов.

Вычислите приблизительные значения коэффициентов передачи тока транзисторов обоих типов по упрощенным схемам, приведенным на рисунках а и б.

Силу коллекторного тока измерьте миллиамперметром, а силу базового тока определите как отношение напряжения источника питания к сопротивлению базового резистора: $I_B = \frac{U_{ист}}{R_B}$.

**§ 13-8. ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ – ЭТО ОДИН ИЗ СПОСОБОВ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА**

В зависимости от способа включения эмиттерного и коллекторного переходов к внешним источникам питания транзистор может работать в активном режиме (режиме усиления) и в импульсном, который еще называют ключевым или режимом переключения.

Импульсный режим работы транзистора характеризуется двумя состояниями. Первое – закрытое состояние, когда из-за отсутствия тока в базовой цепи он отсутствует и в коллекторной цепи. Второе – открытое состояние, когда базовый ток вызывает появление коллекторного тока.

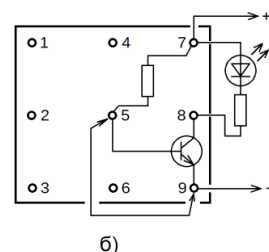
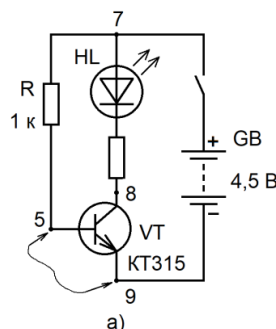
Задание 13-8-1. Наблюдайте импульсный режим работы транзистора.

1. Соберите цепь (рис. а, б). Резистор R в цепи базы обеспечивает небольшой базовый ток. Транзистор открыт, светодиод горит.

2. Замкните проводником ab базу с эмиттером. При этом базовый ток отсутствует (напряжение смещения равно нулю), транзистор закрыт.

3. Замыкая и размыкая базу с эмиттером, убедитесь в импульсном режиме работы транзистора.

Транзистор, работающий в импульсном режиме, может служить как



быстродействующий ключ, способный переключать электрическую цепь в миллионы раз в секунду.

Задание 13-8-2. Исследуйте работу транзистора в импульсном режиме.

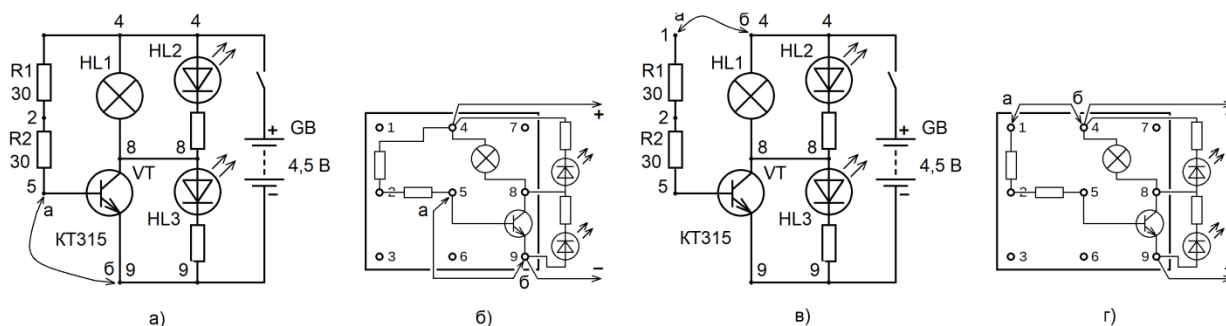
1. Соберите цепь по рисункам а, б. Резисторы R_1 и R_2 обеспечивают напряжение смещения на эмиттерно-базовом p - n -переходе, необходимое для перехода транзистора в режим насыщения (транзистор открыт).

2. Убедитесь в том, что в исходном состоянии, когда база-эмиттер не замкнут перемычкой ab , транзистор открыт и в коллекторной цепи существует ток, протекающий по цепочке: «+» источника питания – параллельно соединенные лампа HL_1 – коллектор-база-эмиттер – «-» источника питания».

3. Замкните накоротко перемычкой ab эмиттерный p - n -переход (заприте транзистор). При этом лампа со светодиодом HL_2 гаснут и загорается светодиод HL_3 . Теперь ток циркулирует по контуру: «+» источника питания – лампа HL_1 , светодиод HL_3 – «-» источника питания».

4. Объясните самостоятельно, почему лампа HL_1 и светодиод HL_2 не светятся, хотя по ним ток протекает.

5. Опишите работу конструкции, собранной по рисункам в, г, при замкнутой и разомкнутой перемычке ab . В истинности (или ложности) ваших рассуждений убедитесь на опыте.



6. Самостоятельно повторите опыты пунктов 1-5, используя транзистор p - n - p -типа.

§ 13-9. РАБОТА ТРАНЗИСТОРА В РЕЖИМЕ УСИЛЕНИЯ

Работа транзистора в режиме усиления (активном режиме) отличается от импульсного тем, что незначительные колебания базового тока вызывают аналогичные, но многократно усиленные колебания коллекторного тока. Простейший опыт, проведенный по схеме, собранной по рис. а, позволяет убедиться в усилительных свойствах транзистора. Здесь источником входного сигнала служит капсюль электромагнитного телефона BM , используемый в качестве микрофона, который при колебании мембраны под действием звуковых волн на входе усилителя (между точками 2 и 9) создает переменное напряжение звуковой частоты. Транзистор n - p - n -типа, с которым мы экспериментируем, открывается только положительными полупериодами входного сигнала. При этом во входной цепи возникает базовый ток, который вызывает усиление пульсации коллекторного тока I_K и напряжения на нагрузке. Нагрузкой усилителя является телефон BF , в наших опытах представляющий собой такой же электромагнитный капсюль, что и микрофон BM .

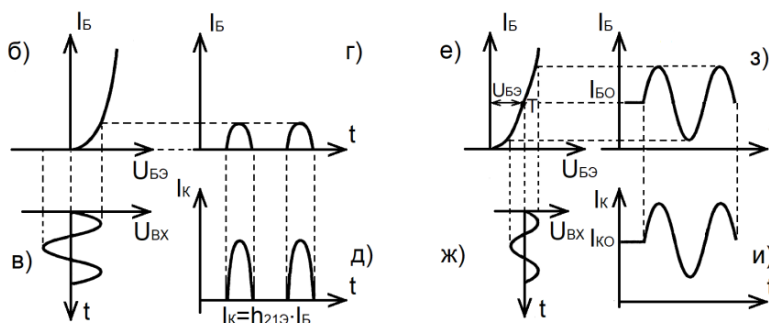
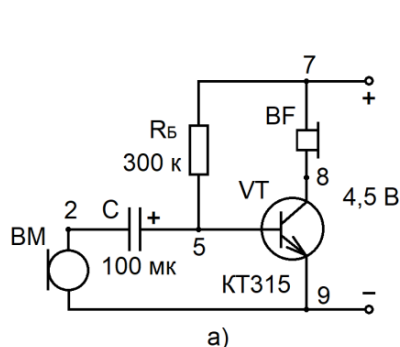
Конденсатор C разделяет вход (базу) транзистора от источника сигнала BM по постоянному току. Без него база оказалась бы замкнутой с эмиттером через катушку электромагнитного микрофона, что привело бы к запирающему транзистора. Конденсатор, являясь препятствием для постоянного тока источника питания, оказывает емкостное сопротивление переменному току, вырабатываемому микрофоном.

При отсутствии в цепи базового резистора R_B эта конструкция усиливает только одну половину периода сигнала и одновременно выпрямляет его как диод. В результате на нагрузке (телефоне BF) выделяется сильно искаженный сигнал. Причину искажений легко объяснить по графикам, представленным на рисунках б, в, г, д. К вольтамперной характеристике эмиттерного перехода (рис. б) снизу к началу координат пристыкован (наложен) график входного сигнала (рис. в), совместное действие которых дает форму базового тока (рис. г). Этот ток в свою очередь в коллекторной цепи синхронно усиливается (рис. д).

Появление искажений в виде пульсаций, вносимых транзистором, объясняется тем, что входной сигнал проецируется на начальную, сильно искривленную часть прямой ветви ВАХ эмиттерного $p-n$ -перехода. Если график входного сигнала сдвинуть направо настолько, чтобы он проецировался на прямолинейную часть входной ВАХ (рис. е, ж), то базовый ток, а вслед за ним и коллекторный ток в точности повторяют форму входного сигнала (рис. з, и).

Этого мы добились тем, что так называемую рабочую точку T транзистора (рис. е) сместили, подав на эмиттерный переход начальное напряжение смещения $U_{СМ} = U_{БЭ}$, которое вызывает начальный ток покоя базы $I_{Б0}$ и в $h_{21Э}$ раз усиленный начальный ток покоя коллектора $I_{К0}$ (рис. и).

Усилительный каскад считается настроенным, если напряжение на коллекторе (между коллектором и эмиттером), подбираемое резистором в цепи базы R_B , составляет половину питающего напряжения: $U_K = \frac{U_{ПИТ}}{2}$.



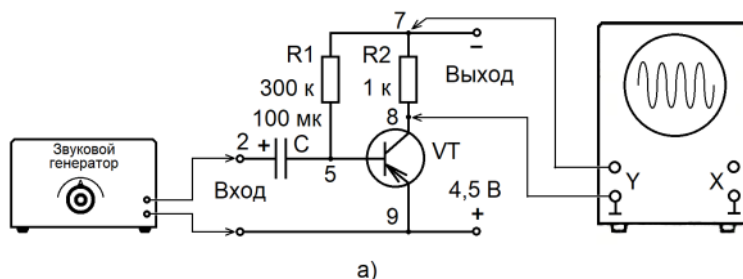
Задание 13-9-1. Наблюдайте осциллограмму усиленных звуковых колебаний.

1. Соберите усилительный каскад по рисунку а.
2. Подключите к входу усилителя низкой (звуковой) частоты (точкам 2, 9) выход звукового генератора, а к выходу (точкам 8 и 7 параллельно к нагрузке R_2) вертикальный вход осциллографа.

3. Установите частоту генератора в пределах 300 – 600 Гц. Регулятором уровня установите такую амплитуду сигнала, чтобы на экране осциллографа наблюдались неискаженные звуковые колебания.

4. Переключая щупы от входа «Y» осциллографа попеременно то к входу усилителя (точкам 2 и 9), то к его выходу (точкам 7 и 8), убедитесь в работе транзистора как усилителя.

5. Отключите базовый резистор R_1 и наблюдайте осциллограмму сигналов, усиленных транзистором, работающим без напряжения смещения на эмиттерном переходе. Удостоверьтесь, что транзистор в данном случае работает как выпрямитель, пропуская только отрицательные полупериоды электрических колебаний и



одновременно усиливая их. Положительные полупериоды отсекаются эмиттерным переходом, работающим без смещения.

6. Повторите эксперимент, используя транзистор $n-p-n$ -структуры.

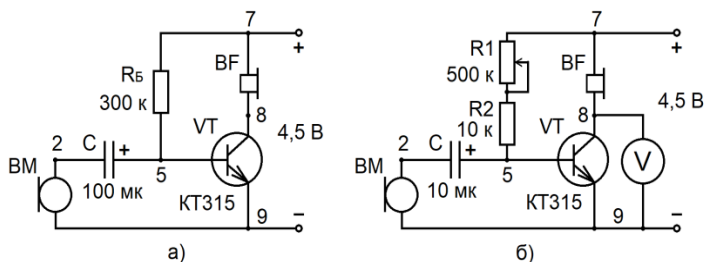
Задание 13-9-2. Соберите и испытайте усилительный каскад на $n-p-n$ -транзисторе.

1. Соберите однокаскадный усилитель (рис. а) на транзисторе $n-p-n$ -типа. В качестве микрофона BM и телефона BF используйте высокоомные капсюли электромагнитного типа. Например, от телефонных гарнитур $ТОН-2$.

2. Постукивая в микрофон, слушайте в телефоне усиленные звуки.

3. Открутите крышки капсюлей и изучите причину колебаний мембран под действием звука в микрофоне и переменного тока в коллекторной цепи в телефоне.

4. Подключив к выходу усилителя (параллельно телефону) осциллограф, наблюдайте звуковые колебания на экране.



5. Наблюдайте на экране осциллограммы от других источников звука, вблизи которых установлен микрофон: например, камертон, музыкальные инструменты, звуковоспроизводящие устройства и т.д.

6. Имея соответствующие детали, можно настроить усилитель (рис. б). Для этого конденсатор возьмите емкостью в пределах 1–22 мкФ, базовый резистор замените цепочкой, составленной из ограничительного резистора 10 кОм и переменного резистора 500 кОм.

Регулируя переменным резистором, установите на коллекторе половину питающего напряжения.

7. Повторите эксперимент, используя транзистор $p-n-p$ -структуры.

§ 13-10. ФОТОРЕЗИСТОР - ЭТО РЕЗИСТОР, СОПРОТИВЛЕНИЕ КОТОРОГО ЗАВИСИТ ОТ СВЕТОВОГО ПОТОКА



Фоторезистор представляет собой полупроводниковый радиоэлемент, который меняет свое сопротивление в зависимости от освещения видимым или инфракрасным светом. Свойство фоторезистора менять своё сопротивление под воздействием света широко

используется в электронной автоматике.

Фоторезисторы используются в автоматах для защиты персонала от опасных зон, для обнаружения бумажной ленты, подаваемой на печатную машину, для контроля уровня жидких и сыпучих тел, для регулирования включения и выключения уличного освещения и маяков, для подсчёта штучной продукции на производственных конвейерах и т.д.

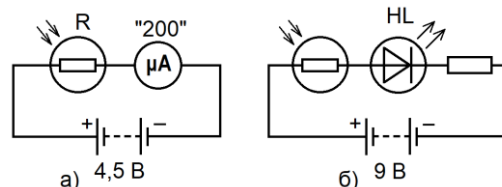
Условное графическое обозначение фоторезистора и внешний вид некоторых из них приведены на рисунках а и б.

Задание 13-10-1. Изучите принцип работы фоторезистора.

1. Соедините фоторезистор последовательно с микроамперметром (мультиметром), установленном на режим измерения до 200 мкА. Освещая и затемняя фоторезистор, следите за показанием гальванометра.

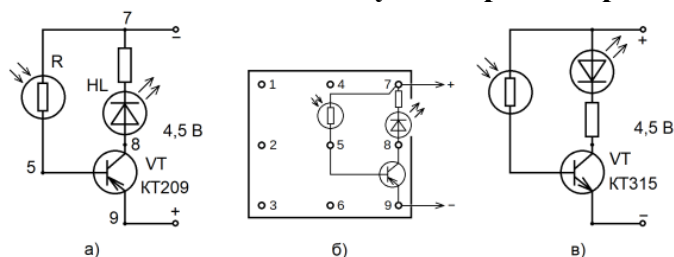
2. Соедините фоторезистор последовательно со светодиодом. При освещении фоторезистора ярким светом светодиод загорается.

3. По показанию микроамперметра и известному напряжению питания по закону Ома для участка цепи вычислите сопротивление фоторезистора.



Примечание. Используемый в комплекте фоторезистор *СФЗ-1* имеет следующие технические параметры: рабочее напряжение: 15 В; темновое сопротивление: 30 Мом; темновой ток: 0,5 мкА; световой ток: 750 мкА; спектральная чувствительность: 0,79 мкм.

Задание 13-10-2. Изучите принцип работы фотореле.



1. Соберите модель фотореле на базе транзистора *p-n-p*-структуры по рисунку а.

При освещении фоторезистора базовый ток, протекающий через фоторезистор и эмиттерный *p-n*-переход транзистора, увеличивается, создавая достаточное для открывания транзистора напряжение 0,5 - 0,6 В, приложенное между базой и эмиттером.

В реальных конструкциях в коллекторной цепи вместо светодиодной цепочки включается электромагнитное реле, управляющее исполнительными устройствами.

2. Соберите модель фотореле на базе транзистора *p-n-p*-структуры по рис. в и проверьте работоспособность.

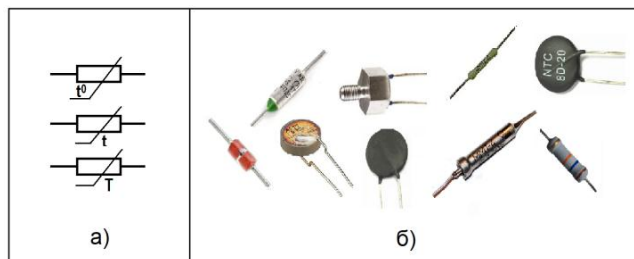
§ 13-11. ТЕРМОРЕЗИСТОР – ЭТО РЕЗИСТОР, СОПРОТИВЛЕНИЕ КОТОРОГО ЗАВИСИТ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Терморезистор представляет собой полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от температуры. Свойство терморезистора - менять своё сопротивление под воздействием тепла – широко используется в электронной автоматике.

Терморезисторы используются в автоматах для поддержания температуры приборов, параметров среды в заданных пределах; для обеспечения пожарной безопасности, для защиты приборов от перегрева; для измерения температур в труднодоступных местах.

На рисунке а показаны встречающиеся в технической литературе условные обозначения терморезисторов, а на рисунке б внешний вид некоторых из них.

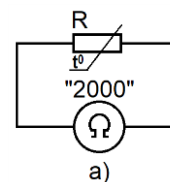
В данных экспериментах используется терморезистор марки *ММТ-4* сопротивлением 1,2 кОм при нормальных условиях, предназначенный для работы в интервале температур (-70 ... +125) °С.



Задание 13-11-1. Изучите принцип работы терморезистора.

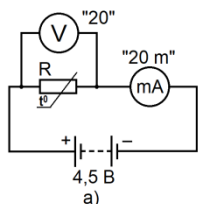
1. Омметром, включенным на диапазон измерения сопротивления до 2000 Ом, измерьте сопротивление терморезистора при комнатной температуре (рис. а).

2. Следите за уменьшением сопротивления терморезистора при его нагревании от руки (пальцев).



3. Нагрейте, например, ложку в кипятке и, приложив к терморезистору, следите за уменьшением его сопротивления на несколько сот Ом.

Задание 13-11-2. Измерьте сопротивление терморезистора.



1. Соберите цепь по рисунку а и по показаниям приборов измерьте сопротивление терморезистора при комнатной температуре.

2. Нагревая терморезистор от руки или от нагретого в кипятке предмета, произведите еще несколько измерений сопротивления.

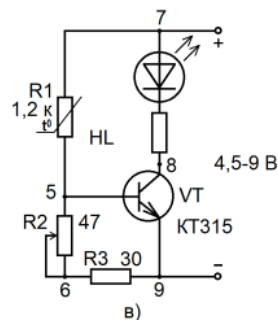
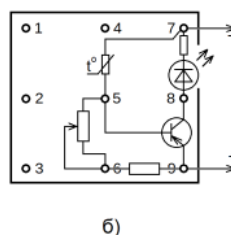
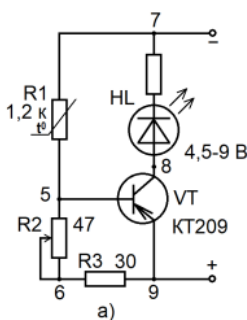
3. По результатам эксперимента сделайте вывод о том, как сопротивление терморезистора зависит от температуры.

Задание 13-11-3. Изучите принцип работы термореле.

1. Соберите модель термореле на базе транзистора $p-n-p$ -структуры по рисунку а. В начальный момент при комнатной температуре терморезистора переменным резистором R_2 47 Ом подберите состояние еле заметного свечения светодиода.

2. Нагревая терморезистор в допустимых пределах, наблюдайте за усилением яркости светодиода.

3. При уменьшении сопротивления терморезистора вследствие нагревания сила тока через цепочку резисторов R_1 , R_2 , R_3 увеличивается, создавая на резисторах R_2 - R_3 напряжение, необходимое для открывания $p-n$ -перехода «эмиттер-база», что вызывает увеличения силы тока через коллекторную цепь, о чем свидетельствует усиление яркости светодиода.



В реальных конструкциях в коллекторной цепи вместо светодиодной цепочки включается электромагнитное реле, управляющее исполнительными устройствами.

4. Соберите модель термореле на базе транзистора $n-p-n$ -структуры по рис. в и проверьте работоспособность.

§ 13-12. РЕЛЕ ВРЕМЕНИ ОБЕСПЕЧИВАЕТ ЗАДЕРЖКУ ВРЕМЕНИ ЗАДАННОГО АЛГОРИТМА ДЕЙСТВИЙ

Реле времени представляет собой электронное устройство, обеспечивающее автоматическое выполнение определенного действия через установленный промежуток времени после начала действия сигнала команды.

Принцип действия реле времени основывается на создании временного интервала между поступлением сигнала действия на реле времени до его исполнения.

Различные типы реле времени основаны на различных физических принципах работы. В основу работы рассматриваемого ниже реле времени лежит зависимость времени разрядки (или зарядки) конденсатора от его ёмкости и сопротивления цепи связи его обкладок.

Например, широко известны фотоаппараты, которые срабатывают через некоторое время после нажатия пусковой кнопки. В подъездах часто используется задержка выключения освещения после того, как прошёл человек. Многие современные электронные устройства, используемые людьми, после прекращения активных действий автоматически выключаются по истечении некоторого времени.

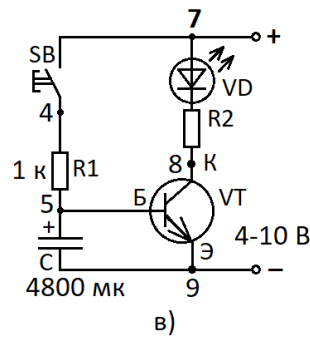
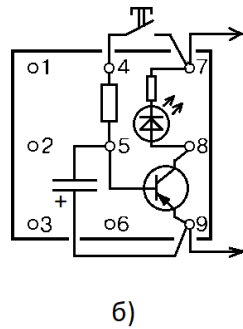
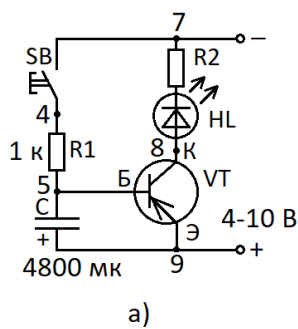
Задание 13-10-1. Изучите принцип работы модели реле времени.

1. Соберите модель реле времени согласно рисункам а и б, используя транзистор $p-n-p$ -структуры. Вместо кнопки SB используйте проводник.

2. Замкните кратковременно контакты 4 и 7. При этом конденсатор C заряжается напряжением питания. Его напряжение, приложенное потенциалом «-» к базе, открывает транзистор, о чем сигнализирует свечение светодиода. По мере разрядки конденсатора через участок «эмиттер-база» напряжение на конденсаторе, следовательно, и на управляющем $p-n$ -переходе, уменьшается. При уменьшении напряжения на конденсаторе до 0,4-0,5 В транзистор закрывается и светодиод гаснет.

В реальных конструкциях в цепи коллектора транзистора обычно включается электромагнитное реле, которое через свои контакты управляет вторичными цепями.

3. Соберите модель реле времени на базе транзистора $n-p-n$ -структуры по рис. в и проверьте работоспособность.



14. ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ УЧАЩИХСЯ В ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Проектная деятельность в области практической электродинамики предполагает изучение конкретного физического явления, разработку и конструирование материального объекта, основанного на практическом применении результатов исследования.

Материальный объект может быть предназначен как для личного применения, так и для использования в школе в качестве учебно-наглядного пособия, что, несомненно, повышает его практическую значимость.

Разработка и изготовление материальных объектов, кроме формирования исследовательских и конструкторских навыков, требует умения пользоваться различными инструментами и приборами при строгом соблюдении техники безопасности.

§ 14-1. ЭЛЕКТРОПАЙЛЬНИК – ГЛАВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Для изготовления электродинамических устройств часто приходится выполнять электромонтажные работы посредством электрической пайки.

Электропаяльник в быту является таким же необходимым инструментом, как и молоток, ножницы, отвёртка и т. д.

Его работа основана на тепловом действии тока.

Внешний вид паяльника с принадлежностями для пайки показан на рисунке а, где:

1 - медный стержень, конец которого заточен в виде «лопатки» (или другим способом) и называется «жалом»;

2 - электронагреватель, где ток, протекая по высокоомному проводнику, нагревает медный стержень;

3 - ручка из изолирующего материала;

4 - гибкий шнур, служит для подключения электропаяльника к источнику тока;

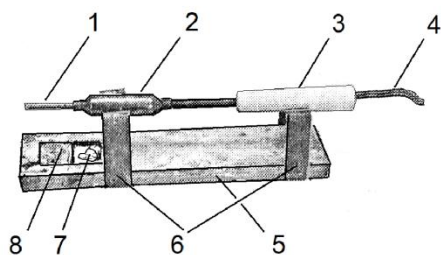
5 - деревянная подставка;

6 - металлические опоры;

7 - углубление для припоя;

8 - углубление для канифоли.

На практике удобно использовать паяльные установки с регулируемой температурой нагревательного стержня (рис. б, в).



а)



б)



в)

Задание 14-1-1.

1. Изготовьте подставку для электропаяльника. Её конструкция может быть такой, какая показана на рисунке а § 14-1.

2. Возьмите электропаяльник и ознакомьтесь с его устройством.

§ 14-2. ПРИПОЙ - ЭТО СПЛАВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ СПАИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Припой – это цветные металлы и сплавы, предназначенные для создания неразъемных соединений металлических частей путем пайки. Расплавленный припой смачивает поверхность спаиваемых металлов, проникает в зазоры между ними и после затвердения дает прочное соединение.

В зависимости от температуры плавления припои разделяются на две основные группы: легкоплавкие (мягкие) с температурой плавления ниже 450 °С и тугоплавкие (твёрдые) с температурой плавления выше 450 °С.

При радиомонтажных работах наиболее часто применяют легкоплавкие припои ПОС-40 и ПОС-61, имеющие температуру плавления 235 °С и 190 °С.

Широко используются оловянно-серебряные припои без содержания свинца. Например, оголённые участки деталей комплекта, которыми экспериментировали в предыдущих главах, спаяны припоем марки Sn96Ag4 температурой плавления 221 °С.

§ 14-3. ФЛЮС – ЭТО ВЕЩЕСТВО, ЗАЩИЩАЮЩЕЕ СПАИВАЕМЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ОКИСЛЕНИЯ

Пайка только припоем невозможна, так как нагретая металлическая поверхность быстро окисляется при взаимодействии с кислородом воздуха и припой её не смачивает. Поэтому паяние ведут с использованием флюса – вещества, защищающего спаиваемые поверхности от окисления.

Флюсы при сравнительно невысокой температуре образуют жидкую или газообразную защитную среду, растворяют и удаляют оксиды с соединяемых поверхностей, предохраняют их от окисления в процессе пайки, улучшая смачиваемость деталей припоями.

Флюсы по своему составу разделяются на химически пассивные (бескислотные) и химически активные (кислотные).

Бескислотные флюсы изготавливают из сосновой канифоли. При монтаже радиоэлектронной аппаратуры широко применяют флюсы марок ФКСП, ФКФ, ФДГЛ, паста ЛТИ. Канифоль применяется в виде кусков, порошка и 30 %-ного раствора порошкообразной канифоли в спирте.

Кислотные флюсы при монтаже радиоэлектронной аппаратуры не применяют, так как они оказывают большое коррозионное действие в местах пайки на выводы радиодеталей, проводников, изоляции, что приводит к разрушению контактов.

Активные флюсы: хлорид цинка, бура, борная кислота, фторид калия – используются при пайке тугоплавкими припоями.

§ 14-4. ПАЙКА - ЭТО СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ РАСПЛАВЛЕННОГО ПРИПОЯ.

Подготовка паяльника к работе

В условиях школы паяльные работы производятся электрическим паяльником мощностью 40 – 60 Вт, рассчитанным на безопасное напряжение до 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 или наждачной бумагой) и облудить.

Рабочая температура жала паяльника должна быть такой, чтобы припой легко плавился без образования дыма от сгорания канифоли.

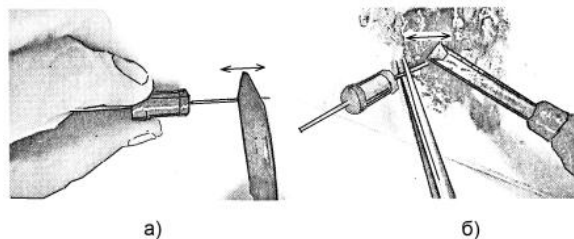
Технология пайки.

Для прочного соединения спаиваемых деталей необходимо, чтобы жидкий припой хорошо смачивал их 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. а);

- подогнать спаиваемые поверхности друг к другу и покрыть их флюсом (например, нанести кисточкой раствор канифоли в спирте);

- облудить (покрыть тонким слоем припоя) спаиваемые поверхности; для этого жало нагретого паяльника опускают поочередно в канифоль (флюс) и припой; затем им совершают возвратно-поступательное движение по облуживаемой поверхности (рис. б).



Соблюдение техники безопасности - прежде всего!

Запомните правила техники безопасности при работе с паяльником, которые надо соблюдать строго.

1. Паяльные работы необходимо производить в хорошо проветриваемом (вентилируемом) помещении.

2. Паяльные работы необходимо выполнять в защитных очках.

3. Паяльник берут только за ручку, являющуюся одновременно электрическим и тепловым изолятором.

4. При выключении и включении паяльника вилку берут только за изолированную часть.

5. Во время работы нельзя делать паяльником резких движений, так как горячий жидкий припой и флюс могут легко слететь с жала и попасть на одежду или даже в глаз.

6. Детали припаяются и отпаиваются осторожно, плавно, без рывков.

7. Паяльник берут в руки только на период пайки и после выполнения нужных действий сразу же кладут на специальную изолированную подставку с металлическими опорами.

8. После окончания работы паяльник выключают.

9. Так как припой и флюс токсичны, поэтому после окончания работы рабочее место и руки тщательно моют теплой водой с мылом.

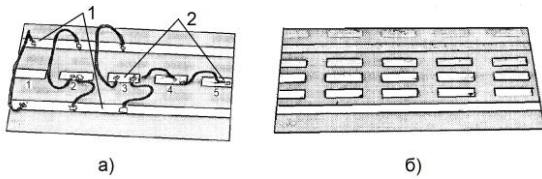
10. Если электромонтажные работы с пайкой происходят в домашних условиях, то к ним нельзя допускать малолетних детей, так как горячий паяльник, припой и флюс могут стать причиной серьезных травм.

§ 14-5. МАКЕТИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПАЙКИ

Все предыдущие электрические схемы мы макетировали на специальных платах с пружинными контактами, изучали принцип работы собранных конструкций и, разобрав и сложив, откладывали до следующего занятия. В первых конструкциях, описанных в данном пособии, нам хватало 3-х - 4-х пружин. Потом стали использовать 7-8 пружин. Однако чаще всего радиоэлектронные устройства содержат большое количество деталей и их сборка на плате с пружинами весьма затруднительна. В этих случаях используют более надежный способ сборки электрических цепей – способ электрической пайки.

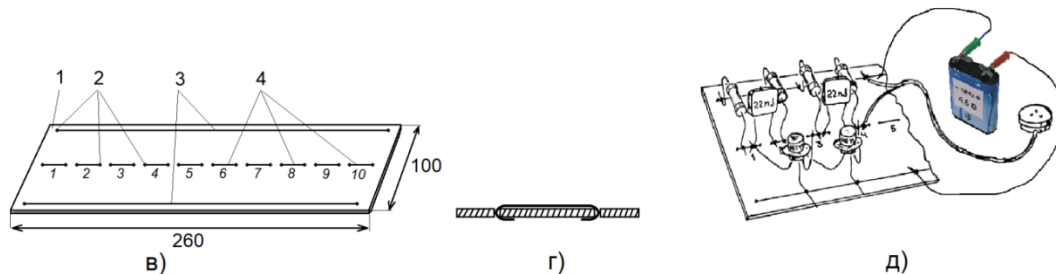
Прежде чем изготовить радиоэлектронное устройство для практического применения, их временно монтируют на макетных платах, настраивают, добиваясь хорошей и надежной работы, а потом переносят на монтажную плату для постоянного пользования.

Ниже приведем два способа изготовления макетной платы для сборки электрических цепей способом навесного монтажа.



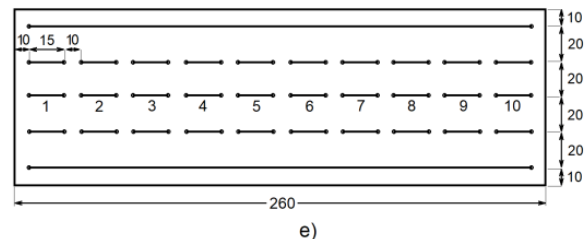
подключения цепи питания, и пронумерованных опорных площадок 2 между ними. Шины и площадки облужены. На рисунке б показана изготовленная таким же способом более сложная плата, предназначенная для макетирования многоэлементных схем.

2 способ. На рисунке в показана более простая макетная плата. 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 на обратной стороне пластины загивают навстречу друг другу длиной до 10 мм (рис. г). Длинные провода 3, протянутые по краям платы, образуют шины для подключения питания, короткие провода 4 между ними – опорные площадки.



На рисунке д приведен пример макетирования на плате. Для облегчения процесса сборки на электрической схеме точки соединения деталей между собой пронумерованы и соответствуют номерам используемых опорных площадок макетной платы. Это помогает начинающим радиолюбителям собирать конструкции без ошибок.

На рисунке е дана более сложная макетная плата, которая между шинами питания содержит три ряда опорных площадок по 10 штук в каждом ряду. Она удобна для макетирования многоэлементных устройств.



Задание 14-5-1.

Изготовьте вышеописанную макетную плату для паяльных работ (рис. в § 14-5).

Задание 14-5-2. Припаяйте медные провода к макетной плате (рис. а § 14-5).

1. Включите электрический паяльник к источнику напряжения 36 - 42 В.
2. Пока паяльник нагревается, снимите изоляции с концов монтажных проводов примерно по длине (1 - 1,5) см и зачистите их ножом или наждачной бумагой.

3. Коснитесь нагретым жалом паяльника поочередно канифоли, припая и, соблюдая условия качественной пайки, залудите концы данных вам проводников, т.е. покройте их тонким слоем припоя.

3. Припайвайте проводники к шинам и опорным площадкам платы и затем отпаивайте их.

§ 14-6. ОТ МАКЕТИРОВАНИЯ К ПЕЧАТНОМУ МОНТАЖУ

Настроенную на макетной плате конструкцию для многократного практического использования переносят на печатную плату, где проводники заменены тонкими полосками меди, нанесенными на электроизоляционной поверхности. Для изготовления печатных плат используют фольгированный гетинакс, текстолит, стеклотекстолит.

Прежде чем приступить к изготовлению печатной платы, нужно сделать её рисунок. Для этого на чистом листе бумаги в соответствии с принципиальной схемой (в качестве примера приведена схема двухкаскадного УЗЧ, рис. а) отмечают (лучше карандашом) контуры деталей и точки под отверстия для их выводов (рис. б). При проведении соединительных линий стремятся к тому, чтобы будущие проводники были, по возможности, короткими и не пересекались. Если же не удастся избежать пересечений, то в этих местах планируют перемычки. Плотность расположения деталей зависит от размеров платы и её назначения.

Если рисунок печатной схемы вас устраивает, то его необходимо перенести на фольгированную поверхность (со стороны фольги) при помощи копировальной бумаги. В местах, где должны быть отверстия под выводы деталей, проводов, креплений, шилом или кернером делают метки, затем просверливают сверлом нужного диаметра. После этого все участки фольги, которые должны остаться в качестве соединительных проводов, закрашивают любой быстросохнущей нитрокраской при помощи стеклянного рейсфедера или другим способом (рис. в). Участки соединительных линий вокруг отверстий делают более широкими, чтобы при пайке не происходило отслаивания фольги.

После высыхания краски заготовку платы опускают в раствор хлорного железа плотностью $1,3 \text{ г/см}^3$ (150 г хлорного железа на 200 см^3 воды), налитый в неметаллическую посуду (стеклянную, пластмассовую и др.). Плату располагают вертикально (или горизонтально) фольгой вниз так, чтобы она не касалась дна. Например, это можно сделать, вставив в просверленные по углам платы отверстия спички (рис. г).

Время травления определяется концентрацией раствора и его температурой: в свежеприготовленном растворе при комнатной температуре процесс длится около часа, а при температуре около 50°C – 15 мин. После травления плату промывают тёплой водой, сушат и покрывают тонким слоем флюса (раствором канифоли в спирте); участки фольги в местах отверстий обслуживают так, чтобы сами отверстия остались свободными.

Также есть механический способ изготовления печатной платы без травления – путем снятия фольги остро отточенным кончиком ножа или скальпеля. Но лучше всего пользоваться самодельным резакон, сделанным из ножовочного полотна (рис. д), которым срезают изоляционные канавки шириной (0,8 ... 1,2) мм, формируя участки, ограниченные прямыми линиями (рис. е).

При отсутствии фольгированной поверхности конструкцию можно собрать на любом изоляционном материале: картоне, фанере, текстолите и т. д., расположив детали с одной стороны, а соединения изолированными проводами – с другой стороны (рис. ж).

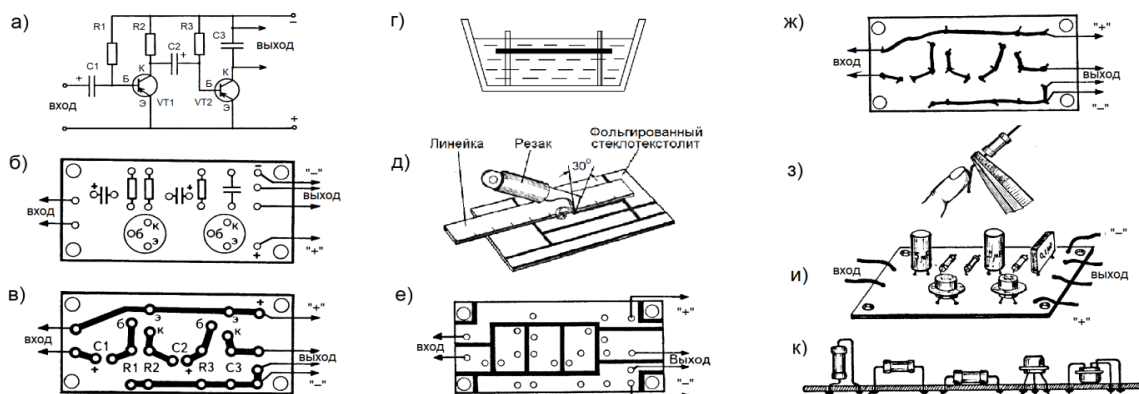
На рисунках з, и, к показаны примеры монтажа конструкции.

Совет.

1. Рейсфедер можно изготовить из стеклянной трубки внутренним диаметром (2 ... 3) мм. С этой целью её нагревают над пламенем спиртовки. Как только трубка размягчится, оттягивают её конец. Обламывают тонкую часть в нужном месте и стачивают, проводя осторожно по мелкой наждачной бумаге несколько раз. Таким же способом можно сделать рейсфедер из пустого стержня шариковой ручки, удалив лезвием ненужную часть тонкого конца.

Рейсфедер можно заменить медицинской пипеткой.

2. Для нанесения краски на фольгированную поверхность можно использовать медицинский шприц без иглы и поршня. Диаметр выходного отверстия, предназначенного для насадки иглы, следует уменьшить, слегка подогрев над огнём.

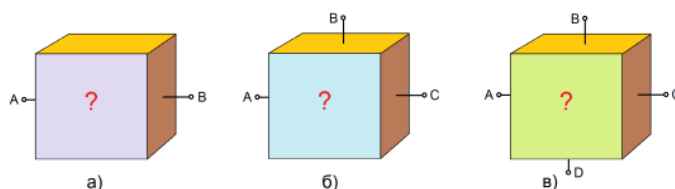


§ 14-7. СОСТАВЛЕНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ «ЧЁРНЫХ ЯЩИКОВ» КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Предлагаемые ниже «чёрные ящики» представляют собой электродинамические устройства, содержащие от одного до трёх элементов, электрические схемы которых следует установить, используя только предлагаемое оборудование.

Схемы «чёрных ящиков» можно составить из деталей описанного в данной книге комплекта «Экспериментальные задания по электродинамике», используя макетную плату с пружинными контактами или иными способами.

Распознавание внутреннего содержания «чёрных ящиков» способствует формированию функциональной грамотности в области практической электродинамики, включающей умения решать аналитические, графические, экспериментальные задачи, и развивает исследовательские навыки в процессе творческой учебной деятельности.



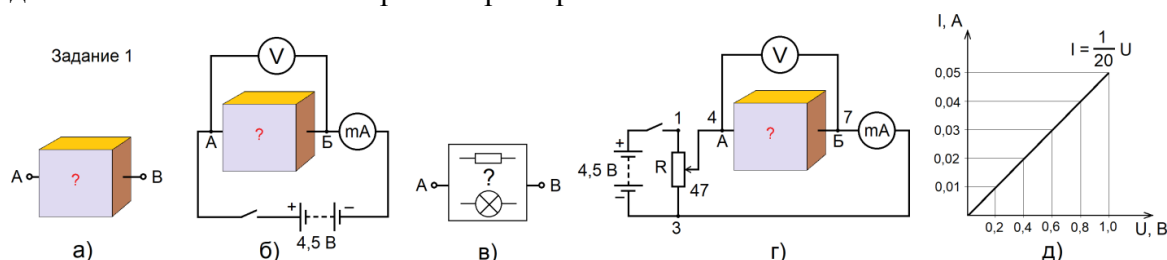
§ 14-8. ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖИМОГО «ЧЁРНЫХ ЯЩИКОВ»

Задание 14-8-1. Что находится в «чёрном ящике» (рис. а), который имеет выводы А и В – резистор или лампа накаливания?

Оборудование для исследования: миллиамперметр, вольтметр, переменный резистор 47 Ом, макетная плата, источник питания 4,5 В, соединительные провода – 6 шт.

Исследование. Для установления содержимого ящика собирают электрическую цепь по рис. б, где по показаниям приборов на основании закона Ома для участка цепи определяют сопротивление между выводами А и В. Полученный результат 20 Ом говорит о том, что в ящике может находиться как резистор, так и лампа (рис. в).

Построив вольтамперную характеристику ящика (рис. г, д), убеждаются, что в ящике находится линейный элемент – резистор сопротивлением 20 Ом.

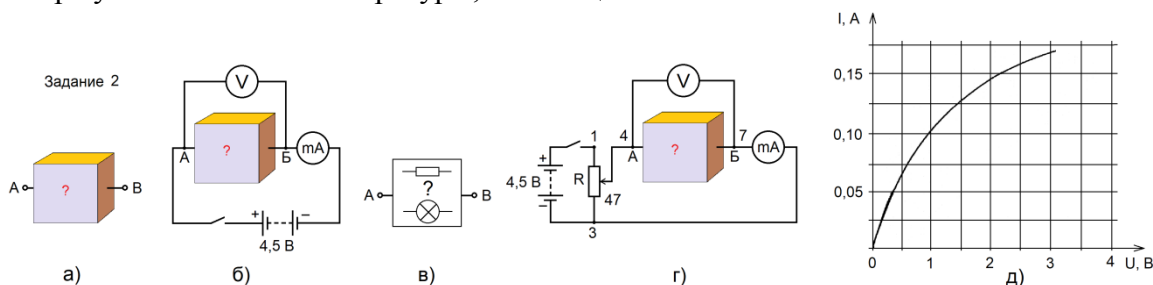


Задание 14-8-2. Что находится в «чёрном ящике» (рис. а), который имеет выводы А и В: резистор или лампа накаливания?

Оборудование для исследования: миллиамперметр, вольтметр, переменный резистор 47 Ом, макетная плата, источник питания 4,5 В, соединительные провода – 6 шт.

Исследование. Для установления содержимого ящика собирают электрическую цепь по рис. б, где по показаниям приборов на основании закона Ома для участка цепи определяют сопротивление между выводами А и В. Полученный результат говорит о том, что в ящике может находиться как резистор, так и лампа (рис. в).

Построив вольтамперную характеристику ящика (рис. г, д), убеждаются, что в ящике находится нелинейный элемент, сопротивление которого увеличивается по мере роста силы тока. Такой характеристикой обладает лампа накаливания, сопротивление спирали которой растет по мере увеличения её температуры, зависящей от силы тока.

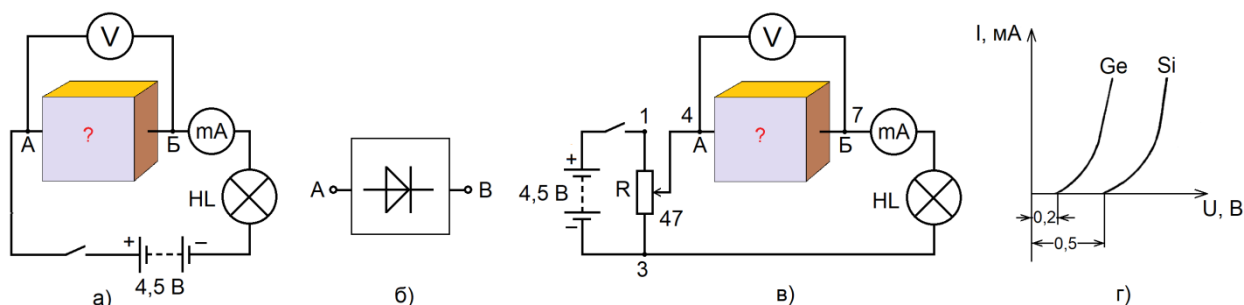


Задание 14-8-3. Определите, что находится в «чёрном ящике» с двумя выводами.

Оборудование для исследования: миллиамперметр; вольтметр; лампа $MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$; переменный резистор 47 Ом; батарейка 4,5 В 3R12); соединительные проводники.

Исследование. 1. Собрав последовательно «чёрный ящик» с лампой (рис. а) и меняя полярность включения батарейки, удостоверяются, что элемент обладает односторонней проводимостью. По яркости лампы судят о его малом сопротивлении в прямом направлении. По этим данным можно предположить, что элемент представляет собой полупроводниковый диод (рис. б). Определяют выводы анод и катод.

2. Построив прямую вольтамперную характеристику содержимого ящика (рис. в, г), убеждаются, что это действительно диод. По величине запирающего напряжения («ступеньки») определяют материал диода: германиевый диод открывается при 0,2-0,3 В, а кремниевый – при 0,5-0,6 В.



Задание 14-8-4. Определите, какая радиотехническая деталь находится в «черном ящике» и вычислите характерную ей физическую величину.

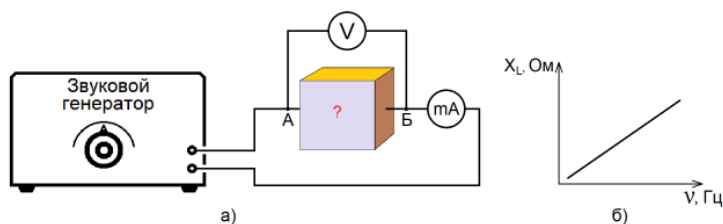
Оборудование для исследования: звуковой генератор, миллиамперметр переменного тока, вольтметр переменного тока (можно заменить осциллографом), макетная плата, соединительные провода.

Исследование. Установка, собранная по рисунку а, позволяет изучить зависимость сопротивления ящика переменному току от его частоты.

Видно, что сопротивление растет с увеличением частоты тока.

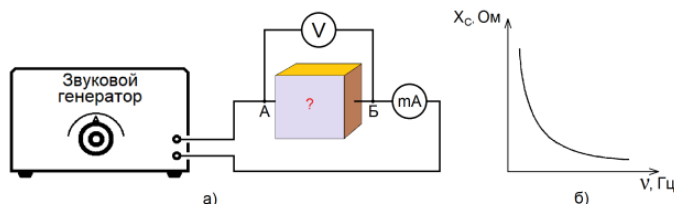
Это говорит о том, что исследуемый элемент является катушкой индуктивности. Зная частоту тока генератора, по показаниям приборов определяют индуктивность катушки:

$$X_L = \frac{U}{I}; X_L = 2\pi\nu L; L = \frac{U}{2\pi\nu I}.$$



Задание 14-8-5. Установите, какая радиотехническая деталь находится в «черном ящике» и определите характерную ей физическую величину.

Оборудование для исследования: звуковой генератор, миллиамперметр переменного тока, вольтметр переменного тока (можно заменить осциллографом), макетная плата, соединительные провода.



Исследование. По установке, собранной по рис. а, определяют, что сопротивление исследуемого прибора уменьшается с увеличением частоты тока, даваемого звуковым генератором.

Это говорит о том, что в ящике находится конденсатор, емкость которого определяется следующим образом:

$$X_C = \frac{U}{I}; X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}; C = \frac{I}{2\pi\nu U}.$$

Задание 14-8-6. 1. В черном ящике с тремя выводами (рис. а) находятся два резистора R_1 , R_2 и нелинейный элемент HL (лампочка), вольтамперная характеристика которого изображена на рисунке б.

1). Определите сопротивления обоих резисторов.

2). Нарисуйте схему соединения элементов черного ящика и укажите на ней значения сопротивлений резисторов.

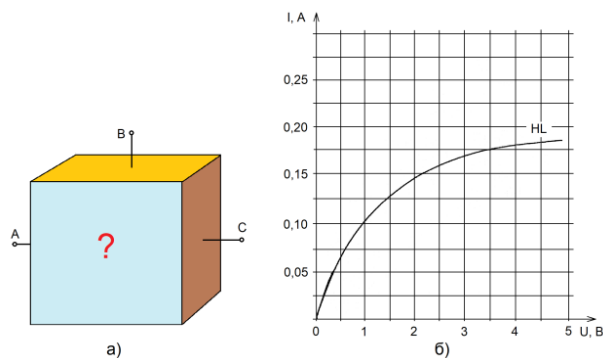
3). Предполагая, что лампочка рассчитана на напряжение 4,5 В, определите, какое напряжение нужно подать на выводы АС, чтобы она горела полным накалом.

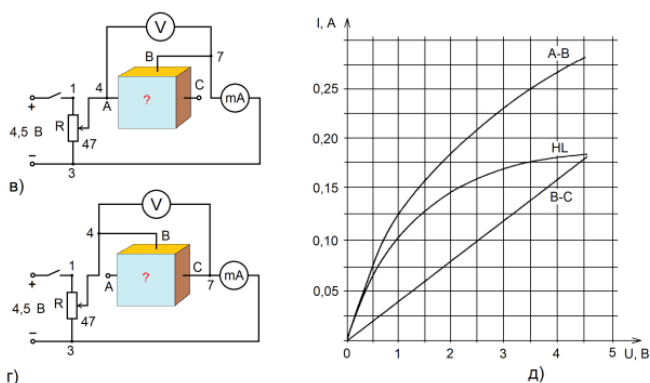
Оборудование для исследования: вольтметр постоянного тока; миллиамперметр постоянного тока; переменный резистор 47 Ом; батарейка 4,5 В (3R12); макетная плата; соединительные проводники - 8 шт.

Исследование. 1). Согласно рисункам в, г снимают вольтамперные характеристики участков АВ, ВС (рис. д) и АС.

2). Из прямолинейной вольтамперной характеристики участка ВС делают вывод о том, что он представляет собой активное сопротивление. Обозначают его R_1 и вычисляют значение (рис. е):

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{5}{0,2} = 25 \text{ Ом}.$$





3). Вольтамперная характеристика участка АВ свидетельствует о том, что он содержит нелинейный элемент и общее сопротивление меньше сопротивления лампы или резистора R_1 . Это возможно тогда, когда лампа HL и резистор R_2 соединены параллельно (рис. ж).

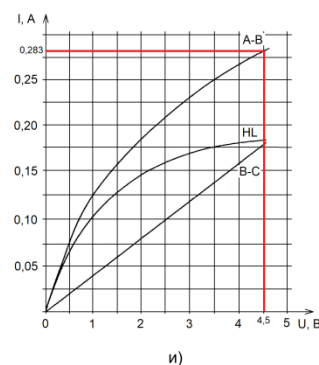
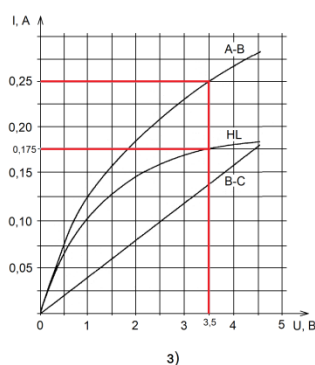
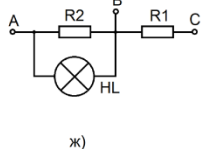
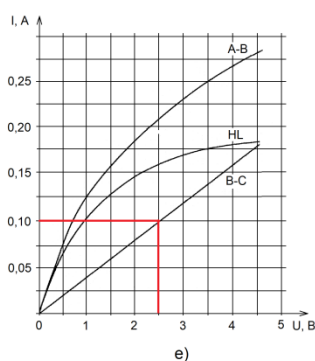
4). Анализируя вольтамперную характеристику участка АС (на рис. д не приведена), которая расположена на графике ближе всего к оси U с

незначительным искривлением к ней по мере увеличения напряжения, делают вывод о том, что он имеет наибольшее сопротивление и содержит нелинейный элемент (лампу). Можно констатировать, что участок АС представляет последовательное соединение участков АВ и ВС.

5). Для определения сопротивления резистора R_2 на графике подбирают удобные для расчета значения напряжения и силы тока (рис. з). Видно, что при напряжении 3,5 В общий ток на участке АВ составляет 0,25 А, который является суммой тока через лампу 0,175 А и тока через резистор R_2 0,075 А. Из этого определяют сопротивление

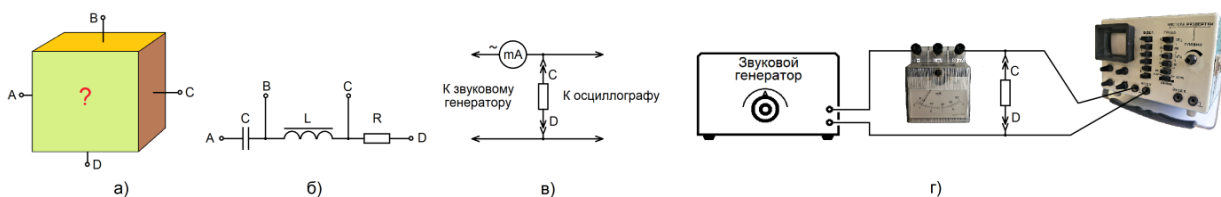
$$R_2 = \frac{U}{\Delta I} = \frac{3,5}{0,075} \approx 46,7 \text{ Ом}.$$

6). При напряжении на участке АВ 4,5 В общий ток в цепи составляет 0,283 А (рис. и). При этом напряжение на участке АС будет: $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = U_{AB} + U_{R1} = 4,5 \text{ В} + 4,5 \cdot 0,283 \text{ В} \approx 11,58 \text{ В}$.



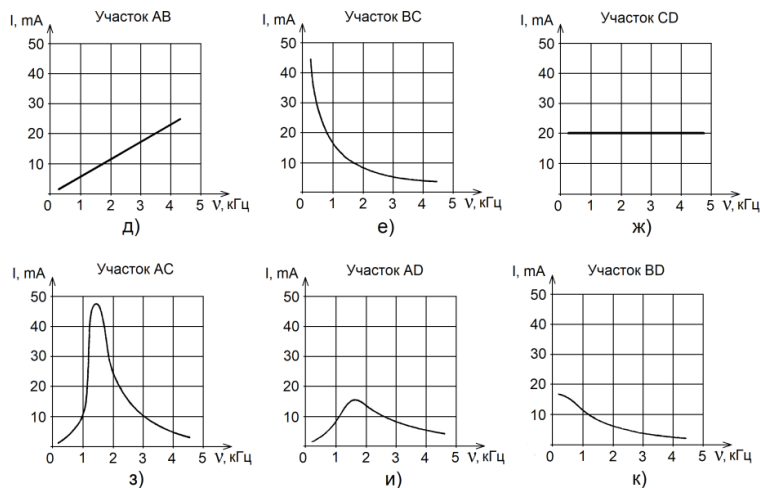
Задание 14-8-7. «Чёрный ящик» включает в себя три элемента. Определить электрическую схему соединения и параметры этих элементов.

Оборудование для исследования: «чёрный ящик», внешний вид и принципиальная схема которого представлены на рисунках а и б, миллиамперметр переменного тока (предел измерений 50 мА), звуковой генератор школьный (диапазон изменения частоты 50 — 5000 Гц, выходное сопротивление 5 Ом), осциллограф лабораторный ОМШ (работать с нажатой кнопкой 1 В/дел или 3 В/дел), соединительные провода, миллиметровая бумага.



Примечание. Задача была составлена автором для учащихся 11 класса, участвовавших в финале 38-ой Всероссийской олимпиады по физике.

Исследование. а) Используя перечисленное оборудование, убеждаются, что в «чёрном ящике» отсутствуют источники тока, диод, а по зависимостям тока от частоты при постоянной амплитуде напряжения (диаграммы на рис. д, е, ж, з, и, к) для различных пар выводов «чёрного ящика» (рис. в, г) определяют, что участок АВ представляет собой емкостное сопротивление (конденсатор), ВС — индуктивное сопротивление (катушка индуктивности), CD — активное сопротивление (резистор).



б) Для определения активного сопротивления собирают схему по рисункам в, г. По масштабной сетке экрана осциллографа измеряют амплитуду напряжения U_a на резисторе при любой частоте генератора. Измерения: $U_a = 2$ В; $I = 0,028$ А; $R = \frac{U_a}{I\sqrt{2}} = 51$ Ом.

в) Для определения ёмкости конденсатора в схеме на рисунке в вместо участка CD включают участок АВ. Частоту звукового генератора устанавливают, например, 1000 Гц. Измерения: $U_a = 2,2$ В, $I = 0,01$ А, $\nu = 1000$ Гц. По этим данным вычисляют ёмкость конденсатора: $X_C = \frac{U_a}{I\sqrt{2}}$; $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$; $C = \frac{I\sqrt{2}}{2\pi\nu U_a} = 1$ мкФ.

г) Для определения индуктивности катушки в схеме (рис. в) вместо участка CD включают участок ВС. Частоту звукового генератора устанавливают максимальной из указанного диапазона, чтобы уменьшить влияние активного сопротивления катушки. Измерения: $U_a = 4,8$ В; $I = 0,01$ А; $\nu = 5000$ Гц. По этим данным вычисляют индуктивность катушки: $X_L = \frac{U_a}{I\sqrt{2}}$; $X_L = 2\pi\nu L$; $L = \frac{U_a}{2\pi\nu I\sqrt{2}} = 0,011$ Гн.

д) Для определения активного сопротивления катушки частоту звукового генератора устанавливают минимальной из указанного диапазона, чтобы уменьшить влияние реактивного сопротивления катушки: $X_L = 2\pi\nu L = 350$ Ом при $\nu = 5000$ Гц и $X_L = 2\pi\nu L = 3,5$ Ом при $\nu = 50$ Гц. Измерения: $U_a = 0,8$ В; $I = 0,05$ А; $\nu = 50$ Гц; $Z = U_a/I\sqrt{2} = 11,3$ Ом. Приближенная оценка $R_L \approx 11$ Ом.

Оценка с учётом реактивного сопротивления: $R_L = \sqrt{Z^2 - X_L^2} = 10,7$ Ом ≈ 11 Ом.

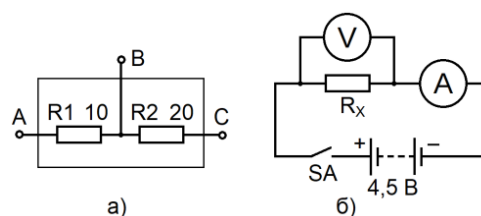
§ 14-9. НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ «ЧЁРНЫХ ЯЩИКОВ», ПРЕДЛАГАЕМЫХ ДЛЯ ПРОЕКТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задание 14-9-1. Установите электрическую схему «чёрного ящика» (рис. а).

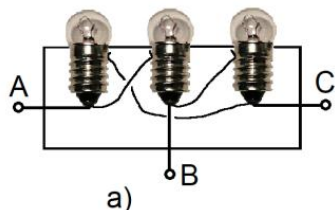
Оборудование: амперметр, вольтметр, макетная плата, источник питания 4,5 В, соединительные провода – 6 шт.

Рекомендации по выполнению. Включая вместо участка R_x (рис. б) выводы АВ, ВС, АС, определяют сопротивления данных участков.

Обращают внимание на то, что $R_{AC} = R_{AB} + R_{BC}$. Причем, оба участка примыкают к выводу В. Эти факты позволяют установить схему соединений элементов ящика.



Задание 14-9-2. Над крышкой «чёрного ящика» (рис. а), который имеет три вывода, выступают колбы трех миниатюрных ламп накаливания ($MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$). Определите, как соединены лампы между собой.



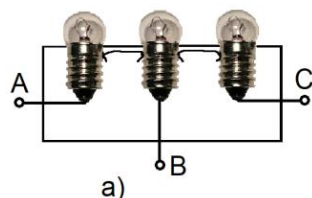
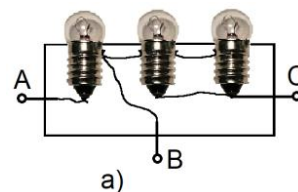
Оборудование: источник питания 4,5 В.

Рекомендации по выполнению. Для исследования содержимого ящика к выводам АВ, ВС, АС поочередно включают источник питания. В каждом случае одна лампа горит ярко, а две другие горят тускло. Причём, каждый раз это разные лампы. Из этого следует, что лампы соединены по схеме «треугольника», к вершинам которого подключены выводы.

Задание 14-9-3. Над крышкой «чёрного ящика» (рис. а), который имеет три вывода, выступают колбы трех миниатюрных ламп накаливания ($MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$). Определите, как соединены лампы между собой.

Оборудование: источник питания 4,5 В.

Рекомендации по выполнению. Подключая поочередно выводы ящика попарно к источнику питания, приходят к выводу о том, что электрическая цепь состоит из участков АВ (одна лампа) и ВС (две параллельные лампы), которые образуют общий участок АС. Причем, вывод В является общим для обоих участков.



Задание 14-9-4. Над крышкой «чёрного ящика» (рис. а), который имеет три вывода, выступают колбы трех миниатюрных ламп накаливания ($MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$). Определите, как соединены лампы между собой.

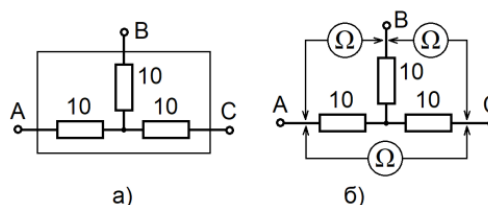
Оборудование: батарея элементов 4,5 В.

Рекомендации по выполнению. При подключении источника питания к любым двум выводам горят две лампы. Это возможно тогда, когда они соединены «звездой». Чтобы удостовериться в этом, включают один вывод источника питания к любому выводу ящика, а другой - к двум другим объединенным выводам.

Задание 14-9-5. В «чёрном ящике» (рис. а) находятся три резистора с одинаковыми сопротивлениями по 10 Ом. Как они соединены между собой?

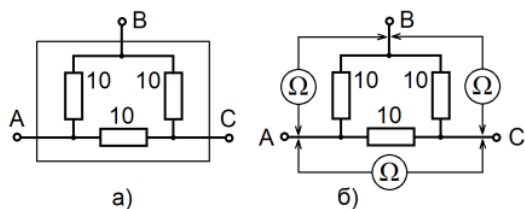
Оборудование: омметр.

Рекомендации по выполнению. Измеряя сопротивления участков АВ, ВС, АС, убеждаются, что они представляют последовательные соединения двух резисторов (рис. б), что возможно при соединении их «звездой».



Задание 14-9-6. В «чёрном ящике» (рис. а) находятся три резистора с одинаковыми сопротивлениями по 10 Ом. Как они соединены между собой?

Оборудование: омметр.



Рекомендации по выполнению. Измеряя сопротивления участков АВ, ВС, АС (рис. б), убеждаются, что каждый участок представляет собой смешанное соединение резисторов, когда к одному резистору параллельно подключены два других резистора, соединённых последовательно (соединение «звездой»).

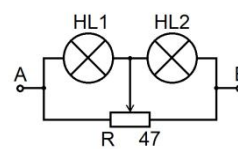
Задание 14-9-7. В «чёрном ящике» с двумя выводами (рис. а) находятся две лампы $MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$ и переменный резистор. Колбы ламп и ручка ползунка резистора выступают над крышкой ящика. Определите схему соединения.

Оборудование: источник питания 4,5 В.

Рекомендации по выполнению. Анализируя характер изменения яркости ламп при вращении ручки переменного резистора в ту или иную сторону при включенном питании, определяют схему соединения (рис. б).



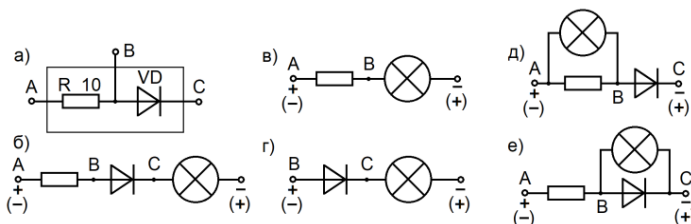
а)



б)

Задание 14-9-8. Установите электрическую схему «чёрного ящика» с тремя выводами (рис. а).

Оборудование: лампа накаливания $MH\ 6,3\ В \times 0,3\ А$, источник постоянного тока 4,5 В, макетная плата, соединительные провода - 4 шт.



Рекомендации по выполнению.

Включая к выводам ящика цепочку, состоящую из источника тока и лампы, в разной полярности (рис. б, в, г), определяют, что его электрическая схема состоит из участка с небольшим сопротивлением, соизмеримым с

сопротивлением лампы, и диода, обладающего односторонней проводимостью.

Причём, анод диода соединен с резистором и выводом В.

Чтобы удостовериться в справедливости догадки, можно собрать еще несколько схем по рисункам д, е.

К сведению. Электрическую схему ящика можно установить, сняв вольтамперные характеристики всех участков.

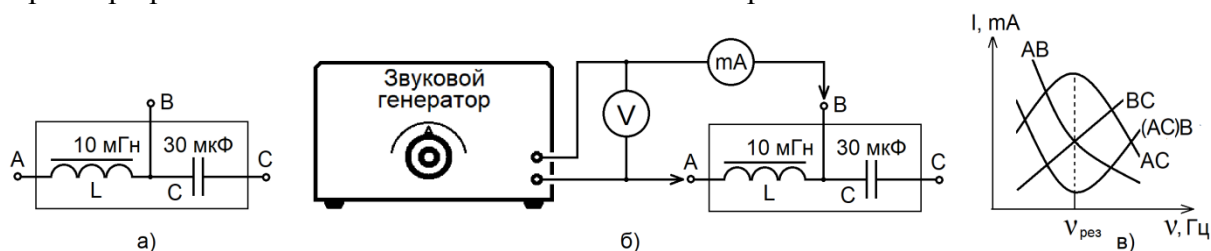
Задание 14-9-9. Установите электрическую схему «чёрного ящика» с тремя выводами А, В, С (рис. а).

Оборудование: звуковой генератор (предпочтительнее с цифровой индикацией частоты), миллиамперметр переменного тока, вольтметр переменного тока, макетная плата, соединительные провода.

Рекомендации по выполнению. Для определения содержимого ящика собирают установку по рисунку б и исследуют зависимость силы тока между выводами АВ, ВС, АС при постоянном выходном напряжении звукового генератора, которое контролируется вольтметром.

По полученным данным строят графики $I = f(v)$ (рис. в) и убеждаются, что участок АВ представляет собой катушку L , ВС – конденсатор C , АС – последовательный колебательный контур с явно выраженной резонансной частотой, при которой участок АС обладает наименьшим сопротивлением.

Соединив выводы А и С вместе, выявляют зависимость силы тока от частоты на участке (АС)В и убеждаются, что он представляет параллельный колебательный контур, который при резонансной частоте имеет наибольшее сопротивление.



§ 14-10. ПРИМЕРЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ

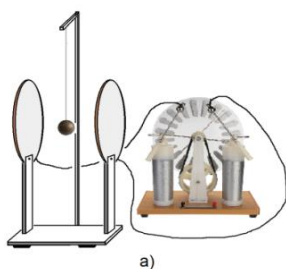
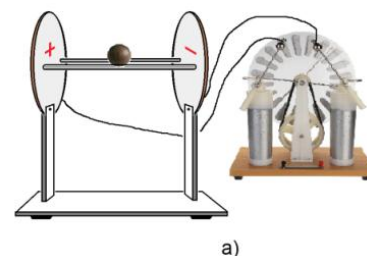
Многие исследовательские проекты по электродинамике можно снабдить разработкой и конструированием материальных объектов, при помощи которых можно подтвердить на практике теоретические положения работы. Особенно социально значимыми являются технические поделки, являющиеся учебно-наглядными пособиями. Такие экспонаты учебных кабинетов, на которых указаны авторы и год изготовления, широко используются в учебном процессе и служат примером для проектных исследований последующих поколений.

Ниже приведем несколько примеров учебно-наглядных пособий без указания конкретных технических характеристик.

Предлагаем внимательно изучить материал данной книги и самим выбрать темы исследовательских проектов и разработать конкретные конструкции.

Задание 14-10-1. Электростатический маятник на стеклянных трубках.

Теннисный шарик, покрытый карандашным графитом, располагается на параллельных стеклянных трубках, установленных между металлическими пластинами (рис. а). Если пластины разноименно зарядить от электрофорной машины, шарик будет совершать колебательные движения между пластинами.

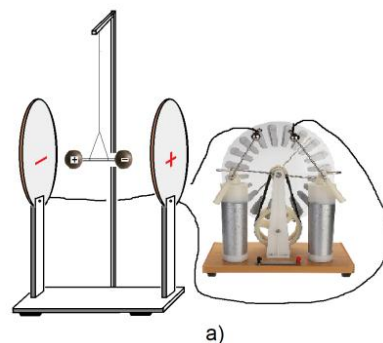


Задание 14-10-2. Электростатический маятник на подвесе.

Если теннисный шарик, покрытый графитом, подвесить на синтетической нити между пластинами (рис. а), то он будет колебаться между ними, поочередно касаясь их.

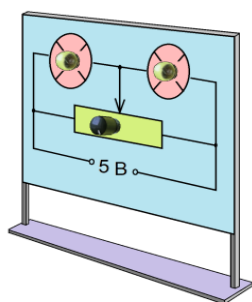
Задание 14-10-3. Модель диполя.

При изучении темы «Поляризация диэлектриков» возможно использование следующей модели диполя. На концы тонкой стеклянной трубки длиной (15 – 20) см насаживают два теннисных шарика, покрытых проводящим слоем графита. Для того чтобы насадить шарики на стеклянную трубку, необходимо последнюю слегка нагреть (например, на спиртовке). Полученную модель диполя подвешивают при помощи нити, как показано на рисунке а.



Если шарики зарядить разноимённо и ввести в электростатическое поле между двумя пластинами, то ось диполя установится вдоль силовых линий поля. Если перезарядить шарики, то ось диполя изменит свою ориентацию на 180° .

Электростатическое поле между пластинами создаётся электрофорной машиной.



a)

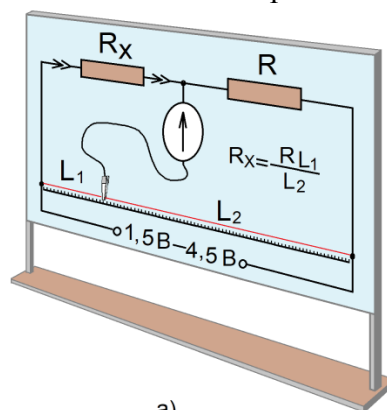
Задание 14-10-4. Переменный резистор как делитель напряжения.

Данное пособие представляет собой переменный резистор 47 Ом, к плечам которого включены лампы *МН 6,5 В × 0,3 А*. Измерения показывают, что общее напряжение, подаваемое на переменный резистор, распределяется между лампами в соответствии с положением ползунка так, что оно всегда равняется сумме напряжений на плечах резистора.

Задание 14-10-5. Реохордный омметр.

Реохордный измеритель сопротивления (омметр) (рис. а) представляет собой измерительный мост Уитстона, основу которого представляет высокоомный провод. Он может быть фехралевым, нихромовым, никелиновым и.д. В школьных условиях можно использовать провод спирали нагревательных приборов.

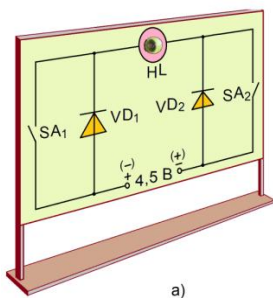
Длина провода может составлять 40-50 см, вдоль которого нанесена миллиметровая шкала. Гальванометр, в качестве которого можно использовать микроамперметр или милливольтметр, с одной стороны располагается между известным резистором R и съёмным резистором R_X с неизвестным сопротивлением, а с другой стороны – подвижным контактом типа «крокодил» и делит высокоомный провод на плечи L_1 и L_2 .



a)

Сопротивление участка R_X определяется при условии

равновесия моста (при нулевом показании гальванометра) по формуле: $R_X = \frac{RL_1}{L_2}$.



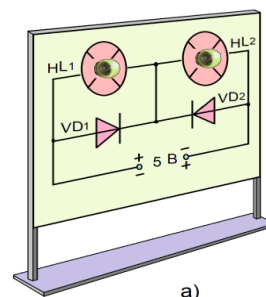
a)

Задание 14-10-6. Демонстрация односторонней проводимости диода.

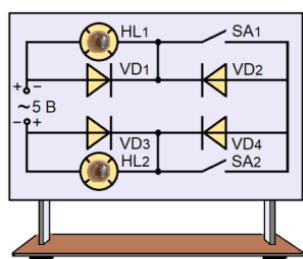
На демонстрационной панели (рис. а) представлена последовательная электрическая цепь с лампой и двумя диодами, параллельно к которым подключены выключатели. Необходимо объяснить, какой из выключателей управляет свечением лампы при данной полярности подачи напряжения.

Задание 14-10-7. Демонстрация шунтирующего действия диода.

Электрическая цепь состоит из двух последовательно соединённых ламп, параллельно к которым включены диоды, как показано на панели (рис. а). Необходимо объяснить различие в яркости ламп при той или иной полярности подачи напряжения.



a)



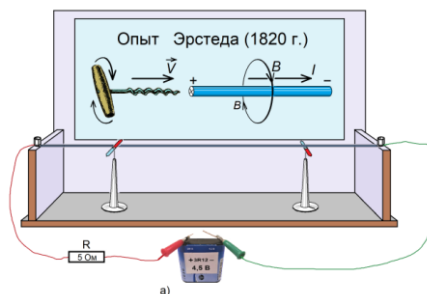
а)

Задание 14-10-8. Демонстрация действия диода в цепях постоянного и переменного тока.

Электрическая схема, представленная на панели, состоит из двух ламп, четырех диодов и двух выключателей (рис. а). Необходимо объяснить, как протекают постоянный и переменный токи по цепи при включении того или иного ключа.

Задание 14-10-9. Демонстрация опыта Эрстеда.

Между опорами натянут медный проводник длиной 40 см (рис. а). Магнитные стрелки на подставке, установленные над и под проводником, ориентированы по линии «север-юг». При пропускании тока по проводнику они ориентируются поперёк направлению тока согласно правилу буравчика.



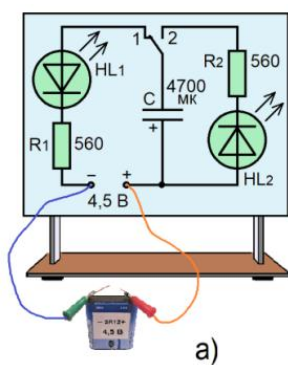
а)

Задание 14-10-10. Демонстрация зарядки и разрядки конденсатора.

В исходном положении (рис. а, переключатель в позиции «1») светодиод HL_1 показывает, что в цепи постоянного тока ток через конденсатор идет только в период зарядки. Яркость светодиода постепенно уменьшается по мере зарядки конденсатора.

В цепи постоянного тока заряженный конденсатор тока не проводит.

При переводе ключа в позицию «2» конденсатор разряжается через светодиод HL_2 .

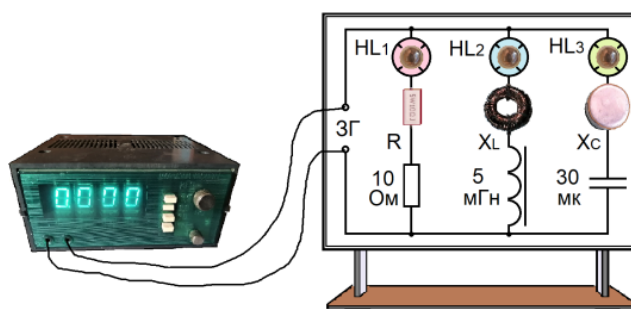


а)

Задание 14-10-11. Демонстрация активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений в цепи переменного тока.

Активное сопротивление R , индуктивное сопротивление X_L и ёмкостное сопротивление X_C , соединённые последовательно с лампами $HL_1 - HL_3$, образуют параллельную электрическую цепь (рис. а).

При подключении панели к звуковому генератору, частота которого меняется в пределах (50 – 2000) Гц, демонстрируется, что сопротивление активного сопротивления не зависит от частоты тока, а индуктивное сопротивление увеличивается и ёмкостное сопротивление уменьшается с увеличением частоты.



а)

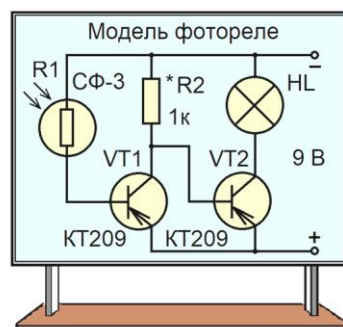
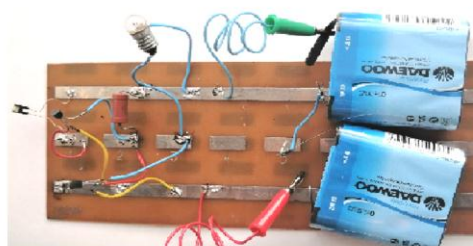
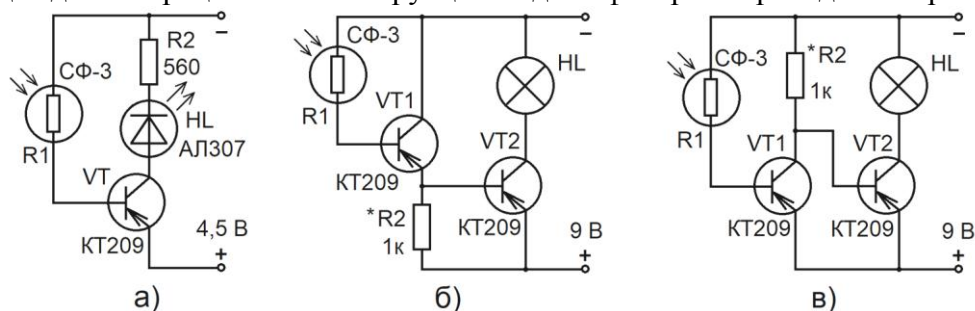
Задание 14-10-12. Модель фотореле.

Примечание. 1. В данном задании и последующих звездочка «*» при резисторах означает, что их сопротивления подбираются при настройке работоспособности конструкции.

2. В схемах можно использовать другие типы фоторезисторов, терморезисторов и маломощных низкочастотных транзисторов как $p-n-p$, так и $n-p-n$ -структур.

На рисунках а, б приведены принципиальные схемы моделей фотореле, где светодиод и лампы загораются при освещении фоторезистора R_1 . Лампа в цепи коллектора транзистора VT_2 (рис. в), наоборот, загорается в темноте.

На рисунке г показана макетная схема, на которой настраивается работа конструкции. Действующая демонстрационная конструкция модели фотореле приведена на рисунке д.



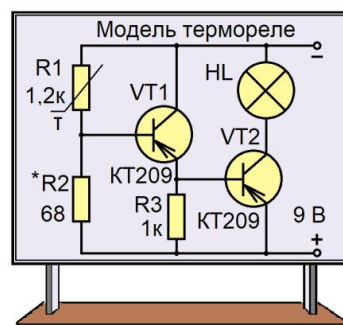
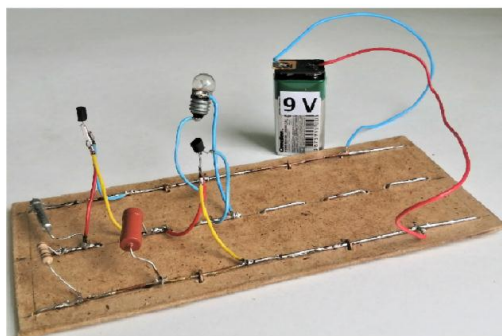
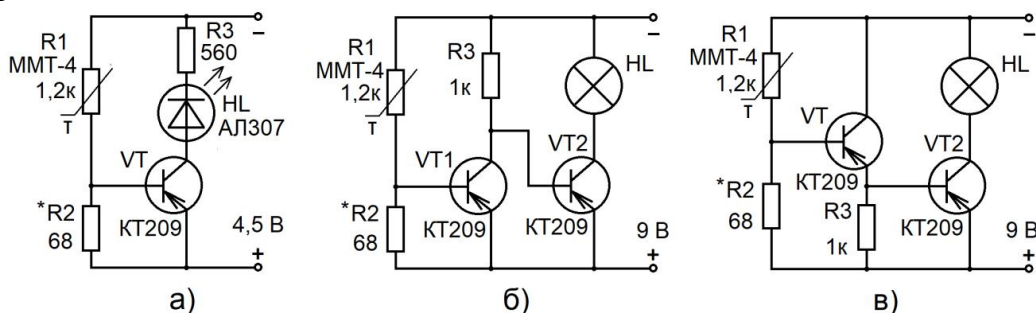
г)

д)

Задание 14-10-13. Модель термореле.

В простейшей модели термореле (рис. а) светодиод загорается при нагревании терморезистора R_1 . В конструкции, показанной на рисунке б, лампа горит при комнатной температуре терморезистора и гаснет при его нагревании.

На рисунках в, г, д показаны принципиальная схема, монтажная плата и демонстрационная панель, на которых лампа загорается при нагревании терморезистора и гаснет при его остывании.



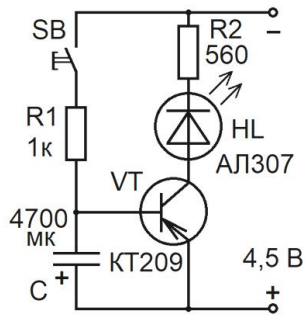
г)

д)

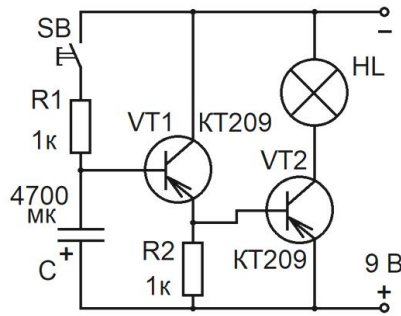
Задание 14-10-14. Модель реле времени.

Работа приведенных ниже моделей реле времени основана на зарядке конденсатора C при кратковременном нажатии кнопки SB . При этом открывается транзистор VT (рис. а, светодиод загорается) и VT_1 (на рис. б загорается лампа, на рис. в лампа гаснет), через которые происходит разрядка конденсатора, в результате чего схема возвращается в исходное состояние.

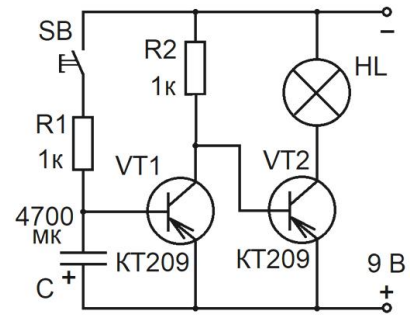
Пример макетирования конструкции и вариант демонстрационной панели показаны на рисунках г, д.



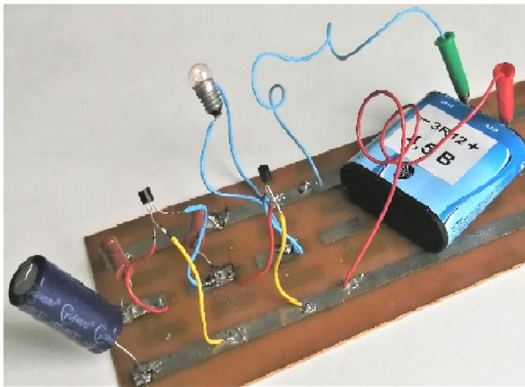
а)



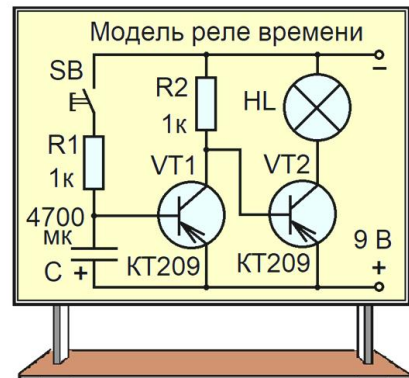
б)



в)



г)



д)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Головин П.П. Школьный физико-технический кружок: Кн. для учителя: Из опыта работы / Под ред. Б.М. Игошева. - М.: Просвещение, 1991. -159 с.
2. Головин П.П. Учимся радиоэлектронике: Книга для учащихся, самостоятельно изучающих основы радиоэлектроники. –Ульяновск: РИЦ «Реклама», 1999. – 224 с.
3. 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.
4. Головин П.П., Головин П.П. Демонстрационные опыты по электродинамике: методическое пособие по физике для общеобразовательных организаций / -Ульяновск: ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», 2020.-77 с.
5. Сборник задач по физике. Тепловые явления. Постоянный ток. Оптика / Под редакцией М.Ю. Замятина. Авторский коллектив: А.А. Киреев, В.П. Слободянин, Г.М. Корепанов, Г.С. Зикрацкий // - Москва, 2019. 359 с.

Подписано в печать 07.04.2021
Усл. печ. л. 10.99

Тираж 500 экз.

Формат 60х84/16
Заказ №95

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»,
432071, г. Ульяновск, пл. Ленина, д. 4/5



В настоящее время важной задачей педагогической науки является развитие функциональной грамотности учащихся в области практической физики.

Многолетний опыт работы (более 50-ти лет) Народного учителя СССР Головина Петра Петровича (старшего) послужил основой для написания нового учебного пособия для учащихся школ, включающего теоретические основы современной практической электроники, с детальным описанием необходимых законов физики доступным научным языком.

Следует также отметить, что ценный вклад в подготовку пособия внёс и Головин Петр Петрович (младший), который принимал активное участие в разработке и тестировании практических устройств, на своем опыте демонстрируя способы повышения интереса учащихся к изучению точных наук.

Шишкарёв Виктор Вячеславович, заведующий кафедрой физики и технических дисциплин ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова», кандидат технических наук, доцент, председатель методической комиссии Всероссийской олимпиады школьников по физике Ульяновской области.

Считаю, что комплект «Экспериментальные задания по электродинамике» Головина П.П. (старшего) и Головина П.П. (младшего) имеет следующие достоинства:

- простота и быстрота проведения экспериментов;
- наглядность и вариативность изучаемых конструкций;
- универсальность применения в обучении независимо от учебной программы.

Уверен, что данный учебно-методический комплект успешно можно использовать как на уроке для проведения фронтальных кратковременных опытов и лабораторных работ, так и во внеклассных и внешкольных занятиях при выполнении проектов, а также для домашнего экспериментального изучения электродинамических явлений.

Белышев Андрей Юрьевич, двукратный финалист конкурса «Учитель года Москвы», учитель физики школы № 1080 г. Москвы, подготовивший 12 стобальников ЕГЭ и 6 призеров Всероссийской олимпиады школьников, телеведущий.

Мы доступны и всегда на связи:

- канал в YouTube «Жизнь счастливого школьника» (плейлист «Физика» с фильмами научных экспериментов);
- www.golovin73.ru (описания УМК, книги для скачивания, программа авторских занятий);
- golovin_pp@mail.ru (оперативная связь по приобретению УМК, заказ онлайн уроков, приглашения на авторские занятия).

С добрыми пожеланиями, Головины П.П. (младший и старший).