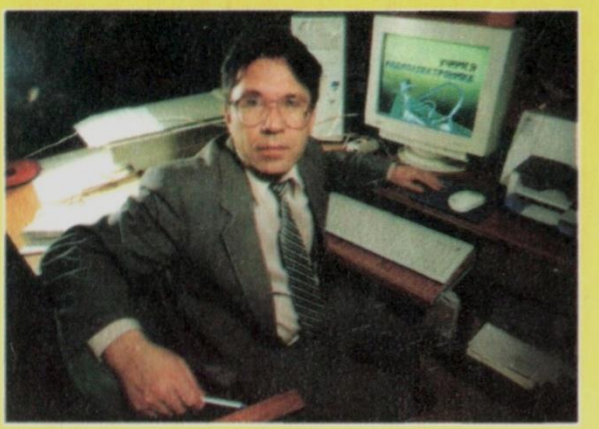
П.П.ГОЛОВИН

Учимся радиоэлектронике

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ





Головин Петр Петрович,
народный учитель СССР,
кандидат педагогических наук.

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

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

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

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

При «Импульсе» работает руководимая Петром Петровичем Головиным авторская Всероссийская школа повышения квалификации учителей физики по совершенствованию практической части преподавания электродинамики в школьном курсе и организации внеклассной работы по физико-техническому творчеству. За 1992 - 1999 годы проведено более 100 занятий в Москве, Санкт-Петербурге, Сыктывкаре, Воркуте, Анадыре, Чебоксарах, Пензе, Саратове, Магадане, Рязани, Смоленске, Йошкар-Оле, Инте, Печоре, Уфе, Казани, Самаре, Челябинске и т.д.

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

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

П.П. Головин

Учимся радиоэлектронике

КНИГА ДЛЯ УЧАЩИХСЯ

(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ)

Предназначена
для самостоятельного изучения основ радиоэлектроники учащимися средних и старших возрастов дома, на уроках, факультативных и кружковых занятиях



Рекомендована
Управлением общего среднего образования
Министерства общего и профессионального образования
Российской Федерации
для использования при обучении физике
в общеобразовательных учреждениях России.
(№ 650/11 от 07.05.96 г.)

Включена
в Федеральный комплект
учебно-методического обеспечения.

УЛЬЯНОВСК
РИЦ «РЕКЛАМА»
1999

УДК 621
ББК 32.8
Г 61

Рецензенты

Ю.И. Дик, доктор педагогических наук, директор института ОСО РАО.

В.А. Коровин, заслуженный учитель Российской Федерации, кандидат педагогических наук, начальник отдела естественно-математического образования Минобразования Российской Федерации.

Е.С. Объедков, учитель-методист школы №548 г. Москвы, заслуженный учитель Российской Федерации, кандидат педагогических наук, четырежды Соросовский учитель.

О.Ю. Овчинников, кандидат педагогических наук, доцент кафедры методики преподавания физики МПГУ.

В.А. Орлов, профессор, заведующий лабораторией обучения физики института ОСО РАО.

Научные консультанты

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

В.А.Поляков, доктор педагогических наук, академик, вице-президент РАО.

Г 61 ГОЛОВИН П. П.
УЧИМСЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ: Книга для учащихся самостоятоятельно изучающих основы радиоэлектроники дома, на уроках, факультативных и кружковых занятиях. — Ульяновск: РИЦ «РЕКЛАМА», 1999. — 224 с.

Рекомендована Управлением общего среднего образования Министерства общего и профессионального образования Российской Федерации для использования при обучении физике в общеобразовательных учреждениях России (№ 650/11 от 07.05.96 г.).

Включена в каталог-справочник "Российский учебник".

ББК 32.8

ISBN 5-7572-0023-5

© П. П. Головин, 1998 г.
© РИЦ "Реклама", 1999 г.

Содержание

Глава1

Введение 5

§ 1-1. 0 комплекте “Учимся радиоэлектронике” 5
§ 1-2. Система интернациональная (СИ) - международная система единиц 6
§ 1-3. Физические величины обозначаются буквами греческого и латинского алфавитов 8

Глава 2

Электрический разряд. Электризация тел 9

§ 2-1. При натирании многие вещества электризуются 9
§ 2-2. В природе существует два вида электричества 10
§ 2-3. Вокруг заряженных тел существует электрическое поле, а между зарядами действуют электрические силы 11
§ 2-4. Кулон - единица измерения электрического заряда. 12
§ 2-5. Электрон - частица с наименьшим зарядом. 12
§ 2-6. Атом - мельчайшая частица вещества 13
§ 2-7. Из атомов получаются ноны, а из ионов образуются молекулы . . . 13
§ 2-8. Как происходит электризация тел 14
§ 2-9. Что удерживает электроны вокруг ядра? 15

Глава 3

Электрический ток. Источники тока 16

§ 3-1. Электрический ток - это направленное движение заряженных частиц 16
§ 3-2. Электропроводность веществ зависит от наличия в них свободных зарядов 17
§ 3-3. В источниках тока заряды разделяются на положительные и отрицательные 19

§ 3-4. Химические источники тока самые простые, их можно сделать самому 20
§ 3-5. Элемент Лекланше - очень распространенный химический источник тока 23

Глава 4

Электродвижущая сила. Потенциал. Напряжение 24

§ 4-1. Электродвижущая сила - это способность источника тока создавать электрический ток 24
§ 4-2. Электрический потенциал - характеристика энергии электрического поля 25
§ 4-3. Нулевой потенциал - это потенциал Земли 26
§ 4-4. Напряжение - это разность потенциалов 26

Глава 5

Электрическая цепь. Сопротивление. Закон Ома. Измерение силы тока, напряжения, ЭДС 27

§ 5-1. Электрическая цепь - это путь движения электрических зарядов 27
§ 5-2. Электрическое сопротивление - это характеристика противодействия проводника движению зарядов 28
§ 5-3. Закон Ома для участка цепи показывает зависимость между током, напряжением и сопротивлением 29
§ 5-4. Закон Ома для полной цепи показывает зависимость силы тока от ЭДС источника и общего сопротивления 29
§ 5-5. Человек - проводник тока 31
§ 5-6. Короткое замыкание внешней цепи опасно для источника питания 31
§ 5-7. Амперметр - прибор для измерения силы тока, вольтметр - прибор для измерения напряжения 32
§ 5-8. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника питания 35

Глава 6

Резисторы 36

§ 6-1. Резисторы - это специальные приборы, оказывающие сопротивление электрическому току 36
§ 6-2. Переменный резистор служит для плавного регулирования

силы тока и напряжения 41
§ 6-3. Переменный резистор как делитель напряжения 43
§ 6-4. Вольт-амперная характеристика - это зависимость силы тока от напряжения 44

Глава 7

Последовательное, параллельное и смешанное соединения 47

§ 7-1. Последовательное соединение - это такая цепь, где ток поочередно обходит все участки 47
§ 7-2. Параллельное соединение - это такая цепь, где ток течет одновременно по всем участкам 52
§ 7-3. Последовательное соединение- делитель напряжения, параллельное соединение-делитель тока 57
§ 7-4. Смешанное соединение проводников - это комбинация последовательного и параллельного соединений 60
§ 7-5. Источники питания можно соединять последовательно, параллельно и смешанно 62

Глава 8

Электроизмерительные приборы: амперметр, вольтметр, омметр, авометр 64

§ 8.1. Шунт - это обходной путь для электрического тока 64
§ 8-2. Еще раз об измерительных приборах: амперметре и вольтметре 65
§ 8-3. Шунт расширяет предел измерения амперметра, добавочное сопротивление - вольтметра 67
§ 8-4. Омметр - прибор для измерения сопротивления 69
§ 8-5. Немного о постоянном и переменном токе 71
§ 8-6. Авометр - это комбинированный прибор, предназначенный для измерения силы тока, напряжения и сопротивления 72
§ 8-7. Авометр как омметр 72
§ 8-8. Авометр как вольтметр 74
§ 8-9. Авометр как миллиамперметр 75

Глава 9

Работа и мощность электрического тока 76

§ 9-1. Электрический ток, протекая по проводникам, совершает работу . .76
§ 9-2. Мощность электрического тока - это работа тока,

выполненная за единицу времени 76
§ 9-3. Резисторы тоже обладают мощностью 77
§ 9-4. Ток, протекая по проводникам, нагревает их 78
§ 9-5. Предохранители защищают электроприборы от перегрузки 79

Глава 10

Электрическая емкость. Конденсаторы 80

§ 10-1. Конденсатор - это устройство, предназначенное для накопления и сохранения электрического заряда 80
§ 10-2. Электроемкость - это величина, характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд 80
§ 10-3. Конденсаторы бывают постоянной емкости, переменные и подстроечные 81
§ 10-4. Обозначение емкости конденсаторов на принципиальных схемах 82
§ 10-5. Кодирование конденсаторов 82
§ 10-6. Конденсатор - накопитель электрической энергии 83
§ 10-7. Определение емкости конденсатора 85
§ 10-8. Конденсаторы, как резисторы, можно соединить параллельно и последовательно 86

Глава 11

Полупроводники. Р-п-переход. Диоды 88

§ 11-1. Полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками 88
§ 11-2. Добавив в чистый полупроводник примеси, получают полупроводники n- и p- типов 89
§ 11-3. Полупроводники нашли широкое применение 90
§ 11-4. Диод - это полупроводниковый прибор, проводящий ток только в одном направлении 90
§ 11-5. Почему р-п-переход обладает односторонней проводимостью? ...92
§ 11-6. Вольт-амперная характеристика диода - это зависимость силы тока в нем от напряжения 94

Глава 12

Переменный электрический ток. Трансформатор. Осциллограф. Звуковой генератор 96

§ 12-1. У переменного тока периодически изменяются сила и направление 96
§ 12-2. Период, частота и амплитуда - основные

характеристики переменного тока 97
§ 12-3. Трансформатор - это преобразователь силы тока и напряжения 98
§ 12-4. Трансформатор, повышая напряжение, понижает силу тока, и наоборот 99
§ 12-5. Осциллограф - это универсальный прибор, позволяющий видеть электрические колебания 99
§ 12-6. Электронный луч управляет электрическим полем 100
§ 12-7. Звуковой генератор вырабатывает переменный ток звуковой частоты 103

Глава 13

Выпрямление переменного тока 105

§ 13-1. Переменный ток выпрямляется диодом 105
§ 13-2. Однополупериодное выпрямление переменного тока 105
§ 13-3. Лабораторный источник питания - двухполупериодный выпрямитель 107
§ 13-4. Двухполупериодное выпрямление переменного тока четырьмя диодами 110
§ 13-5. Конденсатор сглаживает пульсации выпрямленного тока 111

Глава 14

Активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Колебательный контур. Резонанс 113

§ 14-1. Резистор (активное сопротивление) проводит постоянный и переменный токи 113
§ 14-2. Катушка индуктивности - важный элемент радиотехнической цепи 114
§ 14-3. Самоиндукция - это явление возникновения ЭДС индукции в катушке при изменении тока в ней 116
§ 14-4. Катушка (индуктивное сопротивление) переменный ток проводит плохо 117
§ 14-5. Конденсатор (емкостное сопротивление) переменный ток проводит хорошо 120
§ 14-6. Закон Ома для цепи переменного тока 121
§ 14-7. В последовательном колебательном контуре при резонансе сила тока резко увеличивается 124
§ 14-8. В параллельном колебательном контуре при резонансе сила тока резко уменьшается 125
§ 14-9. В цепи переменного тока активное, индуктивное и емкостное сопротивления ведут себя по-разному 127

Глава 15

Транзисторы. Импульсный режим работы транзистора 130

§ 15-1. Транзистор - это трехэлектродный полупроводниковый прибор 130
§ 15-2. Как маркируются транзисторы 131
§ 15-3. Проверка исправности переходов транзисторов 132
§ 15-4. Транзисторы разных структур отличаются полярностью питания 135
§ 15-5. Базовый ток управляет коллекторным током 135
§ 15-6. Эмиттерный переход - управляющий переход транзистора 137
§ 15-7. Базовый резистор управляет токами в транзисторе 138
§ 15-8. Транзистор включается в цепь тремя способами 139
§ 15-9. Коэффициент усиления транзистора 139
§ 15-10. Импульсный режим работы транзистора 142
§ 15-11. Составной транзистор обладает большим коэффициентом усиления 146

Глава 16

Микрофон. Телефон 148

§ 16-1. Микрофон - это прибор, преобразующий звуковые колебания в электрические 148
§ 16-2. Телефон - это прибор, преобразующий электрические колебания в звуковые 150
§ 16-3. Соединив телефон с микрофоном, можно получить простейшее переговорное устройство 151

Глава 17

Транзистор как усилитель 152

§ 17-1. Работа транзистора в режиме усиления 152
§ 17-2. Как настраивается усилительный каскад 154
§ 17-3. Соединив два усилителя между собой, можно переговариваться 157
§ 17-4. Двухкаскадный УЗЧ усиливает лучше, чем однокаскадный 159

Глава 18

Мультивибратор 160

§ 18-1. Мультивибратор - это электронное устройство, вырабатывающее

электрические колебания 160
§ 18-2. Как работает мультивибратор 161
§ 18-3. Частота колебаний мультивибратора зависит от емкости конденсаторов и сопротивления базовых резисторов 164
§ 18-4. Генератор телеграфной азбуки Морзе 166
§ 18-5. Мультивибратор - это генератор электрических колебаний прямоугольной формы 168
§ 18-6. Мультивибратор с усилителем 169

Глава 19

Электрическая пайка. Макетирование и монтаж радиоэлектронных конструкций 172

§ 19-1. Электропаяльник - главный инструмент электромонтажника ... 172
§ 19-2. Припой - это сплав цветных металлов, предназначенный для пайки 172
§ 19-3. Флюс - это вещество, защищающее спаиваемые поверхности от окисления 174
§ 19-4. Пайка - это способ соединения проводников посредством расплавленного припоя 174
§ 19-5. Соблюдение техники безопасности - прежде всего 175
§ 19-6. Макетирование радиоэлектронных конструкций способом электрической пайки 176
§ 19-7. От макетирования к печатному монтажу 178

Глава 20

Конструирование радиоэлектронных узлов 182

§ 20-1. Переговорное устройство по принципу “прием-передача” на одном транзисторе 182
§ 20-2. Переговорное устройство по принципу “прием-передача” на двух транзисторах 184
§ 20-3. Телефонная связь с вызовом абонента 184
§ 20-4. Индикатор индукционного тока 186
§ 20-5. Индикатор электромагнитного поля 187
§ 20-6. Электронный “клад” и кладоискатель 188
§ 20-7. Прерывистая электронная сирена 190
§ 20-8. Двухтональная электронная сирена 191
§ 20-9. Электронный интерферометр звуковых волн 192

Глава 21

Учителю 195

§ 21-1. Примеры составления контрольных заданий для проверки усвоениея изученного материала 195
§ 21-2. Возможные способы исследования содержимого "черных ящиков" 199

Для заметок 204

Приложения 205

Литература 213

Содержание 214

Глава 1

Введение

§ 1-1. О КОМПЛЕКТЕ "ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ"

В состав комплекта входят:

- книга "Учимся радиоэлектронике";
- набор деталей (лампы, постоянные и переменные резисторы, конденсаторы и т.д.), снабженные соединительными выводами и условными графическими обозначениями (рис. 1-1-1);
- специальная макетная плата для макетирования изучаемых конструкций. Соединение деталей электрической схемы производится посредством пружинных контактов (рис.1-1-2).

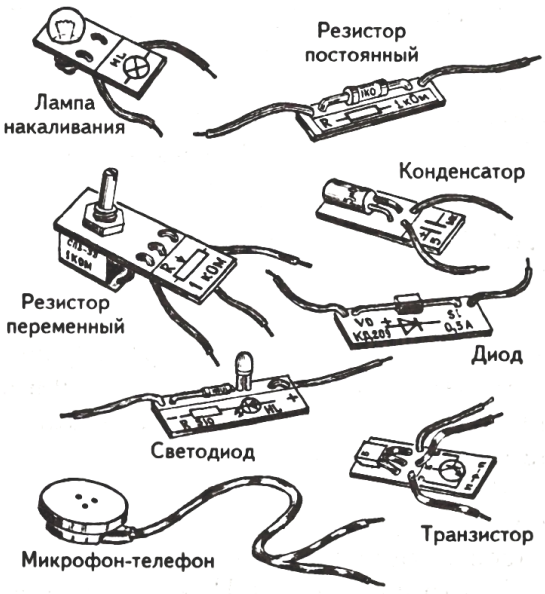
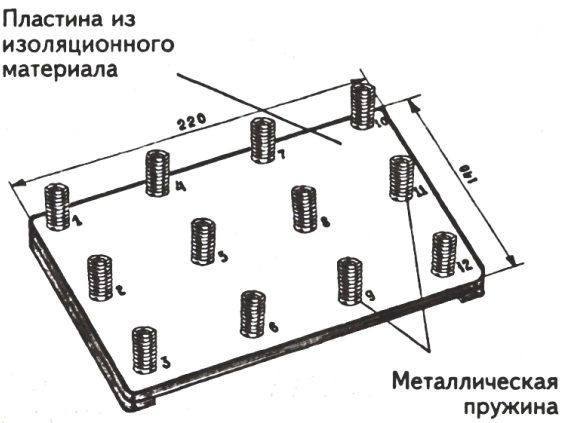
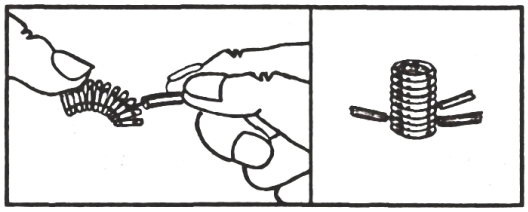


Рис. 1-1-1. Общий вид деталей

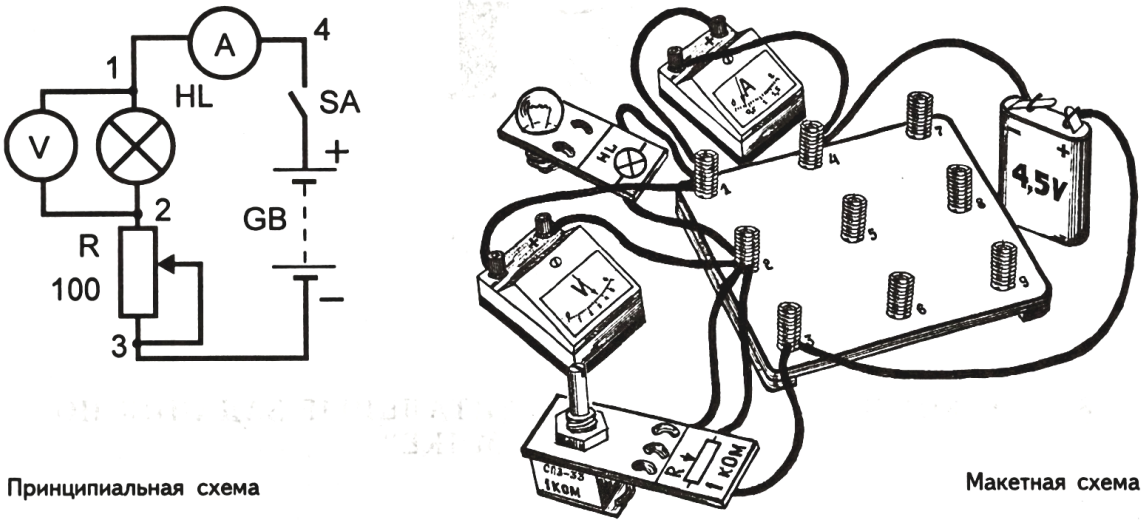


Общий вид макетной платы



Способ соединения проводников в пружине

Рис. 1-1-2



Принципиальная схема

Макетная схема

Рис. 1-1-3. Пример сборки конструкции на макетной плате

Цифры на принципиальных схемах соответствуют номерам пружин (рис. 1-1-3).

Предлагаем три варианта использования комплекта, проверенные многолетней практикой автора и его последователей:

- самостоятельное изучение материала пособия школьниками среднего и старшего возраста в домашних условиях путем проведения исследований, не связанных с использованием дорогостоящих приборов: амперметров, вольтметров, и т.д.;
- самостоятельное проведение исследований в условиях школьного физического кабинета: на уроках, факультативных и кружковых занятиях;
- описательное изучение материала пособия без использования формул и вычислений с младшими школьниками под руководством старших.

§ 1-2. СИСТЕМА ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНАЯ (СИ) - МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

Все физические единицы в чем-то измеряются. Часто для измерения одной и той же величины используется несколько мер. Например:

а) длина измеряется в метрах, километрах, сантиметрах и т.д.;

б) время измеряется в секундах, минутах, часах, сутках и т.д.;

в) масса измеряется в граммах, килограммах, тоннах и т.д.

Для исключения путаницы во всем мире используется стандартная система измерения физических величин, называемая Системой Интернациональной, сокращенно СИ.

В системе СИ измеряются: длина в метрах (м); время в секундах (с); масса в килограммах (кг).

Часто в системе СИ, кроме основных единиц измерения, применяются их десятичные кратные единицы и десятичные дольные единицы.

Например:

1 дам (1 декаметр) = 10 м = 10^1 м (десять метров),
1 гм (1 гектометр) = 100 м =10^2 м (сто метров),
1 км (1 километр) = 1000 м = 10^3 м (тысяча метров),
1 дм (1 дециметр) = 0,1 м = 10^{-1} м (одна десятая метра),
1 см (1 сантиметр) = 0,01 м = 10^{-2} м (одна сотая метра),
1 мм (1 миллиметр) = 0,001 м = 10^{-3} м (одна тысячная метра).

Задание 1-2-1.

Познакомьтесь с множителями и приставками системы СИ для образования десятичных кратных и дольных единиц.

Наименов. приставки	Обозначение приставки		Множитель	Наименование множителя
	русское	международное		
экса	Э	E	1000000000000000000=10^{18}	квинтиллион
пета	П	P	1000000000000000=10^{15}	квадриллион
тера	Т	T	1000000000000=10^{12}	триллион
гига	Г	G	1000000000=10^9	миллиард
мега	М	M	1000000=10^6	миллион
кило	к	k	1000=10^3	тысяча
гекто	г	h	100=10^2	сто
дека	да	da	10=10^1	десять
деци	д	d	0,1=10^{-1}	одна десятая
санти	с	c	0,01=10^{-2}	одна сотая
милли	м	m	0,001=10^{-3}	одна тысячная
микро	мк	μ	0,000001=10^{-6}	одна миллионная
нано	н	n	0,00000000=10^{-9}	одна миллиардная
пико	п	p	0,000000000001=10^{-12}	одна триллионная
фемто	ф	f	0,000000000000001=10^{-15}	одна квадриллионная
атто	а	a	0,000000000000000001=10^{-18}	одна квинтиллионная

Первые приставки были введены во Франции в конце 18 века на основе слов греческого и латинского языков. Например:

тера (teras- гр.) - чудовище,
гига (gigas) - великан,
мега (megas -гр.) - большой,
кило (chilioi - гр.) - тысяча,
гекто (hekaton - гр.) - сто,
дека (deka -гр.) - десять,
деци (decem - лат.) - десять,
санти (centum- лат.) - сто,
милли (mille - лат.) - тысяча,
микро (mikros - гр.) - малый,
нано (nanos - гр.) - карлик.

§ 1-3. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ ОБОЗНАЧАЮТСЯ БУКВАМИ ГРЕЧЕСКОГО И ЛАТИНСКОГО АЛФАВИТОВ

Физические величины условно обозначаются чаще всего буквами латинского или греческого алфавитов. Например, t - время; l - длина; m -масса.

Задание 1-3-1.

Познакомьтесь с написанием и произношением букв греческого и латинского алфавитов.

Буквы		Название буквы	Буквы		Название буквы
печатные	рукописные		печатные	рукописные	
Греческий алфавит					
Α α	Α α	альфа	Ν ν	Ν ν	ню
Β β	Β β	бета	Ξ ξ	Ξ ξ	кси
Γ γ	Γ γ	гамма	Ο ο	Ο ο	омикрон
Δ δ	Δ δ	дельта	Π π	Π π	пи
Ε ε	Ε ε	эпсилон	Ρ ρ	Ρ ρ	ро
Ζ ζ	*Ζ ζ*	дзэта	Σ σ	Σ σ	сигма
Η η	Η η	эта	Τ τ	Τ τ	тау
Θ θ	Θ θ	тэта	Υ υ	Υ υ	ипсилон
Ι ι	Ι ι	йота	ϑ φ	ϑ φ	фи
Κ κ	Κ κ	каппа	Χ χ	Χ χ	хи
Λ λ	Λ λ	ламбда	Ψ ψ	Ψ ψ	пси
Μ μ	Μ μ	мю	Ω ω	Ω ω	омега
Латинский алфавит					
A a	*A a*	а	N n	*N n*	эн
B b	*B b*	бе	O o	*O o*	о
C c	*C c*	це	P p	*P p*	пе
D d	*D d*	де	Q q	*Q q*	ку
E e	*E e*	е	R r	*R r*	эр
F f	*F f*	эф	S s	*S s*	эс
G g	*G g*	ге, же	T t	*T t*	те
H h	*H h*	ха, аш	U u	*U u*	у
I i	*I i*	и	V v	*V v*	ве
J j	*J j*	йот, жи	W w	*W w*	дубль-ве
K k	*K k*	ка	X x	*X x*	икс
L l	*L l*	эль	Y y	*Y y*	игрек
M m	*M m*	эм	Z z	*Z z*	зет (зета)

Глава 2

Электрический заряд. Электризация тел

§ 2-1. ПРИ НАТИРАНИИ МНОГИЕ ВЕЩЕСТВА ЭЛЕКТРИЗУЮТСЯ

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

Задание 2-1-1.

Вспомните известные вам примеры электризации тел и повторите их.

1. Снимите нейлоновую одежду через голову (рис. 2-1-1) и слушайте потрескивание (в темноте можно увидеть искорки). Обратите внимание, что после снятия электризованная одежда тянется к вам.



Рис. 2-1-1

2. Пластмассовой расческой расчешите сухие волосы и поднесите ее к мелким кускам бумаги, лежащим на столе.

3. Поднесите сухую электризованную расческу к тонкой струе воды, текущей из крана, и наблюдайте явление взаимодействия расчески и струи (рис. 2-1-2).



Рис. 2-1-2

4. В домашних тапочках с синтетическими подошвами пройдитесь скользящими шагами по половому ковру. Теперь поднесите вашу руку (палец) к водопроводному крану, батарее отопления или открытому участку тела вашего товарища (рис. 2-1-3). Что случилось?

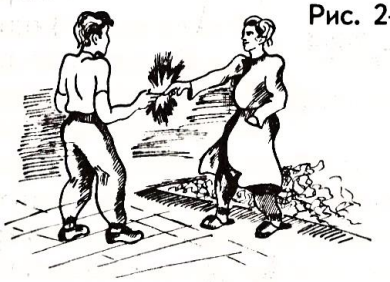


Рис. 2-1-3

Задание 2-1-2.

Проделайте другие опыты по электризации тел натиранием и опишите их.

§ 2-2. 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 - "—".

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

В домашних условиях можно получить:

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

Задание 2-2-1.

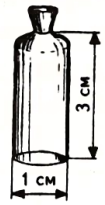


Рис. 2-2-1

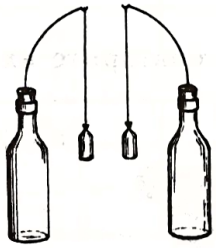


Рис. 2-2-2

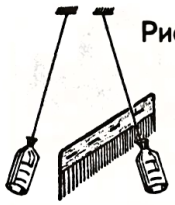


Рис. 2-2-3

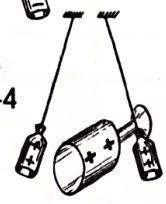


Рис. 2-2-4


Рис. 2-2-5

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. 2-2-1). Размеры примерные.

2. Гильзы повесьте на шелковых (или капроновых) нитях длиной около 30 см, которые закреплены на изогнутых металлических проволоках, установленных в пробках на стеклянных бутылках (рис. 2-2-2).

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

а) отрицательно заряженной расческой (рис. 2-2-3);

б) положительно заряженным стеклянным телом (рис. 2-2-4).

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. 2-2-5). Наблюдайте взаимодействие.

По проделанным опытам ответьте, как взаимодействуют:

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

б) разноименно заряженные тела (положительные с отрицательными)?

На основании проделанных выше исследований можно сделать следующие выводы:

1. одноименно заряженные тела отталкиваются: положительные отталкивают положительные, отрицательные отталкивают отрицательные.

2. разноименно заряженные тела притягиваются: положительные притягивают отрицательные, отрицательные притягивают положительные.

Задание 2-2-2.

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.

Ну и как?

Задание 2-2-3.

1. Изготовьте электроскоп (по-гречески “скопео” - наблюдать) - прибор для обнаружения наэлектризованности тел (рис. 2-2-6). Для этого:

а) возьмите стеклянную полулитровую банку с пластмассовой 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 и длиной 3 см.

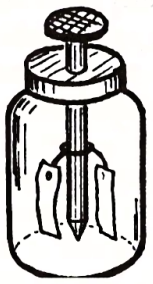


Рис. 2-2-6

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

§ 2-3. ВОКРУГ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ СУЩЕСТВУЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, А МЕЖДУ ЗАРЯДАМИ ДЕЙСТВУЮТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИЛЫ

Вы обратили внимание на то, 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 нем, 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 ве-

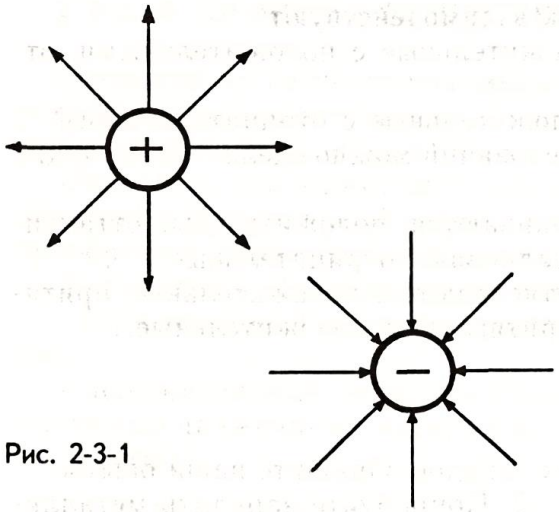


Рис. 2-3-1

ществ 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 проделанные 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. 2-3-1). Причем, у положительного заряда стрелки направлены от него, у отрицательного - к заряду. Эти линии называются силовыми линиями электрического поля.

§ 2-4. 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, с, кг, пишется с заглавной буквы. Это потому, что она названа в честь человека - французского ученого **Шарля Кулона** (1763 -1806), установившего основные законы электрического взаимодействия.

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

§ 2-5. ЭЛЕКТРОН - ЧАСТИЦА С НАИМЕНЬШИМ ЗАРЯДОМ

Вы уже убедились на опытах (задание 2-2-1), что заряженное тело (расческа) при соприкосновении с незаряженным телом (гильзой) отдает ему часть заряда. Это тело 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 заряд, который дальше не делится. Эту частицу назвали электроном (помним, что по-гречески означает янтарь). Его открыл английский ученый **Джозеф Джон Томсон** в 1897 г.

Оказалось, что электрон имеет:

- отрицательный заряд, равный $q = -1{,}6 \times 10^{-19}$ **Кл** (0,000 000 000 000 000 000 16 Кл);
- массу $m = 9{,}1 \times 10^{-31}$ **кг** (0,000 000 000 000 000 000 000 000 000 91 кг).

Как видим, заряд и масса электрона чрезвычайно малы.

§ 2-6. 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. 2-6-1 приведены модели атомов водорода, гелия, лития и кислорода, где кружочками обозначены:
⊖ - электрон, ⊕ - протон, ○ - нейтрон.

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:

$$q_p = 1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{Кл}.$$

Он примерно в 1850 раз тяжелее электрона:

$$m_p = 1{,}673 \times 10^{-27}\ \text{кг}.$$

Нейтроны зарядом не обладают и по массе чуть тяжелее протонов:

$$m_n = 1{,}675 \times 10^{-27}\ \text{кг}.$$

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 электронов в оболочке равно числу протонов в ядре.

Размеры ядра очень малы по сравнению с размером атома. Если бы весь атом 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?

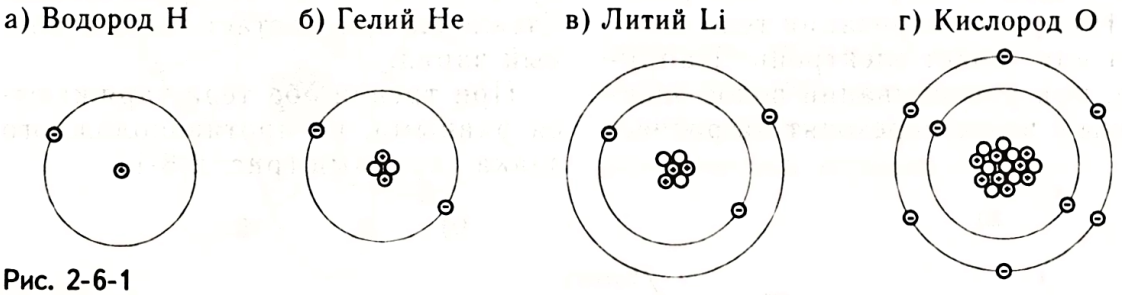


Рис. 2-6-1

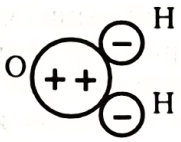
§ 2-7. ИЗ АТОМОВ ПОЛУЧАЮТСЯ ИОНЫ, А ИЗ ИОНОВ ОБРАЗУЮТСЯ МОЛЕКУЛЫ

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

а) Вода H_2O



б) Поваренная соль NaCl



Рис. 2-7-1

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. 2-7-1).

§ 2-8. КАК ПРОИСХОДИТ ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ?

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. 2-8-1).

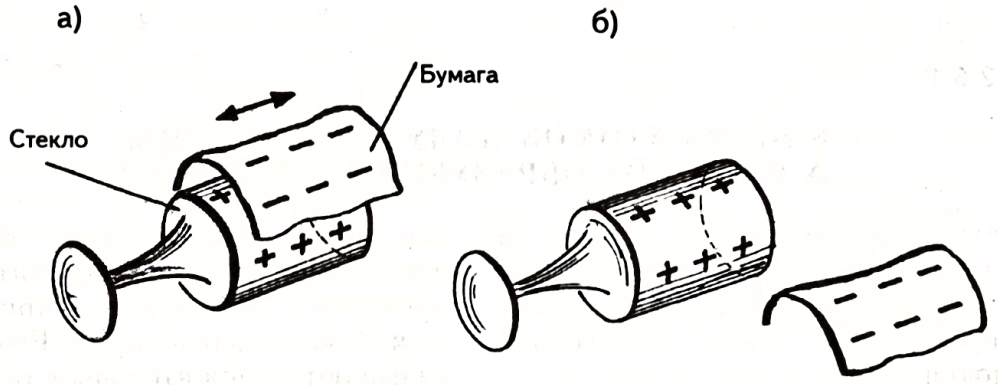
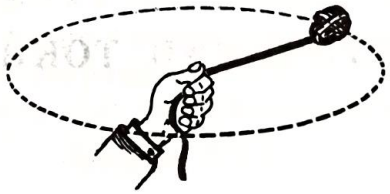


Рис. 2-8-1

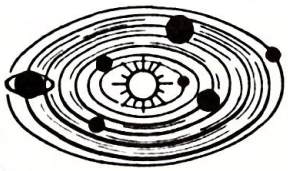
§ 2-9. ЧТО УДЕРЖИВАЕТ ЭЛЕКТРОНЫ ВОКРУГ ЯДРА?

Все тела в природе стремятся двигаться прямолинейно и равномерно. Чтобы удержать их на круговой траектории, нужно воздействовать силой, направленной к центру окружности (рис. 2-9-1).



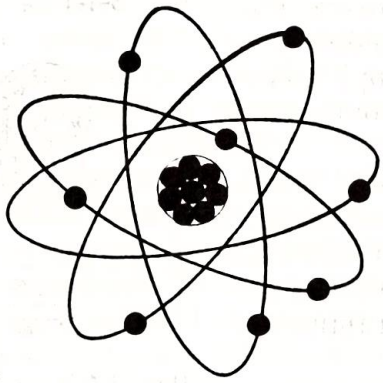
Камень вращается за счет силы упругости, возникающей в нити

Рис. 2-9-1, а



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

Рис. 2-9-1, б



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

Рис. 2-9-1, в

Глава 3

Электрический ток. Источники тока

§ 3-1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК - ЭТО НАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Если разноименно заряженные гильзы (рис. 3-1-1) соединить проводником, то электроны (избыточные) с отрицательной гильзы быстро перетекут на положительную. В соединительном проводнике возникает кратковременный, направленный ток электронов, который сразу же прекратится, как только выравнится разность положительных и отрицательных зарядов на гильзах.

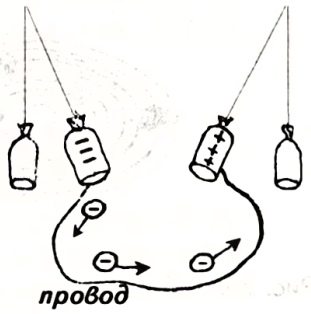


Рис. 3-1-1

Как в проводнике поддержать длительное (непрерывное) движение зарядов? Очевидно, для этого на одном его 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. 3-1-2), а к другому концу - положительный шарик.

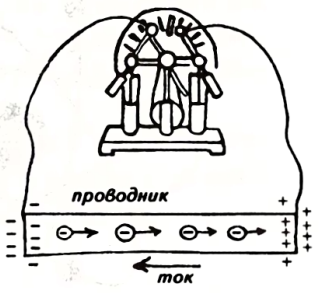


Рис. 3-1-2

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!”

Теперь электроны из 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 же тока условно принято направление движения положительно заряженных час-



Рис. 3-1-3

тиц. Значит, направление движения электронов и отрицательных ионов противоположно принятому направлению тока.

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

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 Ампер - это 1 Кулон в секунду.

Задание 3-1-1.

По электрической лампе освещения течет ток в 1 А. Сколько электронов проходит через ее спираль за одну секунду?

§ 3-2. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ВЕЩЕСТВ ЗАВИСИТ ОТ НАЛИЧИЯ В НИХ СВОБОДНЫХ ЗАРЯДОВ

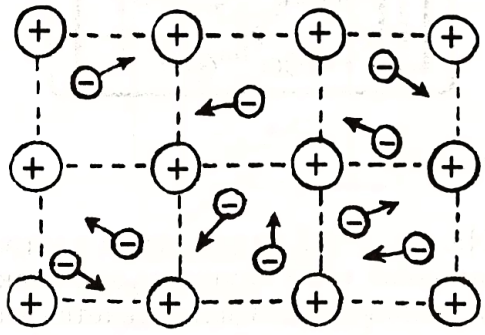
Проводники - это вещества, в которых много свободно перемещающихся зарядов, которые, двигаясь направленно, могут создать ток.

Хорошими проводниками являются металлы. Особенно серебро, медь, золото, алюминий. Они имеют кристаллическое строение (рис. 3-2-1, 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. 3-2-1, 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 отри-

а) Электрического поля нет, электроны движутся беспорядочно



I=0

б) Под действием электрического поля электроны пришли в направленное движение и создали ток

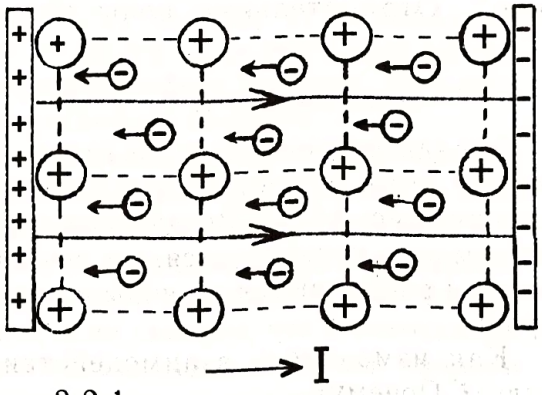


Рис. 3-2-1

цательный ион хлора Cl^-. Процесс распада вещества на ионы называется электролитической диссоциацией. Происходит это потому, что вода в 81 раз ослабляет действие электрических сил притяжения между ионами молекулы вещества.

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

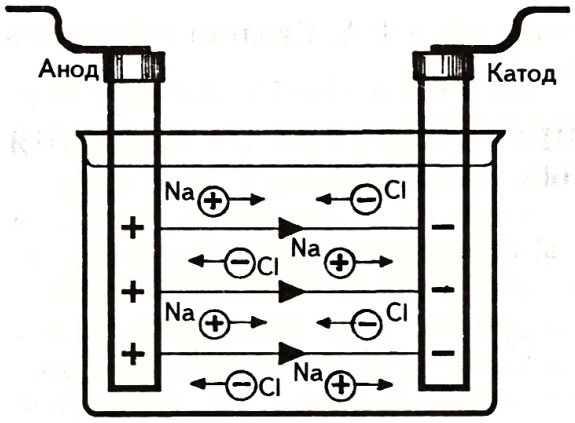


Рис. 3-2-2

На рис. 3-2-2 видим, 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, что означает "идущий вниз, по течению". Отрицательные ионы хлора движутся против поля (тока) и поэтому называются анионами - "идущими вверх, против течения".

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

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. Газы как проводники используются в лампах дневного света и в рекламных газонаполненных трубках.

Диэлектрики (или изоляторы) - это вещества, в которых нет (точнее, очень мало) свободных зарядов. Поэтому они не проводят тока. Хорошими диэлектриками являются 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.

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 3-2-1.

Зарядите одноименно две гильзы и между ними поместите зажженную спичку (рис. 3-2-3). Воздух под действием огня ионизируется, т.е. его молекулы распадаются на ионы и электроны.

Как изменилось взаимодействие гильз? Почему?

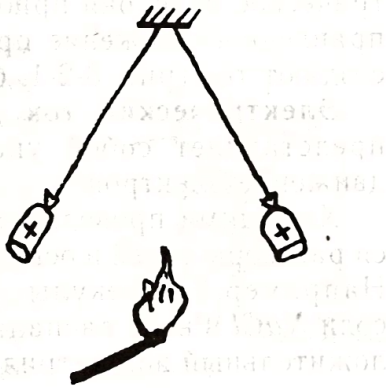


Рис. 3-2-3

§ 3-3. 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 (рис. 3-3-1). При этом их первоначально запасенная энергия (она называется потенциальной) уменьшается.

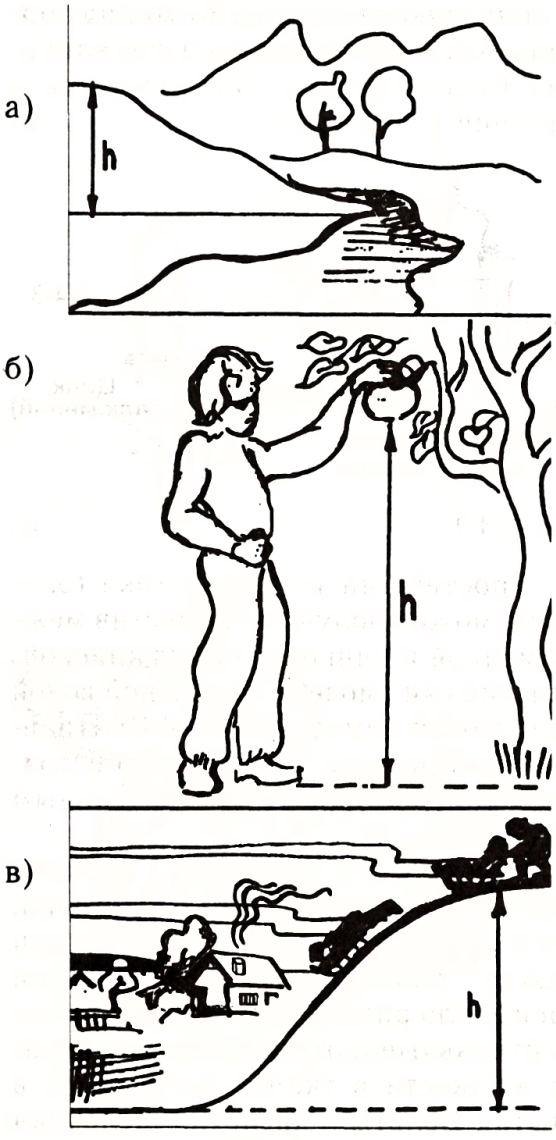


Рис. 3-3-1

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.

Существуют разнообразные источники тока, но во всех их разновидностях происходит разделение зарядов на положительные и отрицательные (рис. 3-3-2). Но собрать вместе одноименные заряды не так-то просто, потому что они отталкиваются друг от друга. Для этого приходится совершить работу, конечно, затратив определенную энергию.

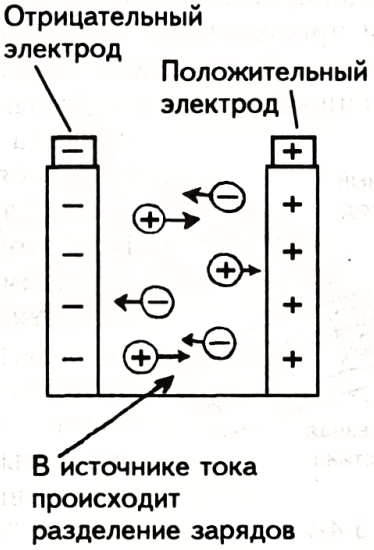


Рис. 3-3-2

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.

§ 3-4. 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. 3-4-1). Гальвани проволочным крючком из меди (чтобы не брать рукой) зацепил за кусок спинного мозга и другим концом провода нечаянно коснулся железной пластины. При этом мышцы лягушачьей ноги сократились, как от электрического разряда. Он ошибочно подумал, что в мышцах лягушки вырабатывается "животное электричество".



Рис. 3-4-1

Опытами Гальвани заинтересовался итальянский физик **Алессандро Вольта** (1745 - 1827), который обратил внимание на присутствие двух разнородных металлов в опытах Гальвани. Он на свой язык положил серебряную монету и кончиком языка коснулся металлической пластины. Когда монету и пластину соединил куском провода, ощутил кисловатый вкус.

В 1800 году после многочисленных экспериментов Вольта изобрел источник тока, названный впоследствии "Вольтов столб". Он состоял из нескольких десятков цинковых и медных кружочков, переложенных смоченными в растворе поваренной соли картонными кружочками. Когда Вольта одной рукой коснулся нижней медной пластины, а другой - верхней цинковой, то испытал сильный электрический удар!

На рис. 3-4-2 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.

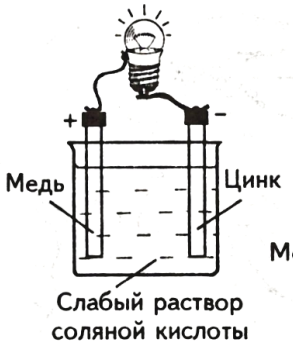
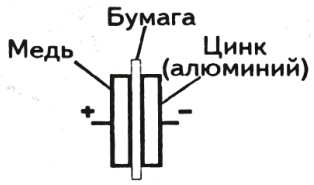


Рис. 3-4-2

Рис. 3-4-3



Простейший источник тока (элемент) можно получить, поместив между медной и цинковой (алюминиевой) пластинами смоченную соленой водой или слюной бумагу (рис. 3-4-3). 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, играли жидкости в тканях лягушки, а в опытах Вольты - кислотно-щелочная среда слюны.

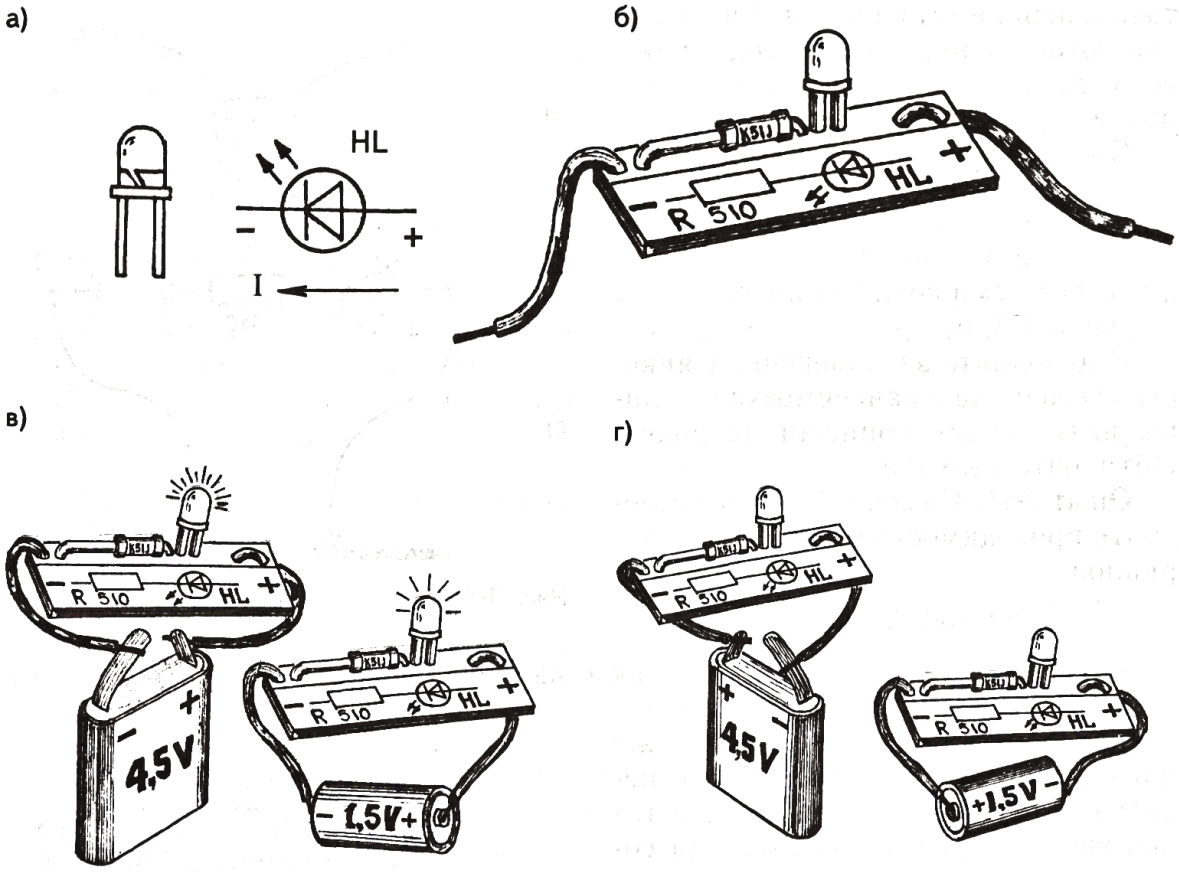
Задание 3-4-1.

Ознакомьтесь со светодиодом.

1. Светодиод (рис. 3-4-4, а) - это очень чувствительный прибор, который светится уже при силе тока 0,2 мА. Чтобы случайно не сжечь его чрезмерно большим током, он установлен в цепочку с ограничителем тока - резистором (рис. 3-4-4, б). Светодиод пропускает ток и светится только при правильном включении: "+" к плюсу источника, а "—" - 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. 3-4-4, в, г).

Внимание. Будьте осторожны в обращении со светодиодом, он еще не раз пригодится Вам в дальнейших исследованиях. Не подключайте его к источникам тока, дающим более 4,5 В.



Светодиод пропускает ток и светится

Светодиод ток не пропускает

Рис. 3-4-4

Задание 3-4-2.

Убедитесь на опытах в чувствительности светодиода как индикатора тока.

Опыт №1. Стержень карандаша, сделанный из графита, является хорошим проводником. Соберите цепь по рис. 3-4-5, а и убедитесь в этом.

Опыт №2. Свободные оголенные концы проводников а и б опустите в стакан с дистиллированной водой (рис. 3-4-5, 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 и кислот 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. 3-4-5, в).

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

Опыт №4. Самостоятельно исследуйте проводимость различных материалов.

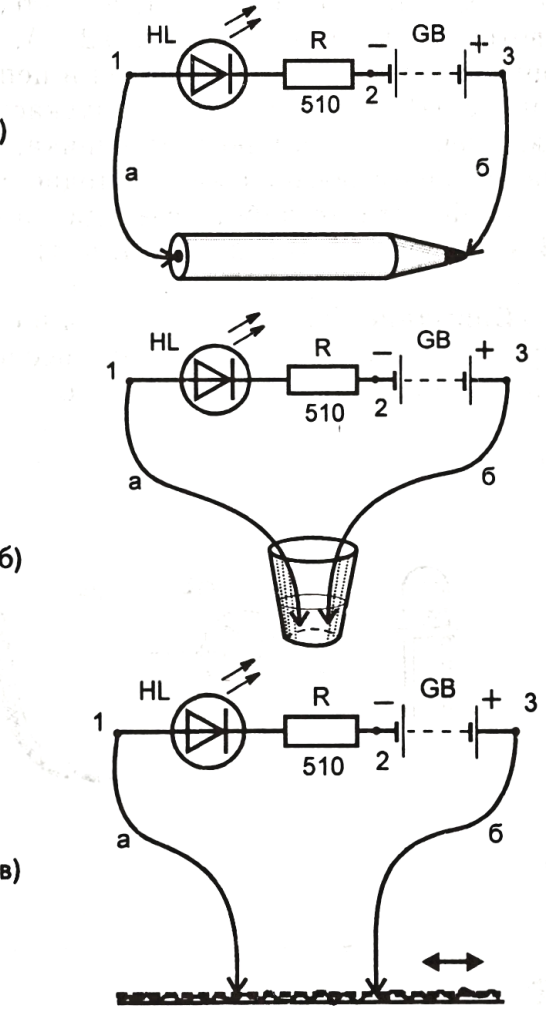


Рис. 3-4-5

Задание 3-4-3.

Изготовьте самодельный источник тока типа "Вольтов столб" (рис. 3-4-6).

1. Возьмите медные пластины (можно медные монеты) и такие же цинковые (можно алюминиевые) переложите их листочками бумаги таких же размеров, пропитанными соленым раствором (или слюной).

2. Подключите к крайним пластинам светодиод. Свечение светодиода заметно уже при батарее из трех элементов. Но лучше всего их число довести до 8-10 шт.

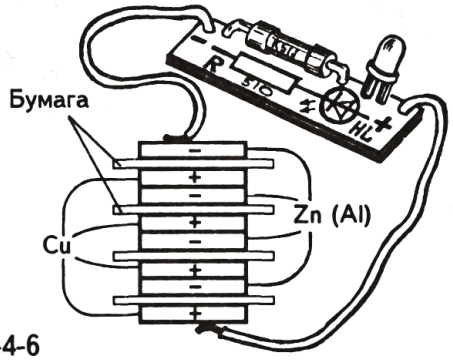


Рис. 3-4-6

Лампа накаливания от этого источника светить не будет, но светодиод может светиться несколько часов непрерывно.

3. Исследуйте достоинства различных разнородных пар пластин и растворов в "Вольтовом столбе".

§ 3-5. 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.

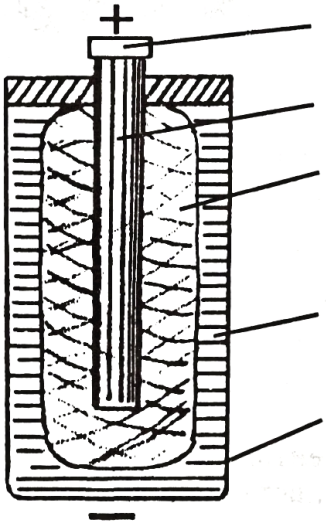
На рис. 3-5-1 показано их схематическое устройство.

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, 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 одноразового использования. Но бывают аккумуляторные элементы, которые можно многократно перезаряжать. Они называются вторичными элементами.



латунная крышка, положительный вывод

угольный стержень

смесь двуокиси марганца MnO_2 и размельченного углерода C, положительный электрод "+"

электролит, желеобразный раствор хлористого аммония NH_4Cl

цинковый стакан (корпус), отрицательный электрод "−"

Рис. 3-5-1

Глава 4

Электродвижущая сила. Потенциал. Напряжение

§ 4-1. ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИЛА - ЭТО СПОСОБНОСТЬ ИСТОЧНИКА ТОКА СОЗДАВАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Для характеристики способности источника тока создавать электрический ток Вольта ввел понятие об "электродвижущей силе", которую мы в дальнейшем будем сокращенно называть ЭДС и обозначать латинской буквой E (читается "е").

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

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

$$E = \frac{A}{q},$$

где E - ЭДС, В,
q - заряд, Кл,
A - работа источника по перемещению зарядов.

Работа измеряется в Дж (джоуль); в гальванических элементах, аккумуляторах эту работу совершает химическая энергия.

ЭДС источников питания наносится на их корпусах. Для увеличения ЭДС элементы соединяются в батареи. Например, источник питания, известный в быту чаще всего под названием "квадратная батарея", состоит из трех элементов и имеет ЭДС 4,5 В.

На рис. 4-1-1 показаны условные обозначения и внешний вид элемента (а) и батареи (б).

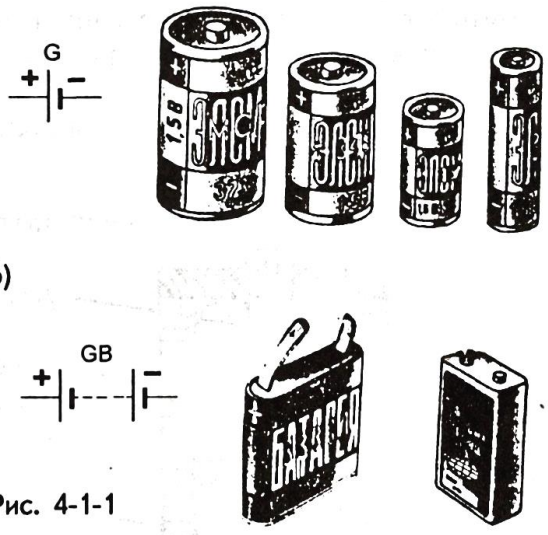


Рис. 4-1-1

Задание 4-1-1.

Составьте батарею из самодельных элементов.

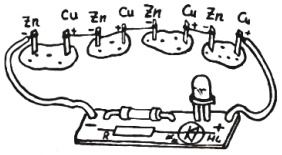
1. Изготовьте элементы из 5-6 картофелин, вставив в них медные и цинко-

вые (или алюминиевые) пластины. Медь является положительным электродом "+", цинк - отрицательным "—".

2. Надежно соедините разноименные электроды элементов проводами, как показано на рис. 4-1-2, а, б, и, подключив к свободным выводам светодиод, наблюдайте его свечение.

3. Проведите аналогичные исследования с другими корнеплодами и овощами.

а)



б)

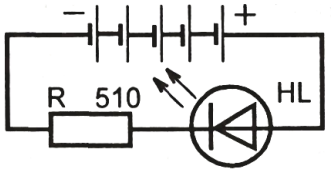


Рис. 4-1-2

§ 4-2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ - ХАРАКТЕРИСТИКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Всякая работа совершается под действием каких-то сил за счет какой-то энергии. В механике работа вычисляется формулой

$$A = FS \ ,$$

где A - работа, Дж (джоуль),
F - сила, Н (ньютон),
S - перемещение, м.

Вокруг Земли (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 м/с^2, ускорение свободного падения) совершают работу $A = mgh$ за счет потенциальной энергии W_P.

Любое заряженное тело создает вокруг себя электрическое поле, которое убывает по мере удаления от него. Например, если в поле заряда $+Q$ (рис. 4-2-1) помещен заряд $+q$ сначала в точку А, а потом в точку В, то в первой точке он обладает большей потенциальной энергией взаимодействия с зарядом Q, чем во второй.

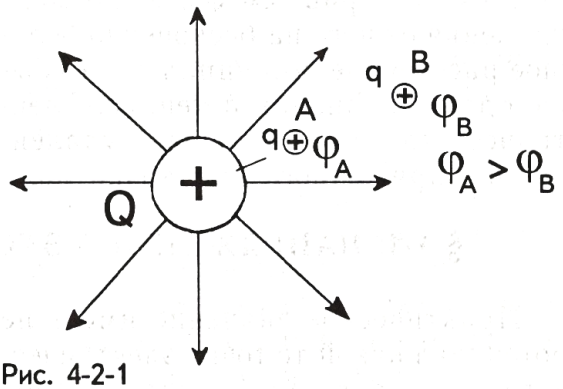


Рис. 4-2-1

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:

$$\varphi = \frac{W_P}{q} \ ,$$

где φ - потенциал электрического поля, измеряется в вольтах (В), как и ЭДС,
W_P - энергия заряда в данной точке, Дж,
q - заряд, Кл.

Если бы между точками А и В была проводящая среда, то под действием электрической силы положительные заряды переместились бы в сторону уменьшения потенциала (к т. В), а отрицательные - в сторону повышения (к т. А).

§ 4-3. НУЛЕВОЙ ПОТЕНЦИАЛ - ЭТО ПОТЕНЦИАЛ ЗЕМЛИ

Высоту санок на горе удобно отсчитывать от уровня низины, молота - от уровня наковальни, летящей птицы - от уровня 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.

Если потенциал электрического поля тела, имеющего заряд Q (рис. 4-2-1), считать равным φ_Q, 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. Она имеет огромный запас зарядов обоих знаков, что позволяет ее потенциал считать постоянным.

По сравнению с нулевым потенциалом Земли у положительно заряженных тел потенциал положительный, у отрицательно заряженных - отрицательный (рис. 4-3-1).

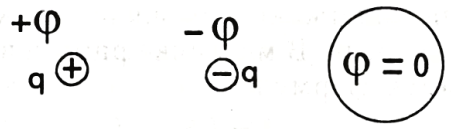


Рис. 4-3-1

§ 4-4. 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 (у). Напряжение, как и 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 к этому заряду.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}\ , \text{ где}$$

U - напряжение, В,
$\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов, В,
A - работа, Дж,
q - заряд, Кл.

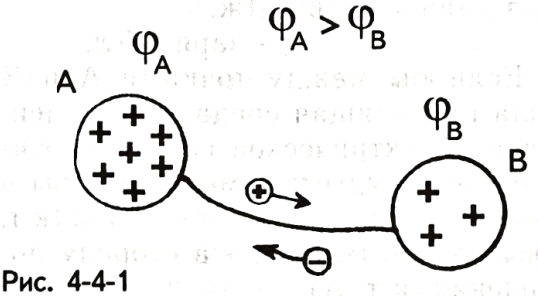


Рис. 4-4-1

Пусть имеются две одинаковые металлические сферы A и B (рис. 4-4-1) 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. На самом деле здесь происходит перемещение электронов от тела B к телу A.

Глава 5

Электрическая цепь. Сопротивление. Закон Ома. Измерение силы тока, напряжения, ЭДС

§ 5-1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ - ЭТО ПУТЬ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Источник тока, потребитель электрической энергии (нагрузка) и соединяющие их провода образуют электрическую цепь. Для упрощения чертежа электрических цепей используют условные графические обозначения (знаки). Например, на рис. 5-1-1 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.

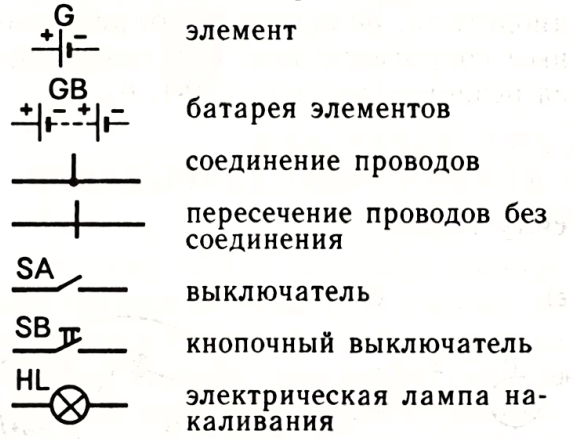
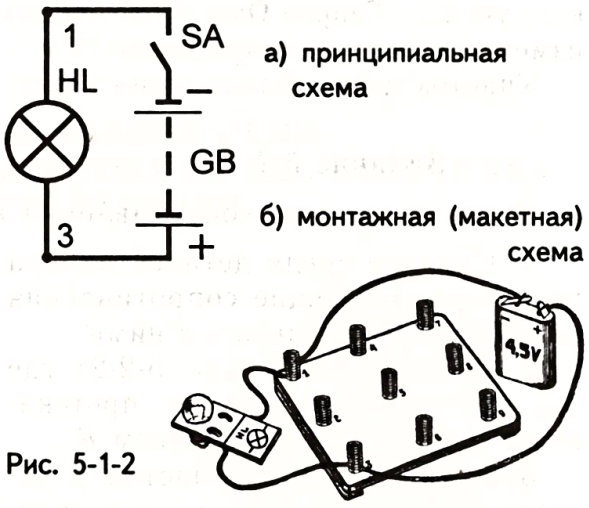


Рис. 5-1-1

Принципиальная схема (рис. 5-1-2, а) - это упрощенный чертеж электрической цепи, где ее элементы изображены условными знаками.

Монтажная (макетная) схема (рис. 5-1-2, б) - это схема расположения элементов цепи на макетной плате.



а) принципиальная схема

б) монтажная (макетная) схема

Рис. 5-1-2

Задание 5-1-1.

Познакомьтесь с правилами сборки электрических цепей (рис. 5-1-2).

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

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

3. Во всех конструкциях источник тока подключают в последнюю очередь.
4. Все изменения в схеме производят при отключенном питании.
5. Собранную цепь включают только на время изучения работы схемы.
6. Помните, что даже случайные короткие замыкания проводом вывода "+" батареи с выводом "−" могут вывести ее из строя.

Задание 5-1-2.

Изучите работу простейшей электрической цепи.

1. Соберите электрическую цепь по принципиальной и монтажной схемам, показанным на рис. 5-1-2.
2. Замыкая и размыкая провода в различных местах цепи, сделайте вывод о том, что ток течет (лампа светится) только при замкнутой цепи.

§ 5-2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ - ЭТО ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРОВОДНИКА ДВИЖЕНИЮ 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. 5-2-1, а) и обозначается латинской буквой R (от слова resistans - сопротивление).

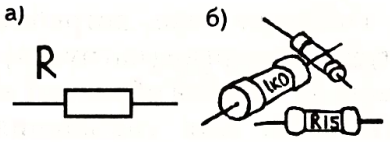


Рис. 5-2-1

Изготавливаются специальные радиодетали, обладающие определенным сопротивлением, они называются резисторами (рис. 5-2-1, б).

Задание 5-2-1.

Изучите влияние сопротивления на силу тока.

1. Найдите среди деталей набора резисторы, имеющие сопротивления до 56 Ом. Ознакомьтесь с ними.
2. Соберите цепь (рис. 5-2-2), где ток, поступающий в лампу, протекает по участку сопротивлением R.
3. Включая вместо участка R поочередно резисторы по мере возрастания их сопротивлений (например, 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом, 51 Ом), следите за яркостью лампы. Чем меньше яркость, тем меньше сила тока.

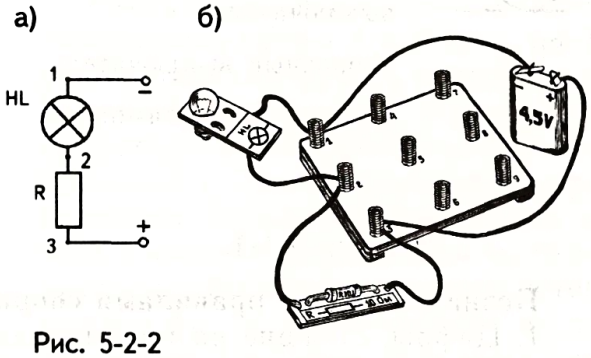


Рис. 5-2-2

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

§ 5-3. 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 по-другому называют напряжением, то по нему течет ток I (рис. 5-3-1).

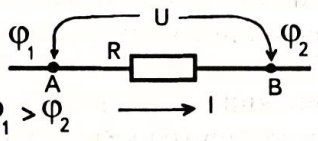


Рис. 5-3-1

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 5-3-1.

На цоколе лампы накаливания обычно указывают рабочие (номинальные) значения напряжения и силы тока. По этим данным вычислите номинальное сопротивление лампы.



Рис. 5-3-2

Дано:
$U=$
$I=$
R-?

Решение:

§ 5-4. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ ПОКАЗЫВАЕТ ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ ЭДС ИСТОЧНИКА И ОБЩЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ.

На рис. 5-4-1 показана полная электрическая цепь. Она состоит из источника тока и потребителя тока (лампы). Полная (замкнутая) цепь состоит из двух участков: внутреннего и внешнего. На внутреннем участке цепи неэлектрическая (в данном случае химическая) энергия производит работу по разделению разноименных зарядов. На одном электроде создается положительный (высший) потенциал "+", а на другом - отрицательный (низший) потенциал "−".

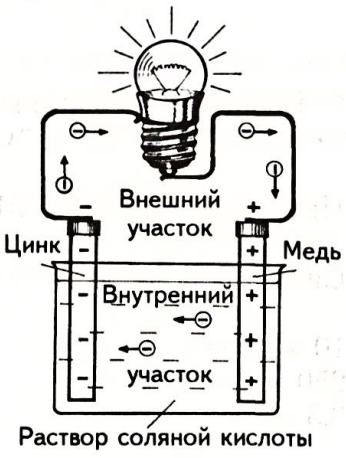


Рис. 5-4-1

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

При подключении к источнику внешней цепи (на рис. 5-4-1 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

$$I = \frac{E}{R + r},$$

где I - сила тока, А,

E - ЭДС, В,

$R + r$ - полное сопротивление цепи, Ом.

Задание 5-4-1.

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

Сила тока	Напряжение
1 микроампер - 1 мкА=10^{-6} А	1 микровольт - 1 мкВ=10^{-6} В
1 миллиампер - 1 мА=10^{-3} А	1 милливольт - 1 мВ=10^{-3} В
1 килоампер - 1 кА=10^{3} А	1 киловольт - 1 кВ=10^{3} В
1 мегаампер - 1 МА=10^{6} А	1 мегавольт - 1 МВ=10^{6} В

Сопротивление

1 микроом - 1 мкОм =10^{-6} Ом

1 миллиом - 1 мОм =10^{-3} Ом

1 килоом - 1 кОм =10^{3} Ом

1 мегаом - 1 МОм =10^{6} Ом

2. Выразите указанные ниже значения силы тока, напряжения и сопротивления в "А", "В" и "Ом".

Например: 91 МВ = 91$\times 10^{6}$ В = 91 000 000 В.

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 =

§ 5-5. ЧЕЛОВЕК - ПРОВОДНИК ТОКА

Выполняя исследования задания 3-4-2, мы убедились, что водные растворы солей (кислот) являются хорошими проводниками электрического тока. Так как ткани организмов живых существ большей частью состоят из воды, они тоже являются проводниками. Вспомните опыты Гальвани (§ 3-4) с лягушкой, которые натолкнули А. Вольту на изобретение химического источника тока.

Человеческое тело не является исключением. Если человек оказывается под напряжением, то через него проходит электрический ток. Запомните три значения силы тока:

- безопасным можно считать ток до 0,01 А (10 мА);
- ток силой 0,05 А (50 мА), проходящий через организм человека, опасен для жизни!
- ток силой 0,1 А (100 мА) может привести к смерти!

Степень поражения током зависит от сопротивления человеческого тела, которое в нормальном состоянии (здоровый организм, сухая кожа) может быть больше 100000 Ом. Но в особо неблагоприятных условиях (болезнь, сильное потение, влажное или мокрое тело, открытые раны на теле, большая площадь соприкосновения с токонесущими деталями и т.д.) сопротивление человека может снизиться до 500 Ом! Например, пусть сопротивление человека составляет 1000 Ом. Используя закон Ома, вычислим опасное напряжение:

$$U=IR = 0{,}05\ \text{А} \times 1000\ \text{Ом} = 50\ \text{В}$$

Видите, даже напряжение 50 В может быть опасным для жизни!

Обратите внимание на то, что мы во всех наших опытах пользуемся источником питания с безопасным для организма напряжением 4,5 В.

§ 5-6. КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ ВНЕШНЕЙ ЦЕПИ ОПАСНО ДЛЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

В задании 5-1-1 мы предупреждали, что замыкание выводов батареи друг с другом выводит ее из строя. Почему? Потому что при этом сопротивление внешнего замыкающего участка почти равно нулю: R=0. Тогда в цепи остается только внутреннее сопротивление r самого источника, которое мало и чаще всего бывает меньше 1 Ом.

Согласно $$I = \frac{E}{0+r} = \frac{E}{r}$$

по источнику идет непомерно большой ток, который разрушает электроды.

Задание 5-6-1.

Подсчитайте, какой силы ток потечет по батарее с ЭДС E=4,5 В и внутренним сопротивлением r=0,5 Ом при коротком замыкании ее электродов? Для сравнения: ток в электрических утюгах, плитках составляет 2-3 А.

Дано:
E=4,5 В
r=0,5 Ом
R=0
I=?

Решение:

§ 5-7. АМПЕРМЕТР - ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА, ВОЛЬТМЕТР - ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Амперметр (рис. 5-7-1) предназначен для измерения силы тока, а вольтметр (рис. 5-7-2) - напряжения.

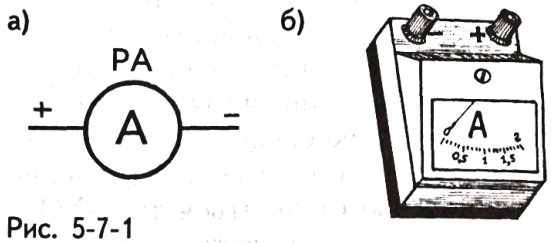


Рис. 5-7-1

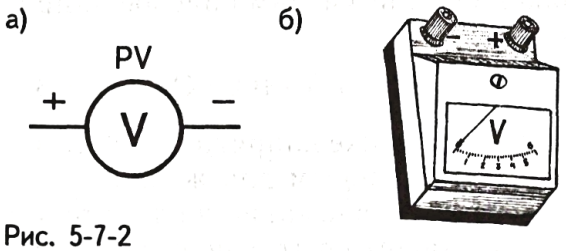


Рис. 5-7-2

Амперметр имеет малое сопротивление (меньше 1 Ом), и его включают в разрыв цепи, где нужно измерить силу тока (рис. 5-7-3). Весь ток, текущий по участку R, проходит через амперметр.

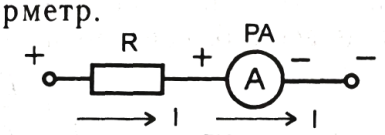


Рис. 5-7-3

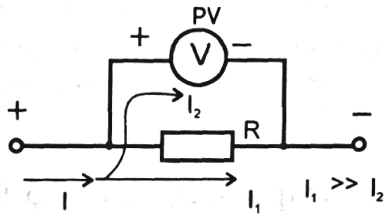


Рис. 5-7-4

Вольтметр имеет большое сопротивление (несколько тысяч Ом) и включается к концам измеряемого участка без его разрыва (рис. 5-7-4). Через него протекает только малая часть тока, идущего по участку R.

На рис. 5-7-5 приведены шкалы школьных амперметра и вольтметра. Определим их пределы измерения и цены деления.

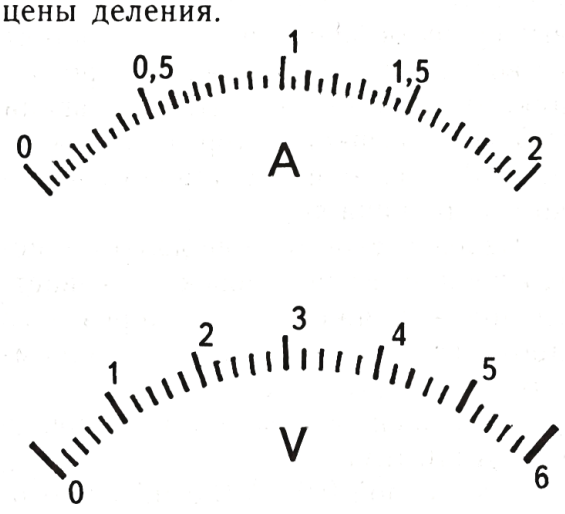


Рис. 5-7-5

Предел измерения измерительного прибора - это наибольшее значение измеряемой величины. Например (рис. 5-7-5, а), амперметром можно измерить силу тока до 2 А, а вольтметром (рис. 5-7-5, б) - напряжение до 6 В.

Цена деления прибора - это значение измеряемой величины, соответствующее одному делению прибора. Она определяется так:

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

Цена деления приборов, изображенных на рис. 5-7-5:

амперметра: $\frac{1\text{A}}{20\text{дел.}} = 0{,}05\frac{\text{A}}{\text{дел.}}$;

вольтметра: $\frac{1\,В}{5\,дел.} = 0{,}2\frac{В}{дел.}$.

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

Они обозначают:

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

- электромагнитный прибор с механической противодействующей силой;

- прибор предназначен для измерения постоянного тока, т.е. тока, текущего по цепи только в одном направлении; например, ток от элемента, батареи, аккумуляторов, у которых один электрод всегда "+", другой "—".

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

- прибор для измерения постоянного и переменного токов;

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

- рабочее положение прибора вертикальное;

- рабочее положение прибора под углом 30°.

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

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

Задание 5-7-1.

1. Посмотрите на используемые вами 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 рисунке 5-7-6.

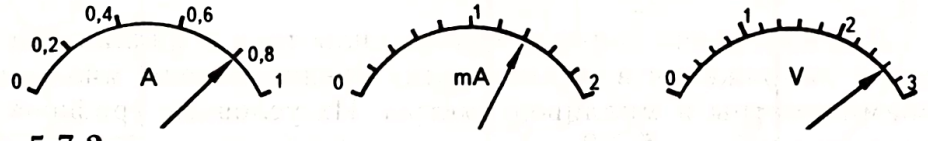


Рис. 5-7-6

Задание 5-7-2.

1. Измерьте силу тока в лампе (рис. 5-7-7, а).
2. Измерьте напряжение батареи элементов (рис. 5-7-7, б).

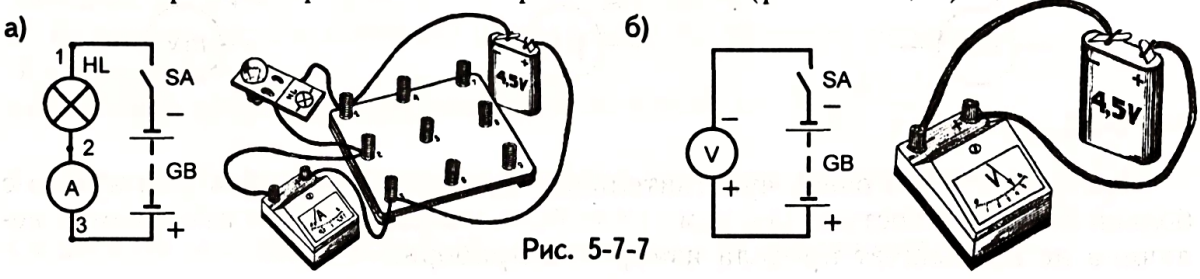


Рис. 5-7-7

Задание 5-7-3.

Измерьте силу тока, напряжение и сопротивление.

1. Соберите цепь по принципиальной и монтажной схемам (рис. 5-7-8) и измерьте амперметром силу тока I в амперах, вольтметром напряжение U в вольтах и запишите в "Дано". На основании закона Ома вычислите сопротивление лампы.

Дано:

I=

U=

R-?

Решение:

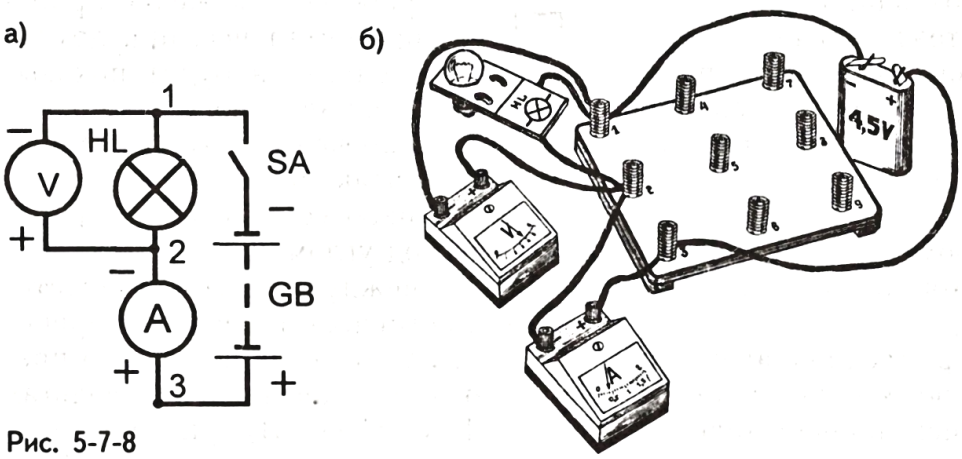


Рис. 5-7-8

2. Сравните экспериментально найденное сопротивление лампы с сопротивлением, вычисленным по номинальным значениям тока и напряжения, указанным на цоколе лампы (задание 5-3-1). Они могут не совпасть, потому что сопротивление спирали лампы зависит от силы тока в ней, т.е. степени нагретости лампы. Чем сильнее нагрета спираль лампы, тем больше ее сопротивление.

Задание 5-7-4.

Вольтметром измерьте ЭДС самодельных элементов, используемых в заданиях 3-4-3 и 4-1-1.

Для измерения дольных единиц силы тока в миллиамперах и микроамперах и напряжения в милливольтах предназначены миллиамперметры, микроамперметры и милливольтметры. Их условные графические обозначения показаны на рис. 5-7-9.

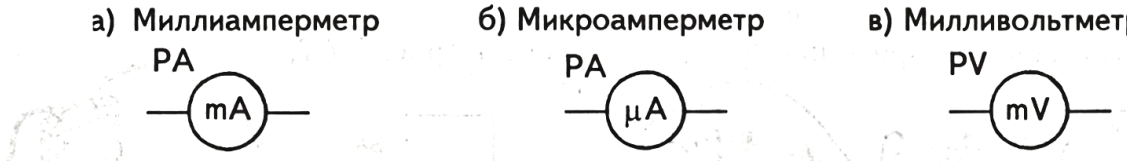


Рис. 5-7-9

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.

§ 5-8. ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

На рис. 5-8-1 собрана электрическая схема, состоящая из внутреннего (внутри источника питания) участка сопротивлением r и внешнего участка сопротивлением R.

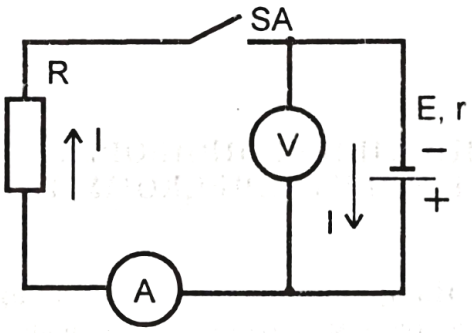


Рис. 5-8-1

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: $E=IR+Ir=U_1+U_2$, где:

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

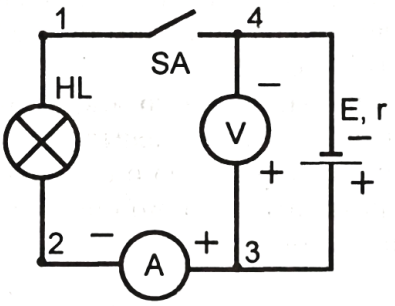
$U_2=Ir$ -часть ЭДС, приходящаяся на внутренний участок источника питания сопротивлением r.

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

Задание 5-8-1.

Определите ЭДС и внутреннее сопротивление элемента.

а)



б)

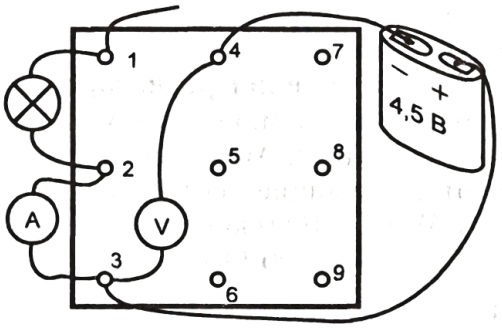


Рис. 5-8-2

1. Определите ЭДС E элемента по показанию вольтметра при отключенной внешней цепи.
2. Включите цепь и измерьте напряжение на внешнем участке.
3. Определите внутреннее сопротивление элемента по формуле $r=\dfrac{E-U}{I}$.
4. Определите ток короткого замыкания элемента по формуле $I_{КЗ}=\dfrac{E}{r}$.

Объясните опасность короткого замыкания для источников тока.

Глава 6

Резисторы

§ 6-1. 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 (рис. 6-1-1, а), т.е. обладать неизменным сопротивлением, и переменными, т.е. такими, сопротивления которых в процессе работы можно изменять в определенных пределах (рис. 6-1-1, б, в).

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

1 МОм = 1000 кОм = 1 000 000 Ом;

1 кОм = 1000 Ом.

На принципиальных схемах рядом с условным обозначением резистора проставляют значение его сопротивления. Сопротивление менее килоома записывают как число без единиц измерения (рис. 6-1-2, а); сопротивления от одного килоома и выше, но менее одного мегаома, выражают в килоомах и рядом с цифрой ставят букву "к" (рис. 6-1-2, б); сопротивления от одного мегаома и выше записывают как число, добавляя рядом букву "М" (рис. 6-1-2, в).

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

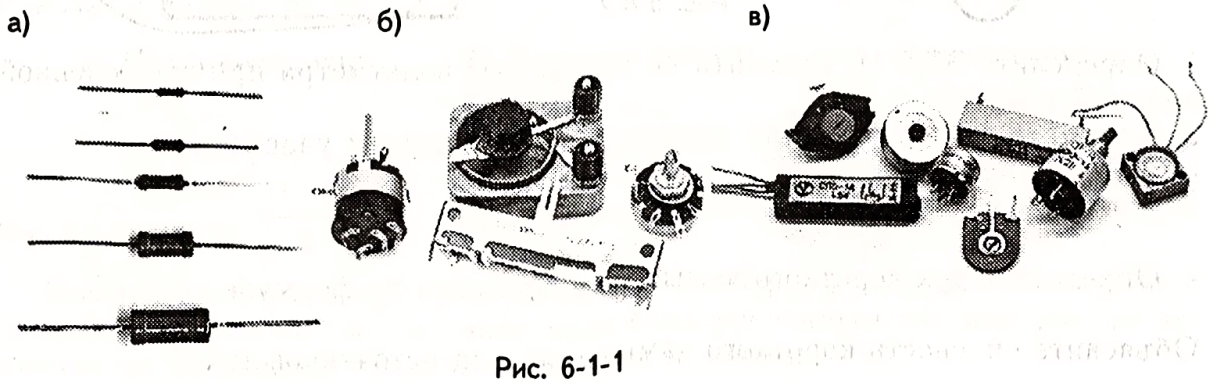


Рис. 6-1-1

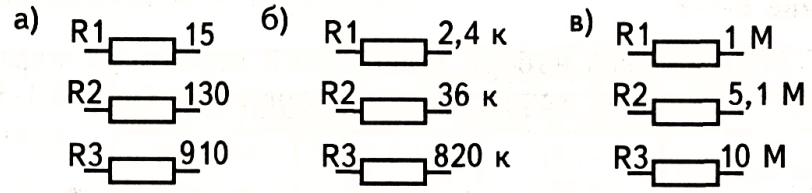


Рис. 6-1-2

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,

47К - 47 кОм = 47 000 Ом,

10 М - 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,

К27 - 0,27 кОм = 270 Ом,

М82 - 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,

3К3 - 3,3 кОм = 3300 Ом,

1М5 - 1,5 МОм = 1500 кОм = 1 500 000 Ом.

Допустимые отклонения сопротивления (допуск) указаны в таблице:

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

Табл. 6-1-1

Задание 6-1-1.

Познакомьтесь с примерами расшифровки маркировок.

Табл. 6-1-2

Маркировка	Означает
R24F	0,24 Ом ± 1%
К33К	0,33 кОм ± 10%
М91G	0,91 МОм ± 2%
2R4G	2,4 Ом ± 2%
3К3F	3,3 кОм ± 1%

Маркировка	Означает
9М1N	9,1 МОм ± 30%
24RJ	24 Ом ± 5%
33КК	33 кОм ± 10%
91ММ	91 МОм ± 20%

Задание 6-1-2.

1. Найдите среди деталей набора резисторы и изучите их маркировку.
2. Расшифруйте надписи, нанесенные на резисторах (рис. 6-1-3).

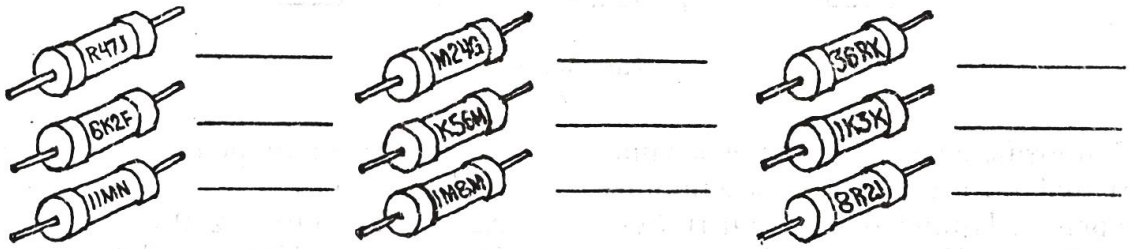


Рис. 6-1-3

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

5,1 кОм ± 5% _____
33 Ом ± 10% _____
43 кОм ± 5% _____
0,18 МОм ± 1% _____
0,33 кОм ± 20% _____
4,7 Ом ± 1% _____
2,0 Ом ± 2% _____
10 МОм ± 30% _____
16 кОм ± 2% _____

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 рисуют в 1,5 - 2 раза крупнее остальных.

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

Для облегчения запоминания порядка следования цветов в таблице предлагаем присказку, первые буквы слов которой совпадают с первыми буквами цветов:

Сами
Знаете
Что
Конечно
Каждый
Охотник
Желает
Знать
Где
Фазан
Серый
Белый.

Цветовая маркировка резисторов.

Табл. 6-1-3

Цвет знака	Значение цвета знака				
	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %
	первая цифра	вторая цифра	третья 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	± 0,25
Фиолетовый	7	7	7	10^7	± 0,1
Серый	8	8	8	10^8	± 0,05
Белый	9	9	9	10^9	–

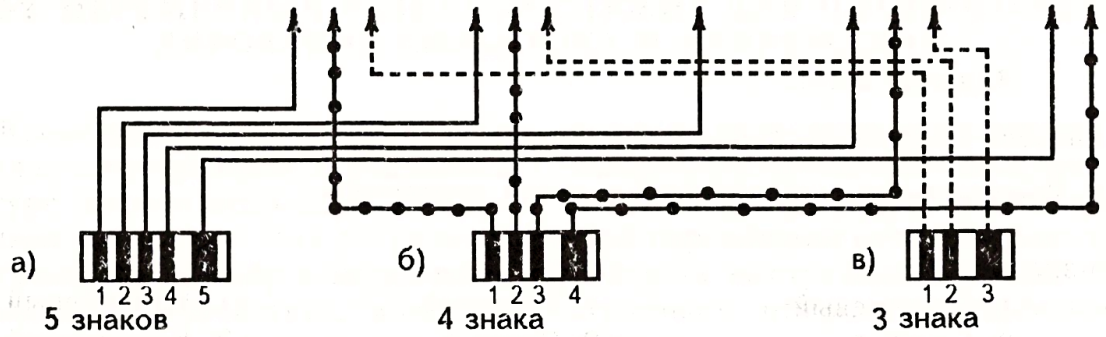


Рис. 6-1-4

Число знаков может быть 5, 4 или 3.

Если знаков 5, то они читаются так (рис. 6-1-4, а):

первый знак - первая цифра номинального значения сопротивления,

второй знак - вторая цифра номинального значения сопротивления,

третий знак - третья цифра этой величины,

четвертый знак - множитель, на который нужно умножить полученное трехзначное число,

пятый знак - допустимое отклонение.

Если знаков 4, то они означают (рис. 6-1-4, б):

первый знак - первую цифру зна-

чения сопротивления,

второй знак - вторую цифру,

третий знак - множитель,

четвертый знак - допустимое отклонение сопротивления.

Примечание: цифра столбца №4 (третья цифра) не используется.

Три знака наносят на резисторы с допусками 20% и более, которые не маркируются. Знаки обозначают (рис. 6-1-4, в):

первый знак - первую цифру значения сопротивления,

второй знак - вторую цифру,

третий знак - множитель.

Примечание: не используется 4-ый столбец (третья цифра) и 6-ой столбец (допуск).

Задание 6-1-3.

Познакомьтесь с примером расшифровки цветовых кодов.

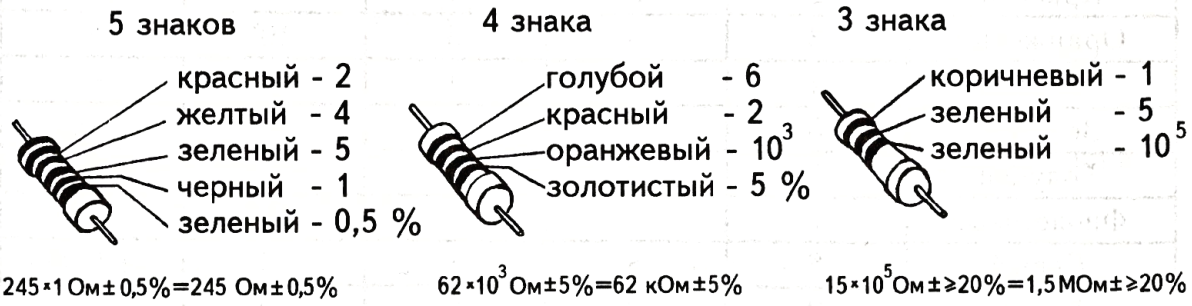


Рис. 6-1-5

Задание 6-1-4.

Учитесь пользоваться цветовым кодом.

1. Расшифруйте маркировочные знаки резисторов

5 знаков:

1. Оранжевый	1. Красный	1. Коричневый
2. Голубой	2. Черный	2. Коричневый
3. Красный	3. Зеленый	3. Красный
4. Оранжевый	4. Золотистый	4. Черный
5. Коричневый	5. Зеленый	5. Фиолетовый

4 знака.

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

3 знака.

1. Оранжевый	1. Оранжевый	1. Оранжевый
2. Оранжевый	2. Оранжевый	2. Черный
3. Черный	3. Оранжевый	3. Зеленый

2. Зашифруйте номиналы резисторов цветовым кодом:

149 Ом±1%	2,7 кОм±10%	10 Мом±20%
1._____	1._____	1._____
2._____	2._____	2._____
3._____	3._____	3._____
4._____	4._____	
5._____		

Задание 6-1-5.

Изучите влияние сопротивления резистора на силу тока по показанию амперметра, включенного в цепь питания лампы. Вместо участка *R* поочередно включайте 3-4 резистора по мере возрастания их сопротивлений от нескольких Ом до нескольких десятков Ом.

Монтажную схему составьте самостоятельно, пользуясь указанными на электрической схеме (рис. 6-1-6) номерами контактов.

Сделайте вывод по наблюдаемому явлению.

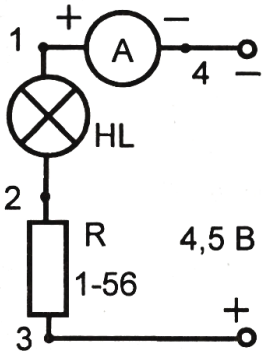


Рис. 6-1-6

§ 6-2. ПЕРЕМЕННЫЙ РЕЗИСТОР СЛУЖИТ ДЛЯ ПЛАВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Кроме резисторов, имеющих неизменное сопротивление, в радиоаппаратуре широко используются переменные резисторы. Ими регулируется громкость и тембр в звуковоспроизводящих устройствах, контрастность и яркость в телевизорах и т.д. Они бывают регулировочные (рис. 6-1-1, б) и подстроечные (рис. 6-1-1, в).

Переменные резисторы имеют три вывода, один из которых связан с подвижным контактом, скользящим по поверхности проводящего слоя (рис. 6-2-1). Движок регулировочного резистора перемещают рукой посредством поворота выступающей ручки, подстроечного - отверткой, вставленной в прорезь.

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

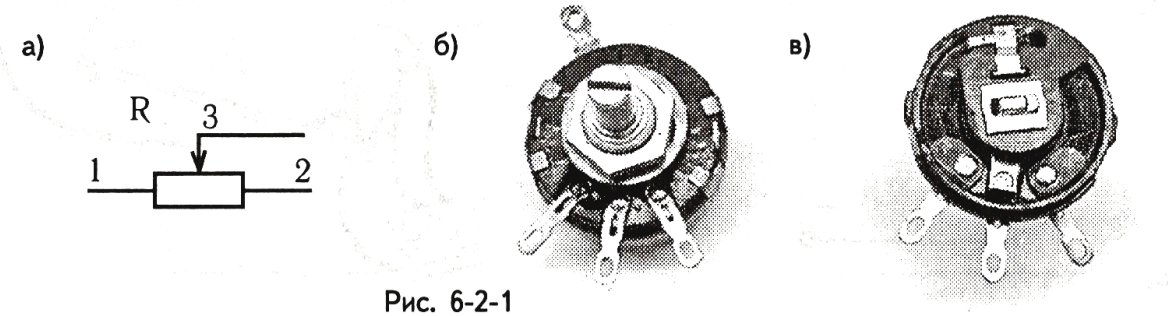
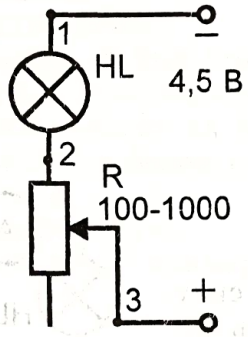


Рис. 6-2-1

Задание 6-2-1.

1. Вращая ручку переменного резистора (меняя его сопротивление), следите за яркостью лампы (рис. 6-2-2).

а)



б)

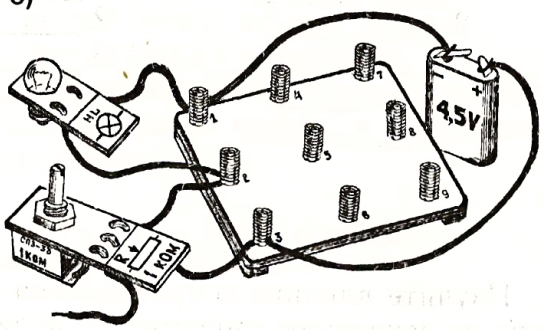


Рис. 6-2-2

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

3. По результатам исследований сделайте вывод.

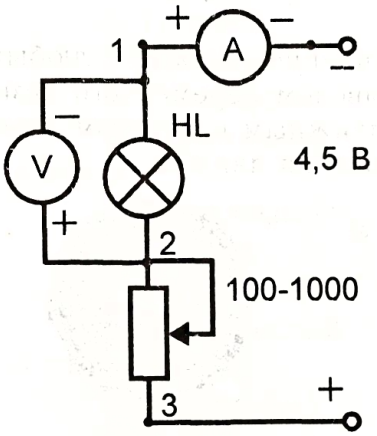
Задание 6-2-2.

1. Меняя сопротивление переменного резистора, по показаниям приборов сделайте вывод о том, как сила тока в лампе зависит от напряжения на ней (рис. 6-2-3)?

Как это согласуется с формулой закона Ома $I = \frac{U}{R}$?

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

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



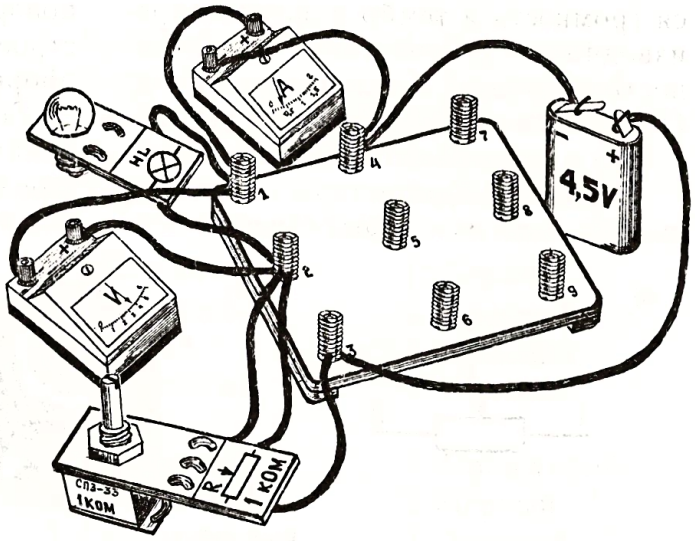


Рис. 6-2-3

§ 6-3. ПЕРЕМЕННЫЙ РЕЗИСТОР КАК ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Часто переменные резисторы используются для плавного изменения напряжения и силы тока.

Задание 6-3-1.

На установках, собранных по рисункам 6-3-1, 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.

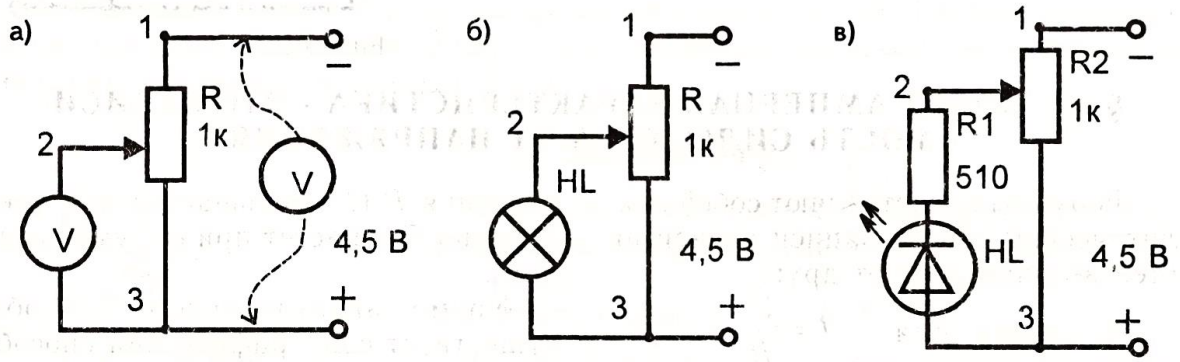


Рис. 6-3-1

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 движком.

Задание 6-3-2.

Соберите схемы по рисункам 6-3-2, а и б и, перемещая движок от одного крайнего положения до другого, наблюдайте за изменением яркости ламп и светодиодов. Объясните наблюдаемое явление.

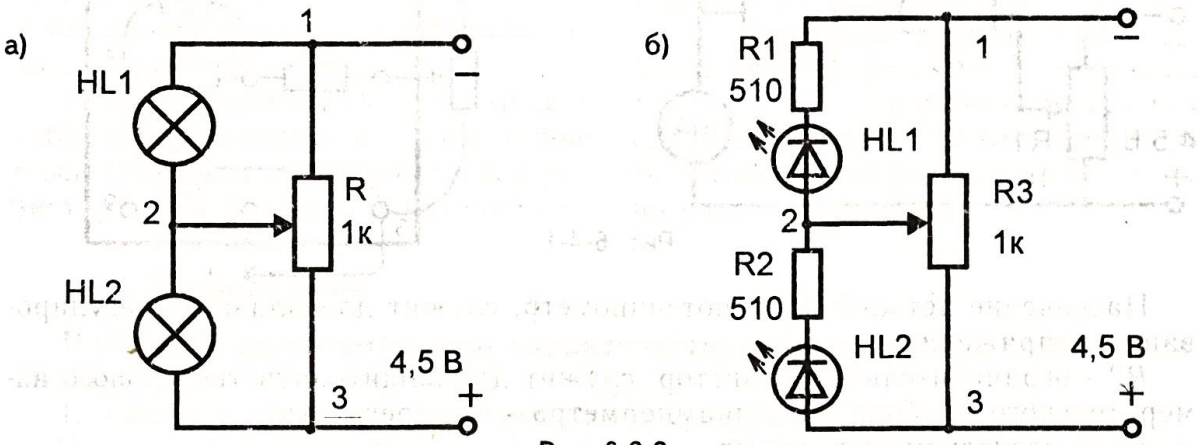


Рис. 6-3-2

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

Задание 6-3-3.

Соберите установку (рис. 6-3-3) и убедитесь, что при любом положении движка резистора соблюдается равенство:

$$U=U_1+U_2.$$

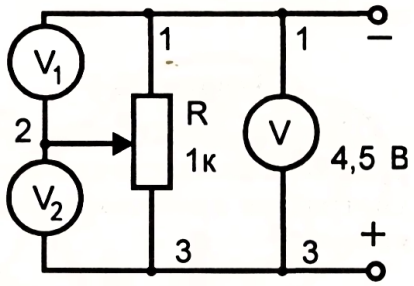


Рис. 6-3-3

§ 6-4. ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА - ЭТО ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

Формулы представляют собой аналитический способ записи зависимостей величин друг от друга.

Из закона Ома $I = \frac{U}{R}$ мы видим, что сила тока I прямо пропорционально зависит от напряжения (I растет при увеличении U и убывает при его уменьшении) и обратно пропорционально зависит от сопротивления R (I уменьшается при увеличении R и растет при его уменьшении).

Кроме аналитического способа существует еще графический способ, наглядно показывающий, как одна величина зависит от другой.

Зависимость силы тока от напряжения называется вольт-амперной характеристикой, сокращенно ВАХ.

Задание 6-4-1.

Изучите зависимость силы тока *I* в резисторе *R* от напряжения *U* на нем.

1. Соберите установку по принципиальной и макетной схемам.

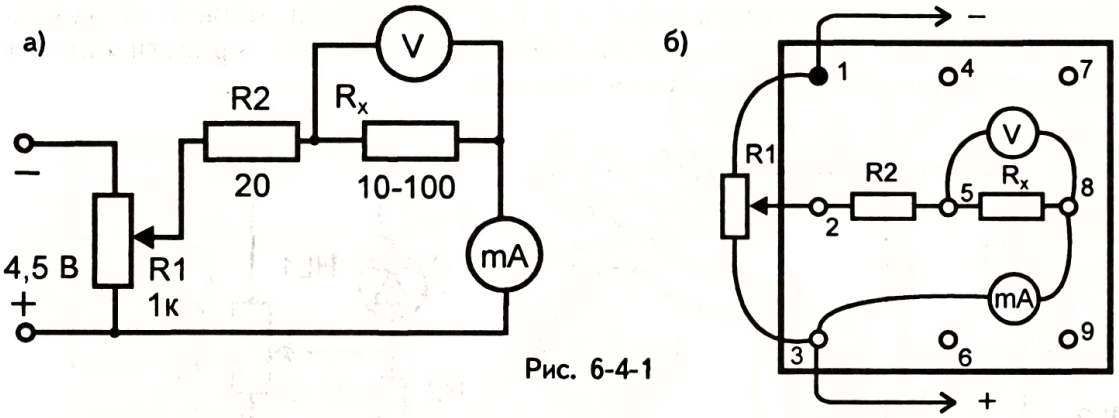


Рис. 6-4-1

Назначение деталей: *R1* - потенциометр, служит для плавного регулирования напряжения;

R2 - ограничительный резистор, служит для защиты чувствительного измерительного прибора - миллиамперметра - от перегрузки;

Rx - исследуемый резистор.

2. Плавно меняйте напряжение на резисторе Rx , сопротивление которого лежит в пределах от 10 до 100 Ом, от 0 до 1 В с шагом 0,2 В и заносите показания миллиамперметра в таблицу 6-4-1.

Показания приборов							
U, В		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
I, mA	Rx_1						
	Rx_2						

Табл. 6-4-1

3. Выберите масштаб и постройте график зависимости I от U (рис. 6-4-2).

4. Возьмите вместо Rx другой резистор в пределах 10...100 Ом, сопротивление которого отличается от первого на несколько десятков Ом, и повторите задания, указанные в пунктах 2 и 3.

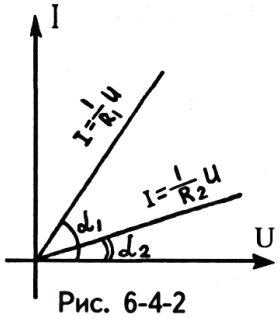


Рис. 6-4-2

Задание 6-4-2.

Ответьте: а) как полученные в предыдущем исследовании графики согласуются с законом Ома для участка цепи $I = \frac{1}{Rx}U$?

б) как угол α наклона прямой к оси U зависит от сопротивления резистора Rx?

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

Задание 6-4-3.

В схеме, приведенной в задании 6-4-1, смените полярность питания и измерительных приборов и постройте ВАХ резистора, к которому напряжение приложено в обратной полярности и в котором ток течет в обратную сторону.

Проанализировав результаты исследования, ответьте, зависит ли сопротивление резистора от направления тока в нем?

В результате проведенных исследований мы можем сделать вывод о том, что:

1) ВАХ резистора представляет собой прямую линию, наклон которой к оси U зависит от сопротивления резистора: чем больше сопротивление, тем угол наклона меньше;

2) сопротивление резистора не зависит ни от напряжения U, ни от силы тока I, ни от направления тока, о чем свидетельствует прямолинейность ВАХ и ее симметричность относительно начала координат.

Задание 6-4-4.

Постройте вольт-амперную характеристику миниатюрной лампы накаливания.

1. Соберите электрическую цепь по рисунку 6-4-3.
2. Плавно изменяя напряжение на лампе от 0 до 6 В с шагом 1 В, запи-

шите показания приборов в таблицу 6-4-2.

Табл. 6-4-2

U, В	0	1	2	3	4	5	6
I, А							

3. Выберите масштаб и постройте график зависимости I от U.

4. Объясните, почему с увеличением силы тока в лампе график вольт-амперной характеристики искривляется в сторону оси U?

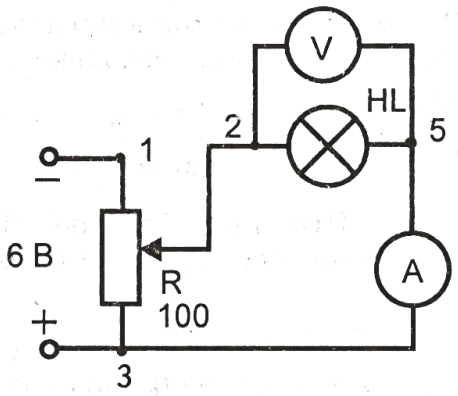


Рис. 6-4-3

Глава 7

Последовательное, параллельное и смешанное соединения

§ 7-1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ - ЭТО ТАКАЯ ЦЕПЬ, ГДЕ ТОК ПООЧЕРЕДНО ОБХОДИТ ВСЕ УЧАСТКИ

Обычно к одному и тому же источнику питания подключается несколько потребителей тока, которые могут быть соединены между собой последовательно, параллельно и смешанно.

Последовательным называют такое соединение, когда ток поочередно обходит всех потребителей.

Этим способом соединения мы уже пользовались. Они приведены на рис. 7-1-1, где а) лампа и амперметр, б) лампа и резистор, в) светодиод и резистор соединены между собой последовательно.

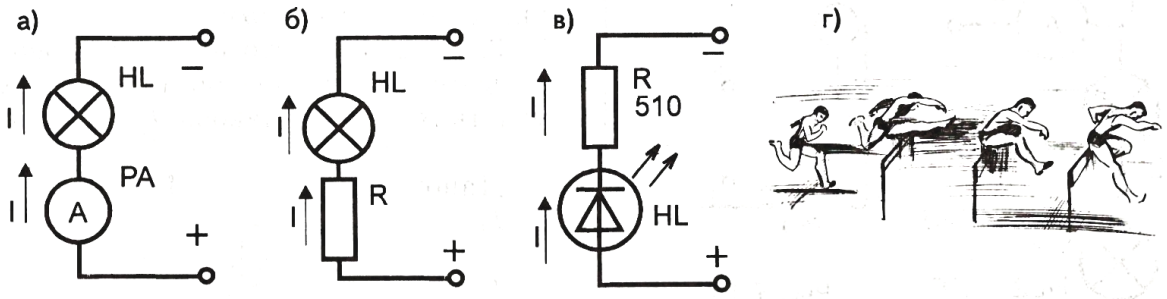


Рис. 7-1-1

Задание 7-1-1.

Измерьте напряжения на участках цепи при последовательном соединении (рис. 7-1-2).

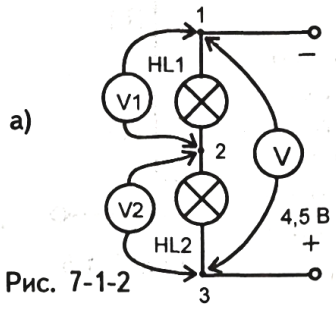
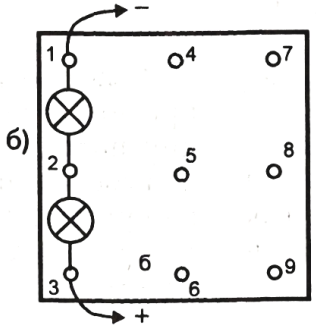


Рис. 7-1-2



1. Измерьте напряжение на каждой лампе отдельно и общее напряжение поочередно одним вольтметром.

2. Убедитесь, что при последовательном соединении общее напряжение питания распреде-

ляется между последовательно соединенными участками: $U=U_1+U_2$.

Дано
$U_1=$
$U_2=$
$U=$

3. Объясните, почему последовательное соединение называют "делителем напряжения"?

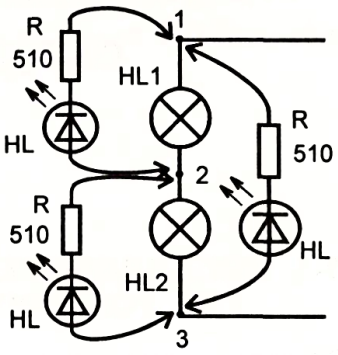


Рис. 7-1-3

Задание 7-1-2.

Подключая светодиод с резистором так, как показано на рисунке 7-1-3, по интенсивности свечения светодиода оцените примерные значения напряжений.

Внимание. Свечение светодиода заметно при напряжении на его выводах 1,4 В.

Задание 7-1-3.

Измерьте силу тока в разных участках цепи при последовательном соединении.

1. Измерьте силу тока I_1, подключив амперметр так, как показано на рисунках 7-1-4, а и б.

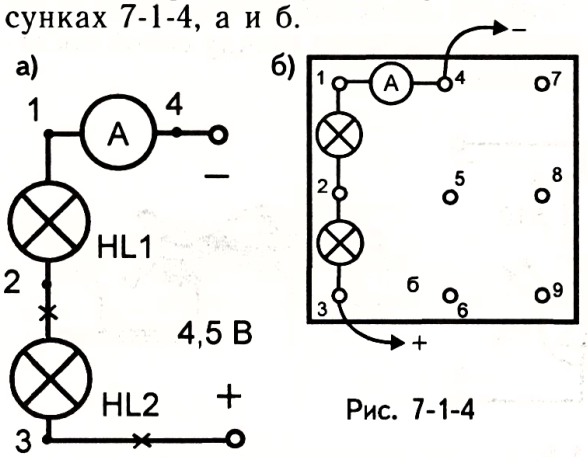


Рис. 7-1-4

2. Измерьте силу тока I_2 и I_3, включив амперметр в разрывах цепи, указанных крестиками.

3. Убедитесь, что при последовательном соединении сила тока во всех участках цепи одинакова: $I_1=I_2=I_3=I$.

Дано:
$I_1=$
$I_2=$
$I_3=$

Решение:

В проведенных выше исследованиях мы убедились, что при последовательном соединении двух участков с сопротивлениями *R1* и *R2* (рис. 7-1-5) общее напряжение равно сумме напряжений $U=U_1+U_2$.

Вспомним, что из закона Ома следует, что $U=IR$.

Значит, $IR=I_1R_1+I_2R_2$, где: R - общее сопротивление цепи, *R1* и *R2* - сопротивления ее участков. Так как сила тока во всех участках цепи одинакова, получаем $R= R_1 + R_2$.

Вывод: общее сопротивление цепи при последовательном соединении равно сумме сопротивлений отдельных участков.

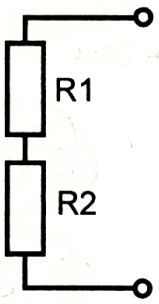


Рис. 7-1-5

Задание 7-1-4.

1. По результатам исследований 7-1-1 и 7-1-3 вычислите:

а) общее сопротивление цепи $R = \frac{U}{I}$;

б) сопротивление ламп *HL1* и *HL2*: $R_1 = \frac{U_1}{I_1}$, $R_2 = \frac{U_2}{I_2}$.

2. Проверьте, выполняется ли равенство $R = R_1 + R_2$.

При последовательном соединении N резисторов с одинаковыми сопротивлениями R общее сопротивление цепи $R_{ОБЩ}$ возрастает в N раз и вычисляется по формуле $R_{ОБЩ} = R \times N$.

Например, на рисунке 7-1-6, а три одинаковых резистора по 30 Ом каждый соединены последовательно. Общее сопротивление цепи будет

$R_{ОБЩ} = R \times N = 30$ Ом $\times 3 = 90$ Ом.

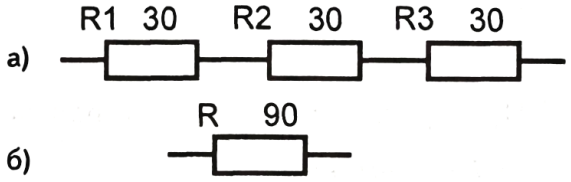


Рис. 7-1-6

Естественно, эти три резистора можно заменить одним резистором с сопротивлением 90 Ом (рис. 7-1-6, б).

Задание 7-1-5.

Следите за изменением силы тока в цепи (рис. 7-1-7), включив последовательно со светодиодом один, два, три и т.д. резисторов по мере возрастания их сопротивления, и объясните причину изменения яркости светодиода.

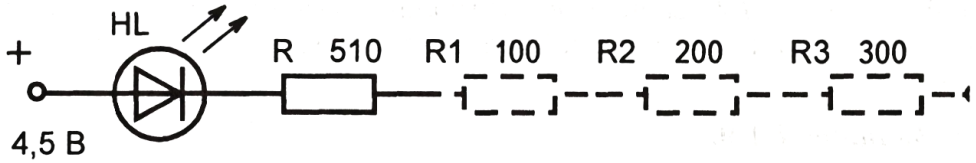


Рис. 7-1-7

Задание 7-1-6.

Повторите задание 7-1-5, заменив светодиод амперметром, резисторы - лампами (рис. 7-1-8).

Сделайте вывод о том, как количество последовательно соединенных ламп влияет на силу тока в цепи. Почему?

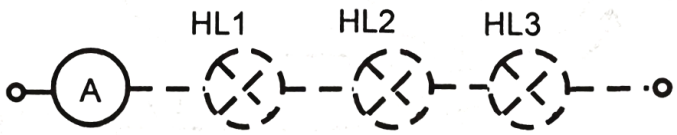


Рис. 7-1-8

Задание 7-1-7.

Измерьте силу тока в цепи, напряжение на резисторах, общее напряжение всей цепи (рис. 7-1-9).

Дано:

$I=$
$U_1=$
$U_2=$
$U_3=$
$U=$

R_1 - ? R_2 - ?
R_3 - ? R - ?

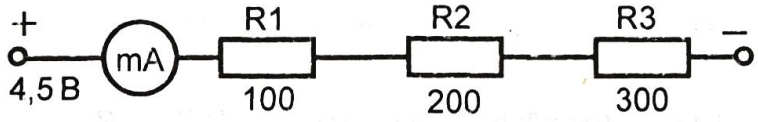


Рис. 7-1-9

Решение:

$R_1 = \frac{U_1}{I} =$ $R_2 = \frac{U_2}{I} =$

$R_3 = \frac{U_3}{I} =$ $R = \frac{U}{I} =$

Проверьте справедливость равенств:

а) $R=R_1+R_2+R_3$ б) $U=U_1+U_2+U_3$

Ответьте, почему на разных резисторах вольтметр показывает разное напряжение? Как это согласуется с формулой: $U=IR$?

Внимание! Напоминаем, что в результаты наших исследований вносят погрешности измерительные приборы, резисторы и округления вычислений. Поэтому точного выполнения равенств ожидать не следует.

Задание 7-1-8.

Зная силу тока в цепи по показанию миллиамперметра, сопротивления участков по маркировкам на резисторах (рис. 7-1-9):

а) по формуле $U=IR$ вычислите предполагаемые напряжения на участках;

б) включив к каждому участку вольтметр, убедитесь в правильности вычислений.

Задание 7-1-9.

Оцените значения напряжений на резисторах светодиодом (рис. 7-1-10).

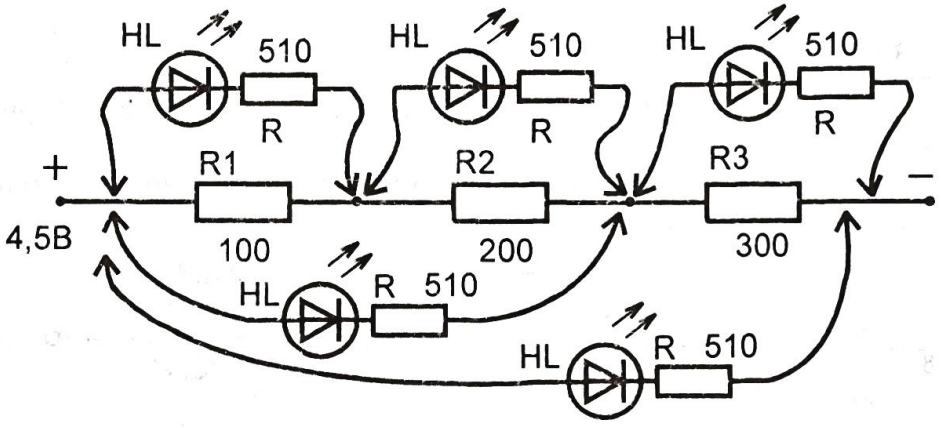


Рис. 7-1-10

Задание 7-1-10.

Вольтметр, подключенный к резистору *R2* (рис. 7-1-11), показывает напряжение. Как изменится его показание, если исключить из цепи участок *R2* ?

Проделайте опыт и объясните наблюдаемое явление.

Подсказываем, что школьный лабораторный вольтметр имеет сопротивление около 6000 Ом.

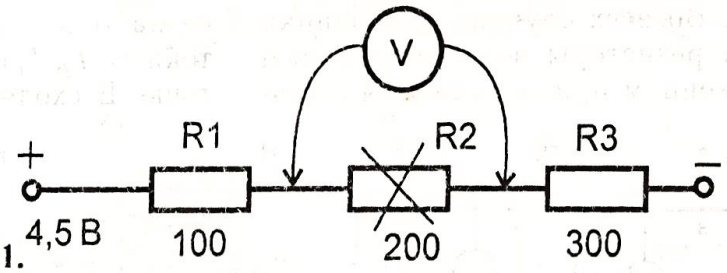


Рис. 7-1-11

Задание 7-1-11.

Светодиод, подключенный к резистору *R2* (рис. 7-1-12), еле заметно светится. Как изменится его свечение, если участок *R2* между его выводами исключить из цепи?

Проделайте опыты, объясните наблюдаемое явление.

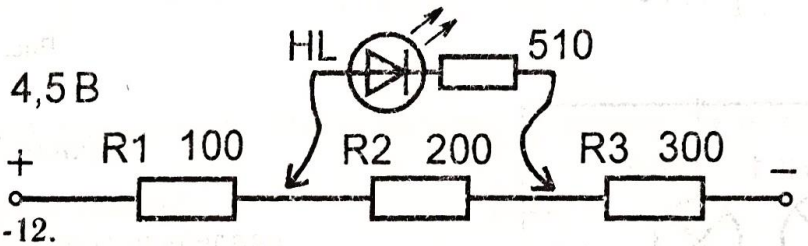


Рис. 7-1-12

Задание 7-1-12.

Ответьте (рис. 7-1-13):

а) Как включены лампы елочной гирлянды?

б) Как они делят между собой напряжение сети?

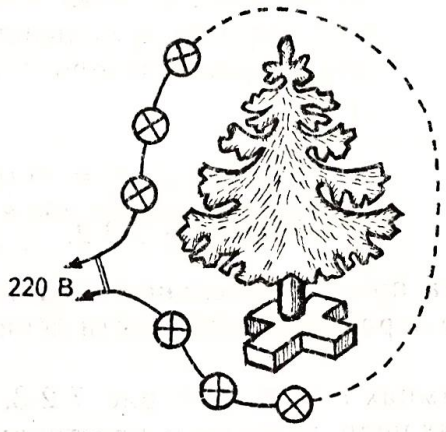
в) Сколько ламп в гирлянде, если каждая из них рассчитана на 10 В?

г) Почему человек, взявшийся руками за выводы перегоревшей лампы (рис. 7-1-13, б), включенной в сеть гирлянды, оказался бы под напряжением 220 В?

Подсказываем, что сопротивление лампы составляет несколько десятков Ом, а сопротивление человеческого тела можно считать около 50 000 Ом.

2. Объясните, почему перед ремонтом электроприборов необходимо отключить их от сети, выдернув вилку из розетки?

а)



б)

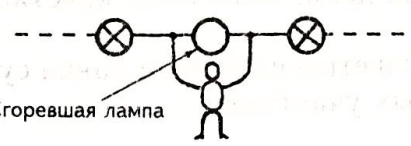


Рис. 7-1-13

§ 7-2. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ - ЭТО ТАКАЯ ЦЕПЬ, ГДЕ ТОК ТЕЧЕТ ОДНОВРЕМЕННО ПО ВСЕМ УЧАСТКАМ

На рисунках 7-2-1: а) две лампы, б) резистор и вольтметр, в) три резистора соединены друг с другом параллельно. Во всех случаях проводники (лампы, резисторы, вольтметр) одним своим концом присоединяются к точке цепи *A*, а вторым концом к другой точке *B*.

В точке *A* общий ток разветвляется на токи I_1 и I_2 (рис. 7-2-1, а, б) и токи I_1, I_2, I_3 (рис 7-2-1, в), которые в точке B сходятся вновь.

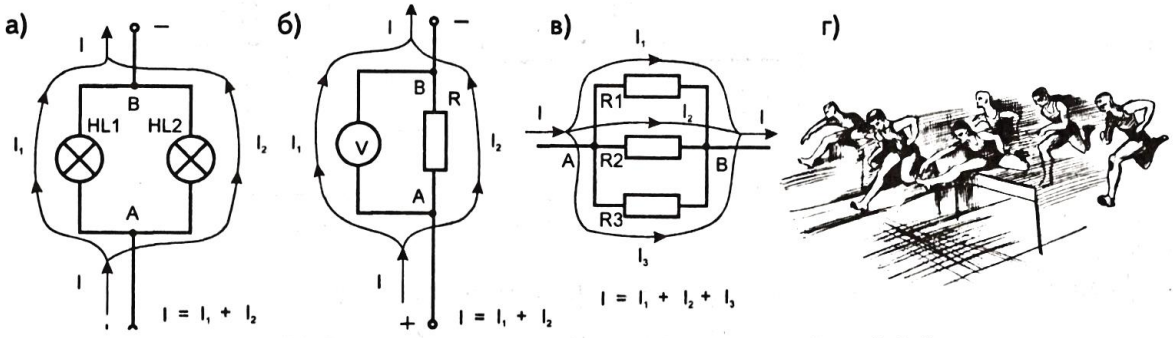


Рис. 7-2-1

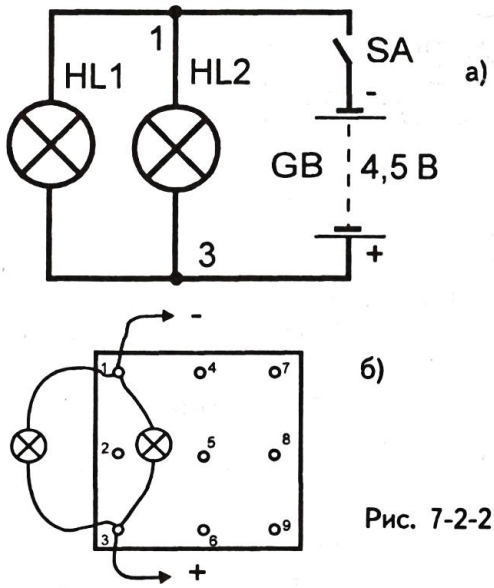


Рис. 7-2-2

Задание 7-2-1.

1. Соедините лампы *HL1* и *HL2* параллельно (рис. 7-2-2).
2. Сравните этот способ соединения ламп с другим способом их соединения в задании 7-1-1.
3. Укажите путь тока от вывода "+" источника питания к выводу "−".

Задание 7-2-2.

Изучите распределение силы тока при параллельном соединении.

1. Включите амперметр в разрыве неразветвленной части цепи и измерьте силу тока *I* (рис. 7-2-3, б).
2. Измерьте силы тока I_1 и I_2 в лампах *HL1* и *HL2* (рис. 7-2-3, в, г), включая амперметр поочередно в разрывах цепи, указанных крестиками (рис. 7-2-3, а).
3. Убедитесь, что сила тока *I* в неразветвленной цепи равна сумме сил токов в отдельных параллельно соединенных участках.

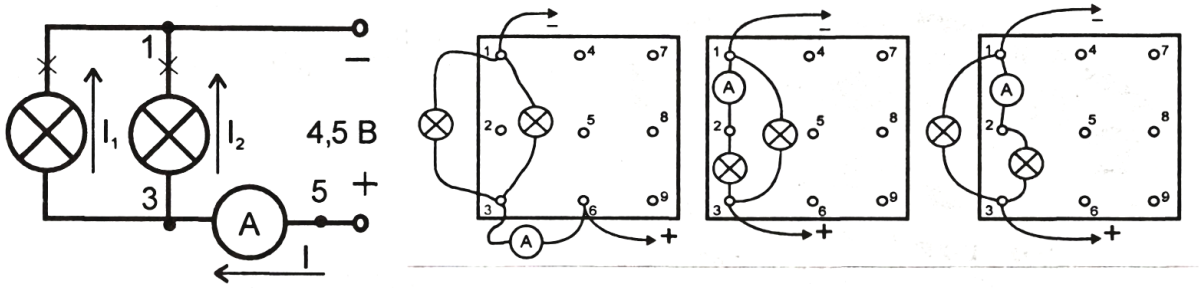


Рис. 7-2-3

Дано:
$I=$
$I_1=$
$I_2=$

Решение:

$I=I_1+I_2$ - ?

4. Объясните смысл выражения: “Параллельное соединение - делитель тока”.

Задание 7-2-3.

Изучите, как сила тока в разветвленных участках цепи зависит от их сопротивлений.

1. Соберите цепь из двух параллельно соединенных резисторов *R1* и *R2* с разными сопротивлениями (рис. 7-2-4).

2. Измерьте миллиамперметром силу тока I в общей цепи и в разветвлениях I_1 и I_2.

3. Проверьте равенство $I=I_1+I_2$.

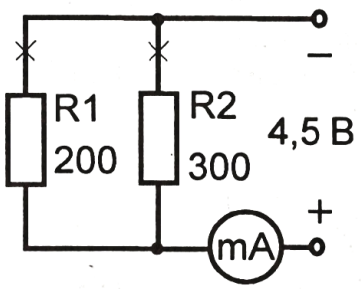


Рис. 7-2-4

Дано
$I=$
$I_1=$
$I_2=$

Решение:

$I=I_1+I_2$ - ?



Рис. 7-2-5

4. Говорят, что "ток выбирает легкий путь". Как вы понимаете это выражение?

Задание 7-2-4.

Изучите распределение напряжений при параллельном соединении.

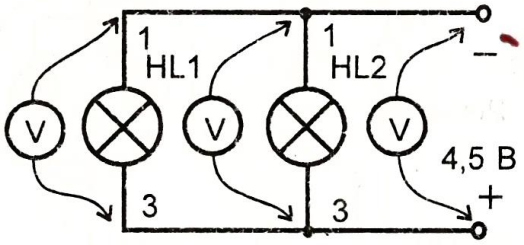


Рис. 7-2-6

1. Измерьте вольтметром напряжения U_1 и U_2 на лампах *HL1* и *HL2* (рис. 7-2-6).

2. Измерьте напряжение на выводах источника питания.

3. Сравните напряжения на лампах и выводах источника питания и убедитесь, что они равны.

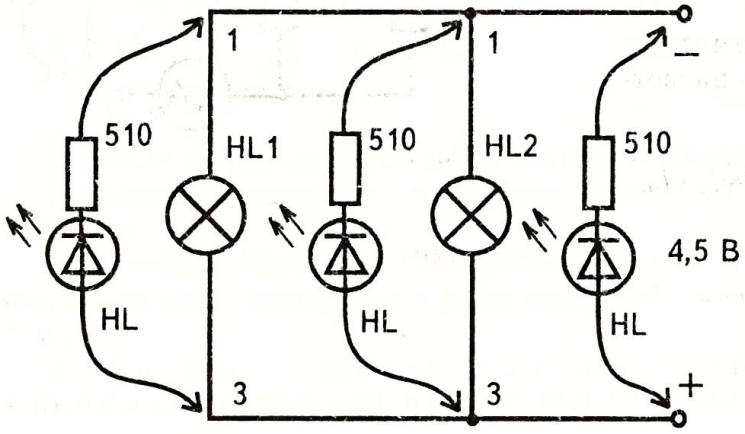
Дано:
$U_1 =$
$U_2 =$
$U =$

Решение:

$U_1 = U_2 = U$ - ?

4. Повторите опыт, сменив лампы *HL1* и *HL2* на резисторы с сопротивлениями 200 и 300 Ом.

5. Сделайте вывод о распределении напряжений при параллельном соединении участков.



Задание 7-2-5.

Оцените значения напряжений при параллельном соединении, используя светодиод вместо вольтметра (рис. 7-2-7).

Рис. 7-2-7

Задание 7-2-6 (рис. 7-2-8).

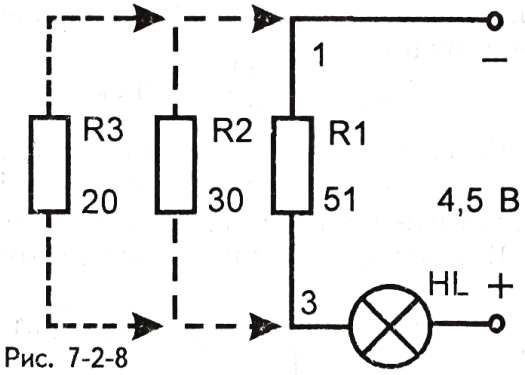


Рис. 7-2-8

1. Изучите зависимость между силой тока в неразветвленной части цепи от количества параллельно включенных участков. Для этого к резистору *R1* включите сначала второй резистор *R2* , потом третий резистор *R3* и следите за яркостью лампы, включенной в общую цепь.

2. Объясните наблюдаемое явление.

Задание 7-2-7 (рис. 7-2-9).

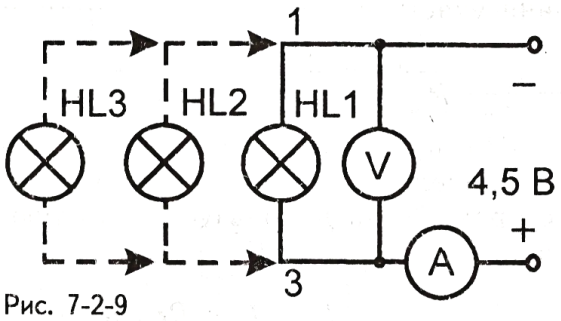
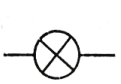
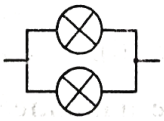
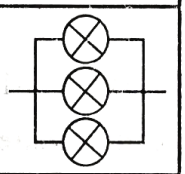


Рис. 7-2-9

1. К лампе *HL1*, последовательно с которой включен амперметр, присоедините вторую и третью лампы. Каждый раз следите за показаниями приборов, которые заносите в таблицу 7-2-1.

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

Табл. 7-2-1

Физическая величина	Соединение ламп		
			
U, В			
I, А			
R, Ом			

3. Сделайте вывод о том, как изменяется с увеличением числа параллельно соединенных участков:

а) сила тока в цепи;

б) общее сопротивление цепи.

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 $I = \frac{U}{R}$ это возможно при уменьшении сопро-

тивления 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. 7-2-10, 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 резистором с сопротивлением 10 Ом (рис. 7-2-10, б).

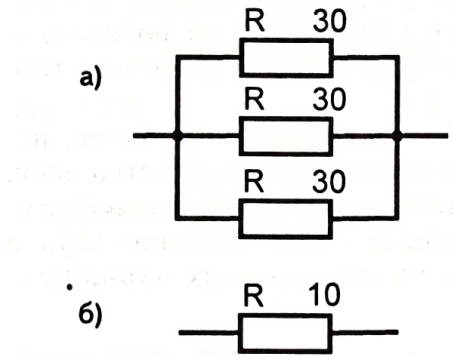


Рис. 7-2-10

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

$$\frac{1}{R_{ОБЩ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots$$

На практике часто встречается параллельное соединение двух резисторов. Тогда используется следующая формула:

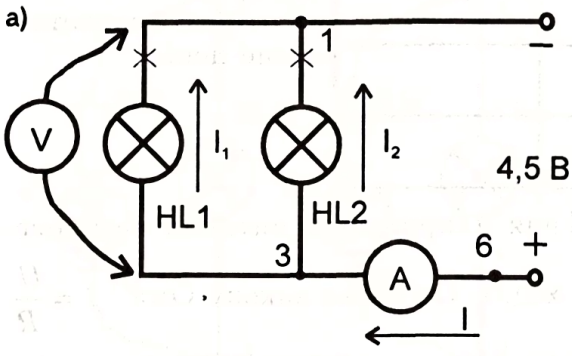
$$\frac{1}{R_{ОБЩ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

или $$R_{ОБЩ} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Задание 7-2-8 (рис. 7-2-11, а. б).

Определите общее сопротивление параллельно соединенного участка.

1. Измерьте напряжение U на лампах, силу тока в общей цепи I и токи I_1 и I_2 в лампах *HL1* и *HL2*.



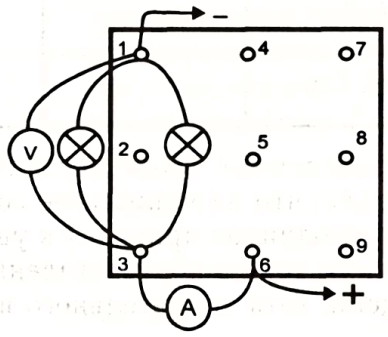


Рис. 7-2-11

2. Из закона Ома $I = \frac{U}{R}$ вычислите сопротивления *R1* и *R2* ламп *HL1* и *HL2*.

3. Вычислите общее сопротивление ламп по формулам:

а) $R_{ОБЩ} = \frac{U}{I}$ б) $R_{ОБЩ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Сравните эти сопротивления.

Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 7-2-2:

U, В	I, А	I_1, А	I_2, А	$R1$, Ом	$R2$, Ом	$R_{ОБЩ} = \frac{U}{I}$, Ом	$R_{ОБЩ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, Ом

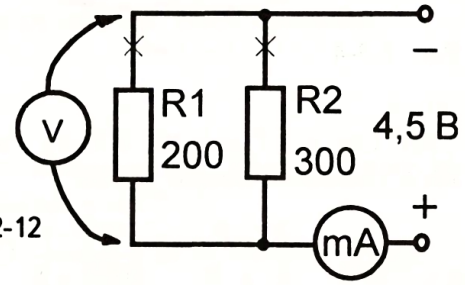


Рис. 7-2-12

Примечание. Для получения более точных результатов исследований можно воспользоваться схемой на рис. 7-2-12, где лампы заменены резисторами, амперметр - миллиамперметром.

§ 7-3. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ - ДЕЛИТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ, ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ - ДЕЛИТЕЛЬ ТОКА

При последовательном соединении сила тока одинакова во всех участках независимо от их сопротивлений. Общее напряжение питания распределяется между участками в зависимости от их сопротивлений. Участку с большим сопротивлением достается большее напряжение, участку с меньшим сопротивлением - меньшее напряжение. Говорят, что последовательное соединение - это делитель напряжения (рис. 7-3-1).

При параллельном соединении, наоборот, напряжение на всех участках одинаково, а общий ток распределяется по разветвлениям обратно пропорционально их сопротивлениям. По участку с меньшим сопротивлени-



Рис. 7-3-1

ем идет больше тока, чем по участку с большим сопротивлением. Здесь справедливо утверждение: "Параллельное соединение - это делитель тока" (рис. 7-3-2).



Рис. 7-3-2

При последовательном соединении главную роль играет участок с наибольшим сопротивлением. Например,

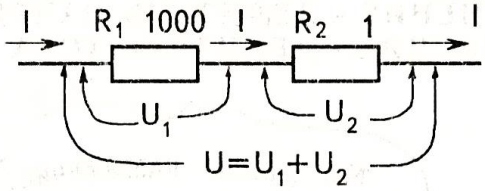


Рис. 7-3-3

если последовательно соединены участки с сопротивлениями 1000 Ом и 1 Ом, то общее сопротивление будет $R_{ОБЩ}=R_1+R_2$ = 1000 Ом + 1 Ом = = 1001 Ом (рис. 7-3-3).

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

Например, если параллельно соединены участки с сопротивлениями

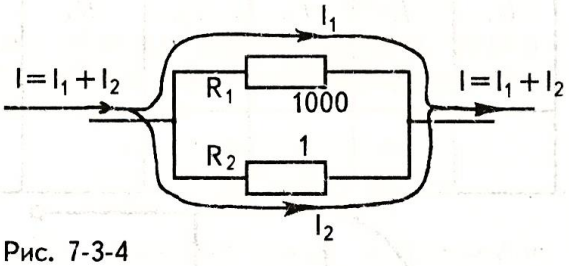


Рис. 7-3-4

1000 Ом и 1 Ом (рис. 7-3-4), то их общее сопротивление будет

$$R_{ОБЩ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1000 \cdot 1}{1000 + 1}\ \text{Ом} =$$

$$= \frac{1000}{1001}\ \text{Ом} = 0{,}999\ \text{Ом}$$

Обратим внимание на то, что оно меньше, чем у участка с наименьшим сопротивлением.

Задание 7-3-1.

Выявите достоинства и недостатки способов последовательного и параллельного соединений.

1. Включите три лампы последовательно (рис. 7-3-5, а) к источнику питания и отключите любую из них. Ответьте, что случилось? Почему?

2. Включите три лампы параллельно (рис. 7-3-5, б) и отключите любую из них. Ответьте, что случилось? Почему?

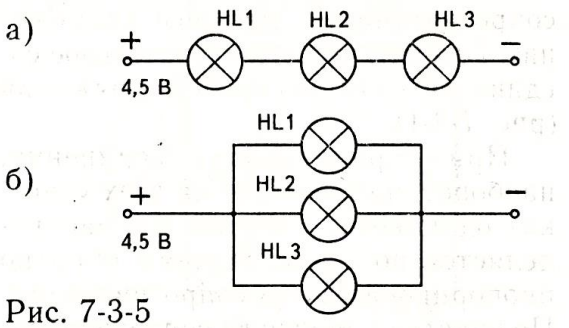


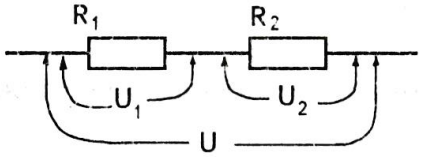
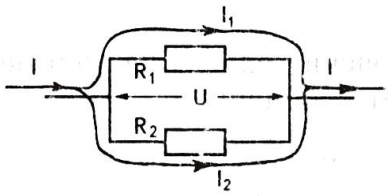
Рис. 7-3-5

Примечание. При проведении этих исследований в школе последовательно с лампами включите амперметр для контроля над током в цепи.

3. Перечислите достоинства и недостатки способов последовательного и параллельного соединений.

Задание 7-3-2.

Изучите сравнительную таблицу последовательного и параллельного соединений.

Последовательное соединение	Параллельное соединение
	
1. Сила тока	
Ток одинаков во всех участках $I=I_1=I_2$	Общий ток делится между участками $I=I_1+I_2$
2. Напряжение	
Общее напряжение равно сумме напряжений участков $U=U_1+U_2$	Напряжение одинаково на всех участках $U=U_1=U_2$
3. Сопротивление	
а) Общее сопротивление равно сумме сопротивлений участков $R_{ОБЩ}=R_1+R_2$	а) Обратная величина общего сопротивления равна сумме обратных сопротивлений участков $\frac{1}{R_{ОБЩ}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$
б) Последовательное соединение увеличивает общее сопротивление цепи	б) Параллельное соединение уменьшает общее сопротивление цепи
в) N одинаковых участков с сопротивлениями R имеют в N раз большее сопротивление $R_{ОБЩ}=N\times R$	в) N одинаковых участков с сопротивлениями R имеют в N раз меньшее сопротивление $R_{ОБЩ}=\frac{R}{N}$
4. Достоинства	
а) К источнику тока с большим напряжением можно включить потребитель, рассчитанный на меньшее напряжение, используя гасящий избыточное напряжение участок.	а) К одному и тому же источнику тока можно подключить несколько потребителей с разными сопротивлениями.

Последовательное соединение	Параллельное соединение
б) Из нескольких участков с меньшими сопротивлениями можно составить участок с большим сопротивлением.	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 елочных гирлянд, амперметров, ограничителей тока, предохранителей.	Включение бытовых приборов, промышленных машин, станков, средств транспорта (троллейбусов, трамваев, электропоездов), вольтметров.

§ 7-4. 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. 7-4-1 участки *AB* и *BC* соединены друг с другом последовательно. Но участок *BC* представляет собой параллельное соединение резисторов *R2* и *R3*.

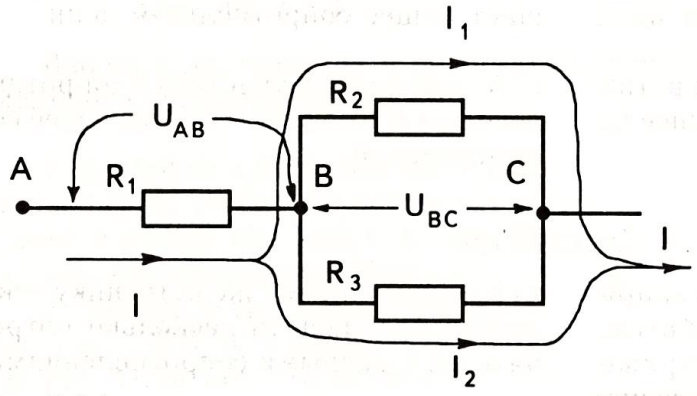


Рис. 7-4-1

$$I=I_1+I_2\ ,$$

$$U_{AC}=U_{AB}+U_{BC}\ ,$$

$$R_{ОБЩ}=R_1+\frac{R_2\cdot R_3}{R_2+R_3}\ .$$

На рис. 7-4-2 к последовательно соединенным резисторам *R2* и *R3* параллельно подключен резистор *R1*.

$$I=I_1+I_2\ ,$$

$$U_{AC}=U_{AB}+U_{BC}\ ,$$

$$R_{ОБЩ}=\frac{R_1\cdot(R_2+R_3)}{R_1+(R_2+R_3)}$$

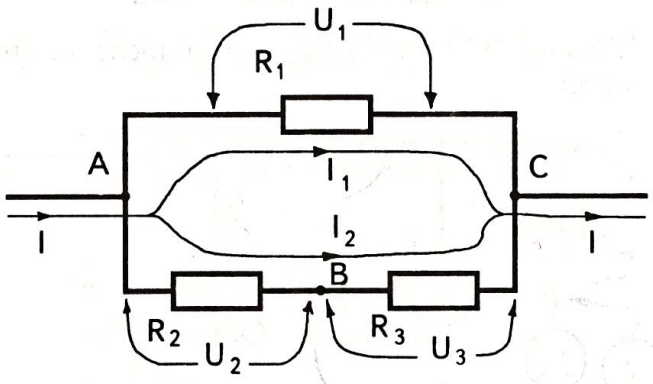


Рис. 7-4-2

Задание 7-4-1.

На приведенных выше рисунках 7-4-1 и 7-4-2 к участку *AC* подано напряжение 10 В. Каждый из резисторов имеет сопротивление 5 Ом.

Вычислите:

1) общее сопротивление цепи;
2) силу тока в резисторах;
3) напряжение на резисторах.

Задание 7-4-2 (рис. 7-4-3).

Лампы *HL2* и *HL3* включены параллельно, лампа *HL1* включена последовательно.

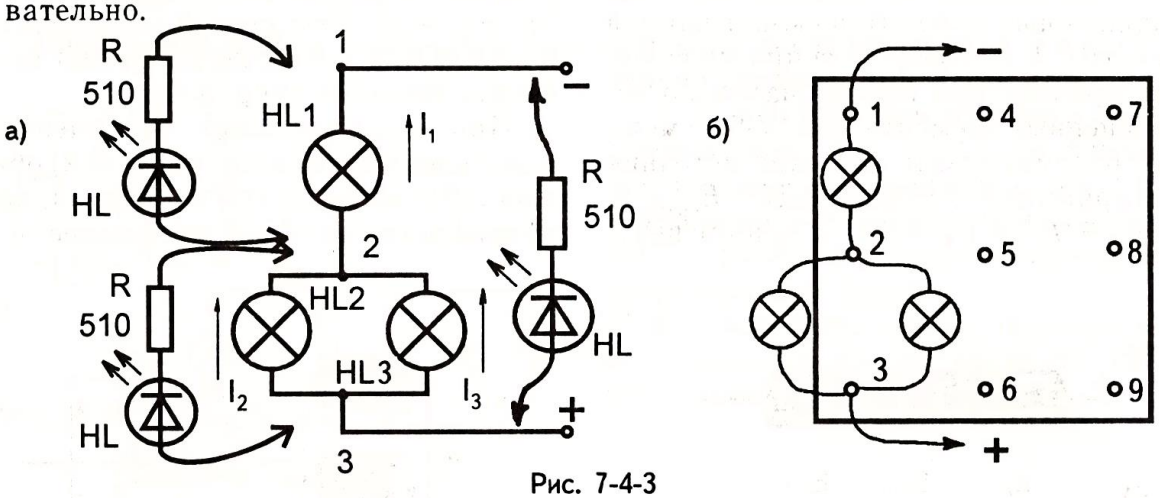


Рис. 7-4-3

Ответьте:

1) Каковы яркости ламп?
2) Где больше напряжение: между точками1-2, 2-3 или 1-3. Почему? Проверьте светодиодом или вольтметром;
3) Как распределяется общее напряжение питания между лампами?
4) Почему лампа *HL1* светит ярче, чем остальные?

Задание 7-4-3 (рис. 7-4-4).

Лампы HL1 и HL2 включены последовательно, лампа *HL3* включена к ним параллельно.

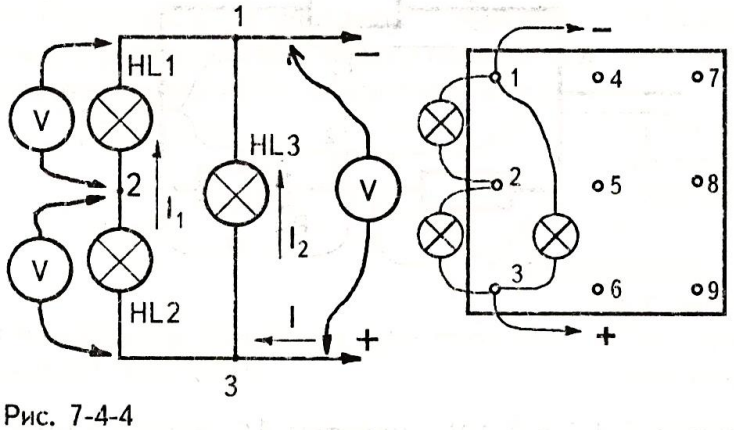


Рис. 7-4-4

Ответьте: 1) каковы яркости ламп?

2) где больше напряжение: между точками 1-2, 2-3 или 1-3? Почему? Проверьте светодиодом или вольтметром;

3) как распределяется общее напряжение питания между лампами?

4) почему лампа *HL3* светит ярче, чем остальные?

Задание 7-4-4.

Составьте схемы смешанных соединений, используя лампы, резисторы, светодиоды и проверьте их в работе.

§ 7-5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МОЖНО СОЕДИНЯТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО, ПАРАЛЛЕЛЬНО И СМЕШАННО

При последовательном соединении одинаковых элементов складываются их ЭДС и внутренние сопротивления. Например, три последовательно соединенных элемента (рис. 7-5-1) можно рассматривать как один источник напряжения с общей ЭДС $E_{ОБЩ} = E_1 + E_2 + E_3 = 3E$ и общим внутренним сопротивлением $r_{ОБЩ} = r_1 + r_2 + r_3 = 3r$. Этот способ соединения применяется тогда, когда нужно получить большое напряжение.

При параллельном соединении одинаковых элементов (рис. 7-5-2) общая ЭДС остается без изменения, но уменьшается их общее внутреннее со-

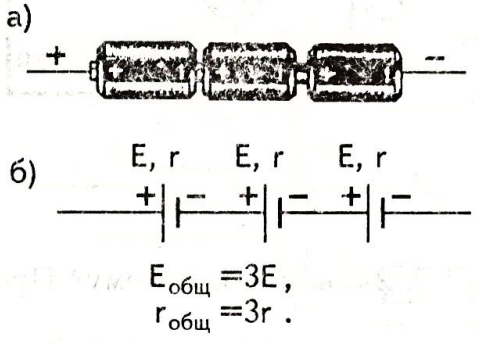


Рис. 7-5-1

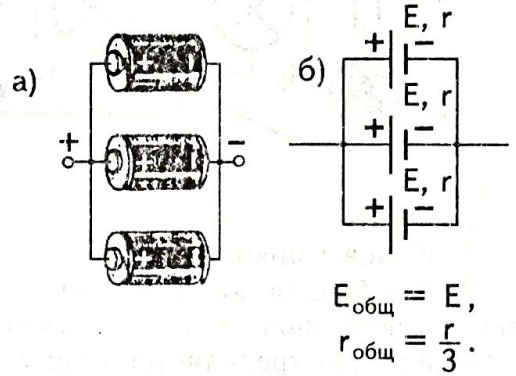


Рис. 7-5-2

противление, что ведет к увеличению силы тока в цепи. Например, при параллельном соединении трех элементов с ЭДС E и внутренним сопротивлением r каждый, общая ЭДС будет E (остается без изменения) и внутреннее сопротивление составит $\frac{r}{3}$.

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

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

Задание 7-5-1.

Составьте из двух или трех элементов батарею, соединив их:
а) последовательно;
б) параллельно.
Измерьте общую ЭДС батареи.

Задание 7-5-2.

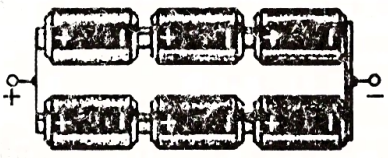


Рис. 7-5-3

Шесть одинаковых источника питания, каждый из которых имеет ЭДС 1,5 В и внутреннее сопротивление 1 Ом, соединены так, как показано на рис. 7-5-3. Определите общую ЭДС и общее внутреннее сопротивление всей цепи.

Задание 7-5-3.

Определите ЭДС и внутреннее сопротивление последовательно и параллельно соединенных элементов.

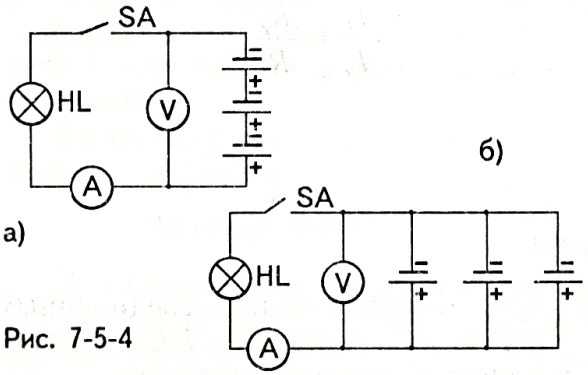


Рис. 7-5-4

1. Соедините три элемента последовательно (рис. 7-5-4, а) и, повторив задания, указанные в пунктах 1, 2, 3 задания 5-8-1, измерьте их общую ЭДС и вычислите общее внутреннее сопротивление батареи.

2. Повторите эти же исследования, соединив эти же элементы параллельно (рис. 7-5-4, б).

Задание 7-5-4.

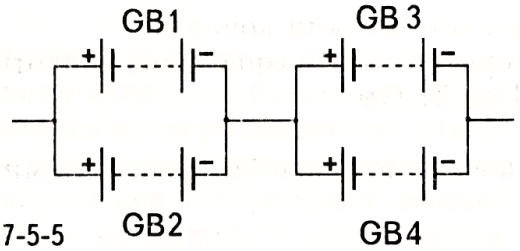


Рис. 7-5-5

Четыре одинаковых источника тока, каждый из которых имеет ЭДС 4,5 В и внутреннее сопротивление 0,5 Ом, соединены так, как показано на рис. 7-5-5.

Вычислите общую ЭДС и общее внутреннее сопротивление всей цепи.

Глава 8

Электроизмерительные приборы: амперметр, вольтметр, омметр, авометр

§ 8-1. ШУНТ - ЭТО ОБХОДНОЙ ПУТЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Часто для уменьшения силы тока в участке цепи параллельно ему подключают другой участок. Например, если параллельно резистору *R1* (рис.8-1-1, а) подключить другой резистор *R2* (рис. 8-1-1, б), то общий ток *I* разделяется на токи I_1 и I_2: $I=I_1+I_2$.

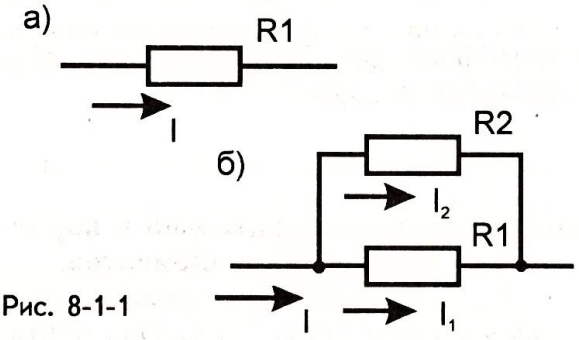


Рис. 8-1-1

Резистор *R2*, который мы включили для ответвления тока I_2, называется шунтом. Шунт, создавая обходной путь, уменьшает силу тока в участке, параллельно которому он включен. Чем меньше сопротивление шунта, тем большая часть общего тока пойдет по нему согласно формуле:

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

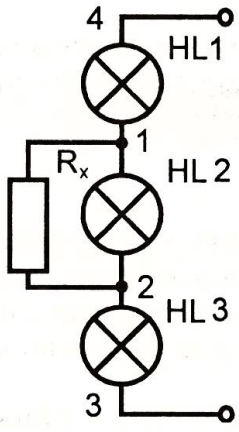


Рис. 8-1-2

Задание 8-1-1.

Соберите цепь из трех последовательно соединенных ламп (рис. 8-1-2) и одну из них, например *HL2*, шунтируйте участком *R*x, в качестве которого возьмите:

1) кусок провода с оголенными концами;
2) разные резисторы по мере возрастания сопротивлений в пределах от 1 до 51 Ом.

Ответьте, как и почему изменяется яркость ламп.

Задание 8-1-2.

Лампу *HL1* и регулировочный резистор *R* включите параллельно, лампу *HL2* - последовательно к ним (рис. 8-1-3).

Ответьте:

1) как будет меняться яркость ламп при:

а) увеличении сопротивления резистора (движок перемещается вверх по схеме);

б) уменьшении сопротивления резистора?

Почему?

Повторите опыт, используя вместо ламп светодиоды. Схему соединений составьте самостоятельно.

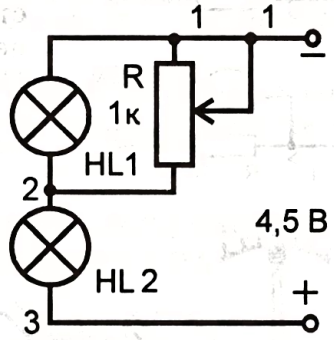


Рис. 8-1-3

Задание 8-1-3.

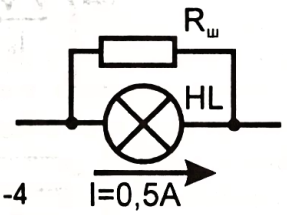


Рис. 8-1-4

В цепь, в которой течет ток 0,5 А, нужно включить лампу, рассчитанную на номинальное напряжение U=6,3 В и номинальный ток I=0,3 А. Рассчитайте сопротивление шунтирующего лампу резистора $R_Ш$, ответвляющего избыточный ток от лампы (рис. 8-1-4).

§ 8-2. ЕЩЕ РАЗ ОБ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ: АМПЕРМЕТРЕ И ВОЛЬТМЕТРЕ

Электроизмерительные приборы обладают собственным сопротивлением. Поэтому они своим присутствием оказывают влияние на параметры цепи (силу тока, напряжение и сопротивление).

Амперметр, включаемый последовательно с участком цепи, где нужно измерить силу тока, собственным сопротивлением увеличивает общее сопротивление цепи. Поэтому его сопротивление должно быть во много раз меньше сопротивления этого участка.

Чем меньше сопротивление амперметра, тем точнее он измеряет силу тока.

Задание 8-2-1.

Для измерения силы тока в одной и той же цепи использованы два амперметра с разными сопротивлениями (рис. 8-2-1). Который из них предпочтительнее? Почему?

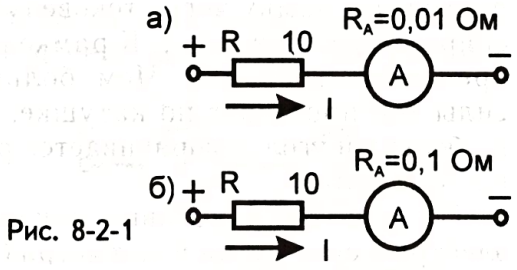
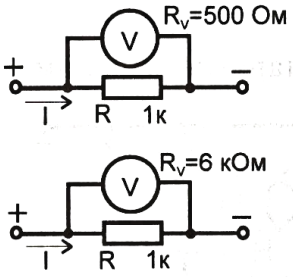


Рис. 8-2-1

Вольтметр, включаемый к измерительному участку параллельно, своим собственным сопротивлением уменьшает общее сопротивление участка. Это ведет к искажению (уменьшению) значения измеряемого напряжения. Поэтому сопротивление вольтметра во много раз должно превосходить сопротивление измеряемого участка.

Чем больше сопротивление вольтметра, тем точнее он измеряет напряжение.

Задание 8-2-2.



Для измерения напряжения на одном и том же участке использованы два вольтметра с разными сопротивлениями (рис. 8-2-2). Который из них предпочтительнее? Почему?

Рис. 8-2-2

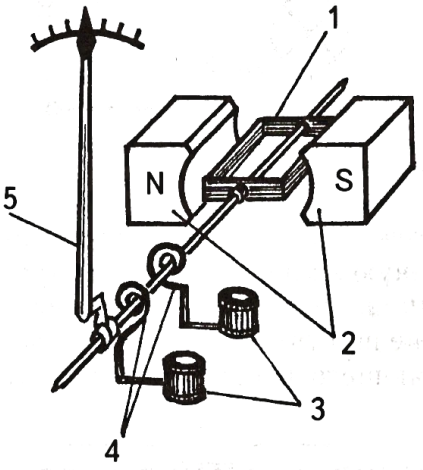
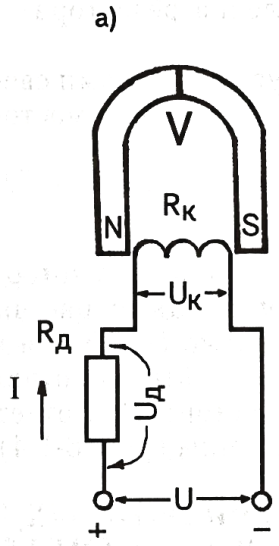


Рис. 8-2-3



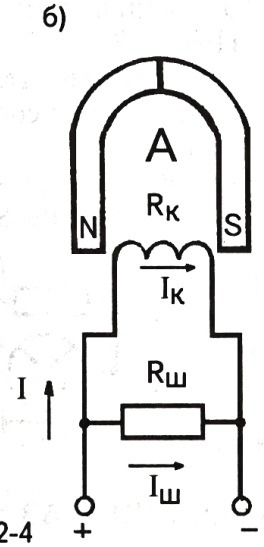


Рис. 8-2-4

На рис. 8-2-3 показано устройство электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы. Принцип его действия основан на взаимодействии проволочной 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.

На рис. 8-2-4 условно показана электрическая схема вольтметра (а) и амперметра (б) магнитоэлектрической системы.

Сопротивление R_B вольтметра увеличено включением добавочного резистора $R_Д$ последовательно с катушкой с сопротивлением R_K, находящейся между полюсами постоянного магнита: $R_B = R_Д + R_K$.

Измеряемое напряжение U распределяется между добавочным резистором $R_Д$ и катушкой R_K: $U = U_Д + U_K$. Причем $U_Д >> U_K$.

Здесь $U_Д$ - напряжение на добавочном резисторе, U_K - напряжение на катушке.

Сопротивление R_A амперметра уменьшено включением параллельно катушке с сопротивлением R_K шунта с малым сопротивлением $R_Ш$:

$$R_A = \frac{R_K \cdot R_Ш}{R_K + R_Ш}$$

Шунт создает обходной путь для измеряемого тока I: малая его часть I_K протекает по катушке, большая часть $I_Ш$ - по шунту: $I = I_K + I_Ш$. Причем $I_Ш >> I_K$.

Задание 8-2-3.

Возьмите в кабинете физики лабораторные амперметр и вольтметр с прозрачным корпусом и внимательно рассмотрите их устройство. Распознайте вышеперечисленные детали приборов.

Примечание. При отсутствии измерительных приборов в прозрачных корпусах возьмите сломанные, которые всегда имеются в школе, и изучите их внутреннее устройство, предварительно разобрав их.

§ 8-3. ШУНТ РАСШИРЯЕТ ПРЕДЕЛ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЕРМЕТРА, ДОБАВОЧНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ - ВОЛЬТМЕТРА

Шунтирующее сопротивление амперметра и добавочное сопротивление вольтметра располагаются внутри корпуса прибора. Но часто для расширения их пределов измерения подключают внешнее шунтирующее сопротивление к амперметру (параллельно) (рис. 8-3-1) и добавочное сопротивление к вольтметру (последовательно) (рис. 8-3-2).

Коэффициент n_A расширения предела измерения амперметра определяется формулами

$$n_A = \frac{R_A}{R_{Ш}} + 1 \quad \text{или} \quad n_A = \frac{I}{I_A}\text{, где:}$$

R_A - сопротивление амперметра;

$R_{Ш}$ - сопротивление шунта;

I - полная сила тока в цепи (показание амперметра без шунта);

I_A - показание амперметра с шунтом.

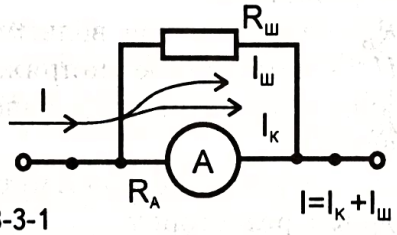


Рис. 8-3-1

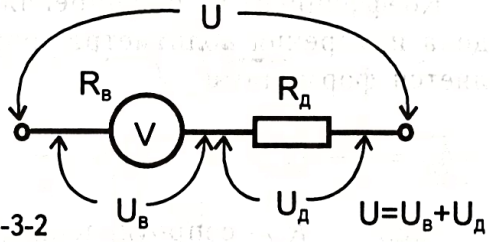


Рис. 8-3-2

Задание 8-3-1.

Амперметр с пределом измерения силы тока до двух ампер имеет сопротивление R_A = 0,01 Ом. Рассчитайте сопротивление шунта $R_{Ш}$ для увеличения его предела измерения в три раза.

Задание 8-3-2.

Определите коэффициент n_A расширения предела измерения амперметра и его сопротивление.

1. Измерьте силу тока I в цепи по рис. 8-3-3, а.

2. Определите показание амперметра с шунтом I_A (рис. 8-3-3, б).

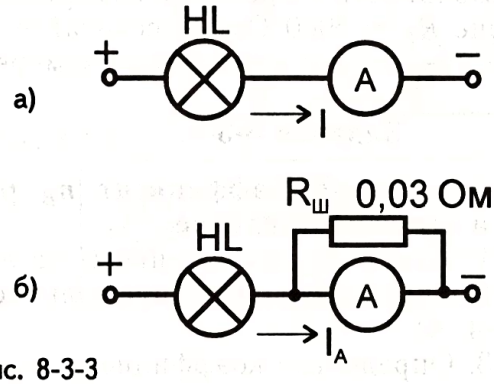


Рис. 8-3-3

3. Определите коэффициент n_A.

Дано: $I=$
$I_A=$
n_A - ?

4. Какой наибольший ток можно измерить этим амперметром с данным шунтом?

5. По известному сопротивлению шунта $R_Ш$ вычислите сопротивление амперметра:

$$R_A = (n_A - 1) \times R_Ш.$$

Задание 8-3-3.

Зная сопротивление амперметра из предыдущего исследования, определите сопротивление куска медного провода диаметром 0,2 - 0,3 мм длиной 10 - 30 см, используя его в качестве шунта. Для этого:

1) составьте схемы опытов;
2) выведите формулу для вычисления сопротивления шунта;
3) проведите исследования и вычисления.

Коэффициент n_B расширения предела измерения вольтметра определяется формулами

$$n_B = \frac{R_Д}{R_B} + 1 \quad \text{и} \quad n_B = \frac{U}{U_B},$$

где: $R_Д$ - сопротивление добавочного резистора,

R_B - сопротивление вольтметра;

U - измеряемое напряжение (показание вольтметра без добавочного резистора);

U_B - показание вольтметра с добавочным резистором.

Задание 8-3-4.

Вольтметр с пределом измерения напряжения до 6 вольт имеет сопротивление R_B = 5000 Ом. Рассчитайте сопротивление $R_Д$ добавочного резистора для увеличения его предела измерения в три раза.

Задание 8-3-5.

Определите коэффициент n_B расширения предела измерения вольтметра и его сопротивление.

1. Измерьте напряжение U на лампе (рис. 8-3-4, а).
2. Определите показание вольтметра U_B с добавочным резистором $R_Д$ (рис. 8-3-4, б).
3. Определите коэффициент n_B.

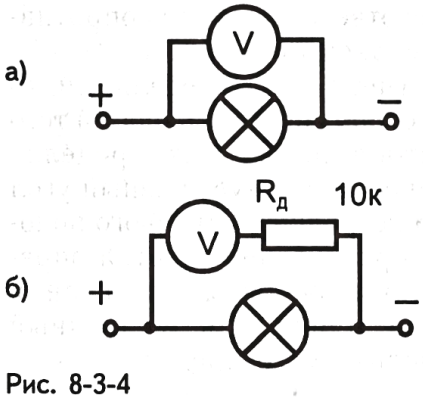


Рис. 8-3-4

Дано: $U=$
$U_B=$

$n_в$ - ?

4. Какое наибольшее напряжение можно измерить вольтметром с данным добавочным резистором?

5. По известному сопротивлению добавочного резистора вычислите сопротивление вольтметра:

$$R_B = \frac{R_Д}{n-1} .$$

Задание 8-3-6.

Зная сопротивление вольтметра из предыдущего исследования, 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.

§ 8-4. ОММЕТР - ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Омметр - это электроизмерительный прибор, предназначенный для измерения электрического сопротивления. Условное обозначение омметра приведено на рис. 8-4-1.

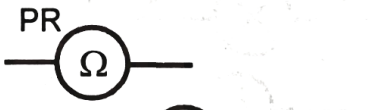


Рис. 8-4-1

Модель омметра можно составить по принципиальной схеме, показанной на рис. 8-4-2. Он состоит из источника тока *GB*, электроизмерительного прибора (миллиамперметра) *PA* и последовательно соединенных резисторов: постоянного *R1* и переменного *R2*. От значения резистора *R1* зависит предел измерения омметра. У многопредельного омметра вместо *R1* используется несколько резисторов с разными сопротивлениями. Переменный резистор *R2* корректирует установку стрелки прибора на нуль. Обратите внимание, что "Нуль" омметра, в отличие от амперметра и вольтметра, находится у крайнего правого деления шкалы прибора (рис. 8-4-3).

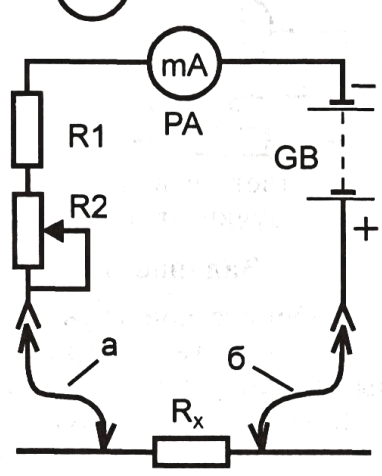
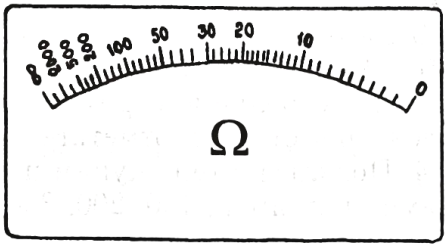


Рис. 8-4-2

Рис. 8-4-3



Омметр имеет щупы (штекеры или зажимы типа "крокодил") "*а*" и "*б*" для подключения к измеряемым участкам.

При подключении к входу омметра измеряемого участка R_X 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, соответствующего сопротивлению измеряемого участка.

Если омметр многопредельный, то значению сопротивления одного и того же резистора на разных пределах измерения соответствует разный угол отклонения стрелки от нулевого положения. Сопротивление участка определяется умножением показания стрелки на множитель, указанный возле используемого предела.

Задание 8-4-1.

1. Возьмите омметр и ознакомьтесь с ним. Обратите внимание, что любой омметр имеет источник питания из одного или нескольких гальванических элементов.

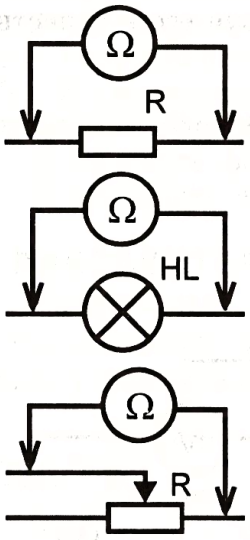


Рис. 8-4-4

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. 8-4-4, а);

б) проверки целостности нити накала лампы (рис. 8-4-4, б);

в) обнаружения обрыва в изолированных проводах.

4. Подключите омметр между движком и одним из крайних выводов переменного резистора (рис. 8-4-4, в). Вращая ручку резистора, следите за стрелкой омметра. Сделайте вывод.

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

Задание 8-4-2.

Соберите конструкцию омметра и проградуируйте его шкалу.

1. Соберите электрическую цепь омметра по рис. 8-4-5, а и б. Лабораторный миллиамперметр включите в предел измерения "5 мА".

2. На защитное стекло прибора наложите вырезанную из бумаги заготовку новой шкалы; сделайте ее такой, чтобы сверху виднелся конец стрелки (рис. 8-4-5, в).

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

4. Подключайте к щупам поочередно резисторы с известными сопротивлениями, например, 100, 200, 300 Ом и отмечайте на шкале каждый раз поло-

жение стрелки; рядом ставьте значения сопротивления. Таким образом, проградуируйте шкалу омметра до 1 кОм.

Сопротивления больше 300 Ом составьте последовательным соединением других резисторов из данного вам комплекта.

5. Сделанный вами омметр используйте для:
   а) измерения сопротивления разных резисторов до 1000 Ом;
   б) проверки целостности нити накала лампы;
   в) обнаружения обрыва в проводе.

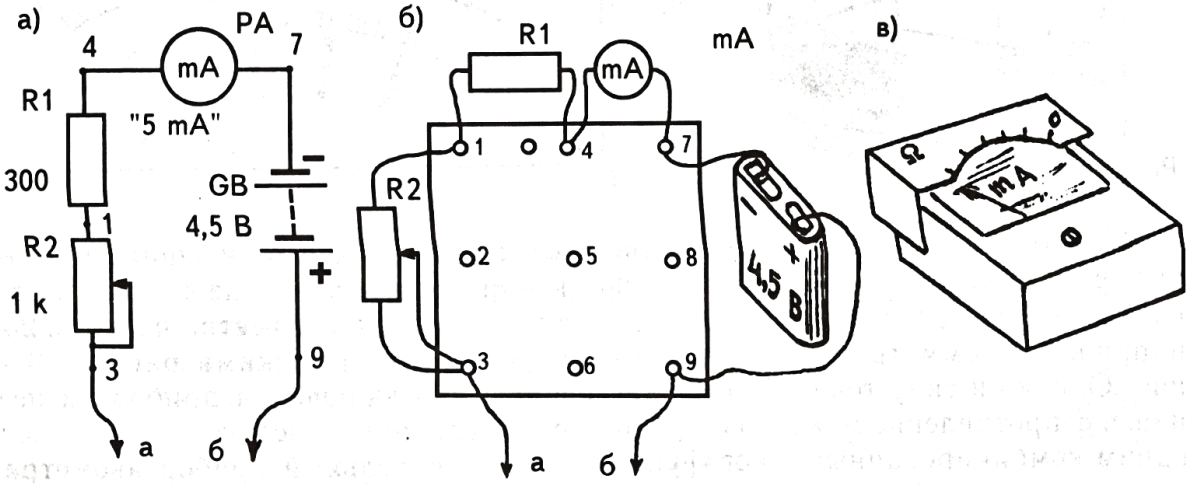


Рис. 8-4-5

§ 8-5. НЕМНОГО О ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Источники тока, у которых полярность выводов (электродов) с течением времени не изменяется, имеют постоянную ЭДС. В электрической цепи, подключенной к источнику с постоянной электродвижущей силой, возникает постоянный ток, который течет только в одном направлении: от вывода источника со знаком "+" к выводу со знаком "−".

Постоянный ток на участке с сопротивлением R, согласно закону Ома, создает постоянное напряжение: $U=I \times R$.

Источниками постоянного тока (ЭДС, напряжения) являются гальванические элементы, батареи, аккумуляторы.

Источники тока, у которых полярность выводов периодически чередуется, имеют переменную ЭДС. Они в цепи создают переменное напряжение и переменный ток, направление которого периодически изменяется с течением времени.

Источником переменной ЭДС являются различные генераторы. Например, между выводами сетевой розетки в квартире существует переменное напряжение 220 В. Полярность выводов розетки чередуется быстротой (частотой) 50 раз в секунду. Значит, в квартирных осветительных лампах ток меняет свое направление 50 раз в секунду.

Внимание! Пока в наших исследованиях мы будем пользоваться только источниками постоянного тока. Подробнее о переменном токе поговорим попозже.

§ 8-6. АВОМЕТР - ЭТО КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИБОР, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

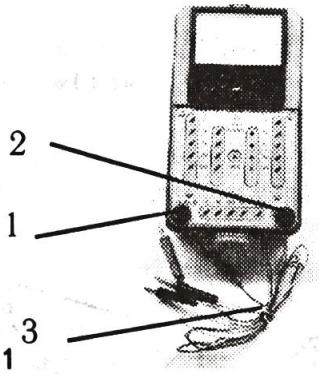


Рис. 8-6-1

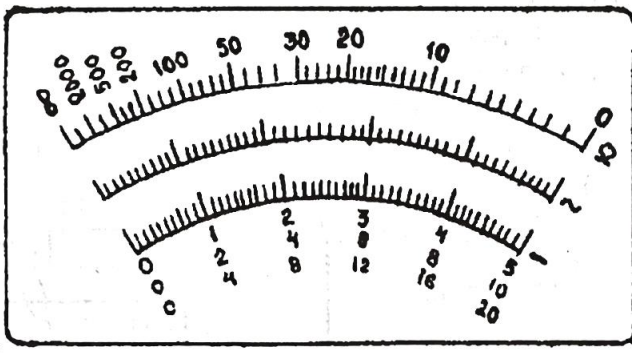


Рис. 8-6-2

Мы познакомились с приборами: амперметром, предназначенным для измерения силы тока, вольтметром - напряжения, омметром - сопротивления. Однако и силу тока, и напряжение, и сопротивление можно измерить одним комбинированным многофункциональным прибором. Он включает в себя амперметр, вольтметр, омметр и называется ампервольтомметром, сокращенно - по первым буквам измеряемых электрических величин - АВОметром. На практике используется множество типов авометров. Мы же рассмотрим широко распространенный в школах учебный авометр марки АВО-63. Его внешний вид показан на рис. 8-6-1, где 1 - ручка установки стрелки омметра на нуль, 2 - переключатель режима работы, 3 - щупы для включения прибора к испытательному участку.

Измерительный прибор авометра имеет три шкалы (рис. 8-6-2). Верхняя из них предназначена для измерения сопротивления. Возле нее стоит знак "Ω". Нижней шкалой пользуются при измерении постоянного тока и напряжения. Там поставлен знак "—". По средней шкале со знаком "~" отсчитывают силу переменного тока и значение переменного напряжения.

§ 8-7. АВОМЕТР КАК ОММЕТР

На рис. 8-7-1 показана та часть авометра, которая используется как омметр, и его шкала.

Обратите внимание на то, что метка на ручке переключателя рода работы должна быть расположена напротив знака "Ω".

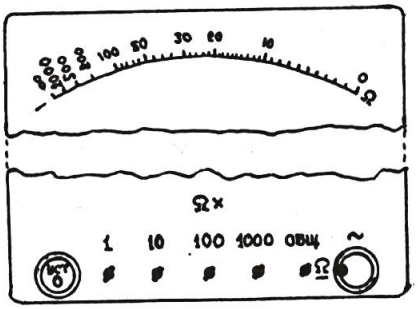


Рис. 8-7-1

Омметр имеет четыре предела измерения: "1", "10", "100", "1000". Правое гнездо является общим для всех пределов измерения. К нему подведен вывод "+" источника питания. На остальных гнездах имеется "—" питания. Сам источник питания состоит из трех элементов и располагается на обратной стороне корпуса прибора в специальном ящике.

Задание 8-7-1.

1. Отверткой откройте крышку ящика для хранения элементов.
2. При необходимости ножом (шкуркой) зачистите контакты. Помните, что контакты имеют склонность к окислению с течением времени.
3. Установите элементы с учетом полярности и закройте крышку.

Задание 8-7-2.

Используйте авометр для измерения сопротивления резисторов.

1. Установите переключатель рода работы в положение " Ω ".
2. Один из щупов включите в гнездо "- Общ", другой - в гнездо "1".
3. Замкните свободные концы щупов между собой и ручкой установки нуля стрелку прибора приведите в крайнее правое положение против знака "0" верхней шкалы, отмеченной знаком " Ω ".
4. Возьмите резистор с сопротивлением от 1 до 100 Ом и к его выводам приложите свободные концы щупов (см. рис. 8-7-2). Сопротивление резистора соответствует показанию стрелки на шкале омметра.

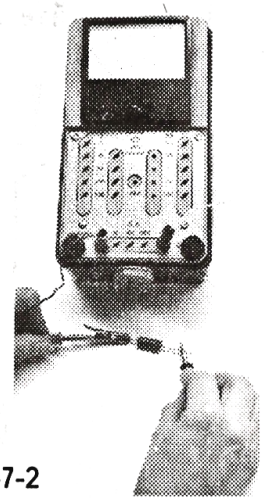


Рис. 8-7-2

Если измерение производится включением второго щупа в гнезда "10", "100", "1000", то сопротивление измеряемого участка определяется умножением показания стрелки на шкале на число, стоящее возле используемого гнезда. Например, если второй щуп включен в гнездо "100" и стрелка при измерении остановилась против деления "50", это значит, что сопротивление участка составляет 50x100=5000 Ом или 5 кОм.

Внимание! При переключении второго щупа с одного предела на другой перед измерением всегда необходимо установить стрелку прибора в нулевое положение.

Задание 8-7-3.

Подумайте, как можно использовать омметр для проверки целостности спиралей ламп накаливания и для обнаружения обрыва в проводах, скрытых изоляцией.

Задание 8-7-4.

Измерьте сопротивление Вашего тела омметром.

1. Установите омметр (рис. 8-7-3) на измерение сопротивления в килоомах (1000 Ом).
2. Коснитесь щупов омметра сухими руками и измерьте ваше сопротивление.
3. Намочите руки и вновь определите сопротивление.
4. Вычислите, какой силы ток протекает по вашему

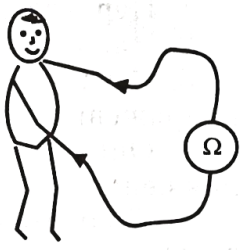


Рис. 8-7-3

телу в опытах 2 и 3, если напряжение питания омметра составляет 4,5 В.

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

§ 8-8. АВОМЕТР КАК ВОЛЬТМЕТР

Задание 8-8-1.

Используйте авометр для измерения постоянного напряжения.

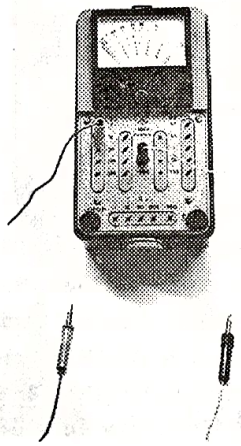


Рис. 8-8-1

1. Переключатель режима работы поставьте в положение " Ω ".

2. Найдите шкалу вольтметра постоянного тока - нижняя со знаком " — ".

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

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

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

5. Подсоедините прибор параллельно измеряемому участку электрической цепи. Для этого конец одного проводника включите в гнездо "— Общ" (оно в середине панели, см. рис. 8-8-1), а конец другого - в выбранное гнездо первого левого ряда, где стоит обозначение "—". Свободные концы щупов соедините с концами исследуемого участка цепи.

Внимание! Гнездо "— Общ" соединяют с той точкой цепи, которая связана с выводом "минус" источника тока.

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

Задание 8-8-2.

Используйте авометр для измерения переменного напряжения.

1. Переключатель рода работы поставьте в положение " ~ ".

2. Найдите нужную шкалу - она средняя, там стоит знак " ~ ".

3. Изучите имеющиеся в приборе четыре предела измерения переменного напряжения: 10 В, 50 В, 200 В, 500 В.

4. Определите цену деления прибора на каждом пределе измерения напряжения.

5. Подготовьте прибор к работе: один конец щупа включите в гнездо "— Общ", другой - в гнездо выбранного предела измерения во втором левом

вертикальном ряду. Свободные концы щупов соедините параллельно с концами исследуемого участка (см. рис. 8-8-2).

6. Измерьте:

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

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

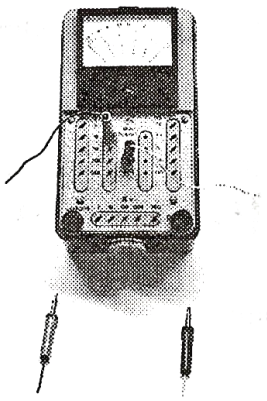


Рис. 8-8-2

§ 8-9. АВОМЕТР КАК МИЛЛИАМПЕРМЕТР

Задание 8-9-1.

Используйте авометр для измерения силы постоянного тока.

1. Переключатель режима работы поставьте в положение " Ω ".

2. Найдите шкалу для работы с постоянным током - нижняя со знаком " - ".

3. Выберите предел измерения (нужное гнездо). В вашем распоряжении следующие пять пределов: 0,2 мА, 0,5 мА, 5 мА, 50 мА, 500 мА - смотрите правый ряд гнезд, около которых стоит обозначение "мА-".

4. Определите цену деления шкалы миллиамперметра для данного предела измерения.

5. Соедините авометр с исследуемым участком электрической цепи. Для этого конец одного щупа вставьте в гнездо "- ОБЩ", другой - в гнездо выбранного вами предела измерения; свободные концы присоедините к точкам разрыва изучаемой цепи *R* так, чтобы прибор оказался включенным последовательно (см. рис. 8-9-1).

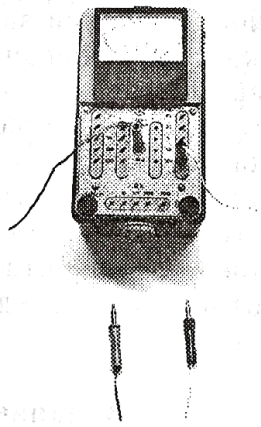


Рис. 8-9-1

Внимание! Гнездо "- ОБЩ" подключают в цепь со стороны знака "минус" источника питания.

Задание 8-9-2.

Используйте авометр для измерения силы переменного тока (рис. 8-9-2).

1. Переключатель режима работы поставьте в положение " ~ ".

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

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

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

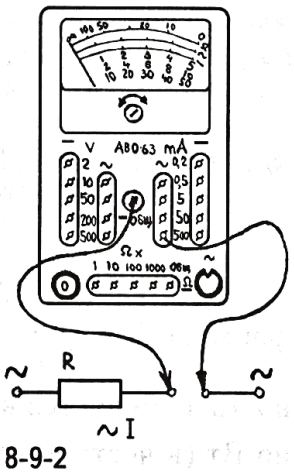


Рис. 8-9-2

Глава 9

Работа и мощность электрического тока

§ 9-1. 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,

q - заряд, Кл,

U - напряжение (разность потенциалов) на концах проводника, по которому переместился заряд q, В.

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

Задание 9-1-1.

На цоколе миниатюрных ламп накаливания обычно указывают номинальные (рабочие) значения напряжения и силы тока (см. рис. 9-1-1).

Вычислите работу в лампах накаливания, прилагаемых в комплекте, за 1 секунду, 1 минуту и 1 час. Не забудьте для расчета минуту и час выразить в секундах.



Рис. 9-1-1

§ 9-2. 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: $P=UI$, которая выводится так: $P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$.

Задание 9-2-1.

Используя закон Ома для участка цепи, выведите еще две формулы мощности: $P=I^2R$ и $P=\frac{U^2}{R}$.

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

Задание 9-2-2.

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

Задание 9-2-3.

По номинальным значениям напряжения и силы тока миниатюрной лампы накаливания, указанным на цоколе (рис. 9-2-1), определите: а) номинальную мощность P; б) номинальное сопротивление R.



Рис. 9-2-1

Задание 9-2-4.

По паспортным данным (P и U) осветительной лампы определите номинальную силу тока I и сопротивление спирали R.

Задание 9-2-5.

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.

§ 9-3. РЕЗИСТОРЫ ТОЖЕ ОБЛАДАЮТ МОЩНОСТЬЮ

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.

На условных обозначениях мощности обозначаются черточками, нарисованными на символах резисторов (рис. 9-3-1).

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.

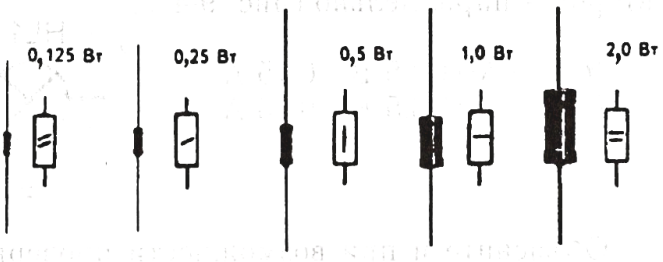


Рис. 9-3-1

Задание 9-3-1.

1. Определите мощность входящих в комплект резисторов.
2. Зная мощность резистора P и его сопротивление R, из формулы $P=I^2R$ вычислите максимальную силу тока, которую можно пропустить по нему.
3. Зная мощность резистора P и его сопротивление R, из формулы $P=\frac{U^2}{R}$ вычислите максимальное напряжение, которое можно подать на него.

Задание 9-3-2.

Лампа МН 3,5В × 0,15А подключена к источнику напряжения 6 В через ограничительный резистор R (рис. 9-3-2).

Вычислите сопротивление и мощность резистора.

Ваши расчеты проверьте экспериментально.

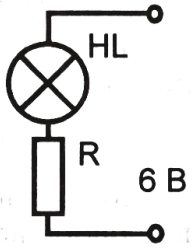


Рис. 9-3-2

§ 9-4. ТОК, ПРОТЕКАЯ ПО ПРОВОДНИКАМ, НАГРЕВАЕТ ИХ

Прохождение тока по проводникам сопровождается различными действиями. Например, химическими, магнитными, тепловыми. Остановимся на тепловом действии электрического тока, которое находит широкое применение. Трудно себе представить нашу повседневную жизнь без электро -утюгов, -плиток, -сушилок, -паяльников, -нагревателей и т.д. Во всех этих приборах работа электрического поля по перемещению зарядов $A=UIt$ сопровождается превращением электрической энергии в тепловую Q, которая, как и работа, измеряется в джоулях. Следовательно, $A=Q=UIt$.

Задание 9-4-1.

1. Используя закон Ома для участка цепи, выведите еще две формулы для расчета количества теплоты:

$$Q=I^2Rt \quad и \quad Q=\frac{U^2}{R}t.$$

2. Две лампы с различными сопротивлениями спиралей, но рассчитанные на одинаковые напряжения, соединены в первом случае последовательно, во втором - параллельно (рис. 9-4-1).

HL1 – МН 3,5 В × 0,15 А,
HL2 – МН 3,5 В × 0,26 А.

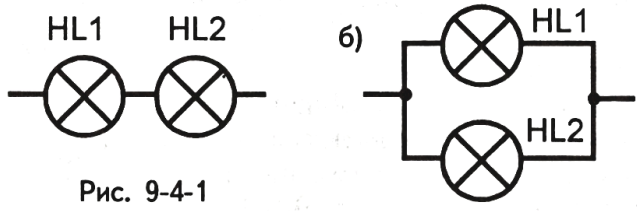


Рис. 9-4-1

Объясните и при возможности проверьте экспериментально, когда и какая лампа горит ярче? Почему?

§ 9-5. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ЗАЩИЩАЮТ ЭЛЕКТРОПРИБОРЫ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

На тепловом действии тока основано применение предохранителей - устройств, защищающих электроприборы от выхода из строя при перегрузках. Условные обозначения предохранителей и их внешние виды показаны на рис. 9-5-1. Они обычно изготавливаются из медной проволоки, покрытой оловом. При превышении потребляемой электроприбором силы тока определенного значения проволока расплавляется (перегорает), разрывая цепь питания.

Помните о том, что:

а) для смены предохранителя прибор надо выключить из сети;

б) перегоревший предохранитель должен быть заменен предохранителем из провода того же диаметра (сечения);

в) перегорание вновь замененного предохранителя свидетельствует о неисправности самого потребителя электрической энергии.

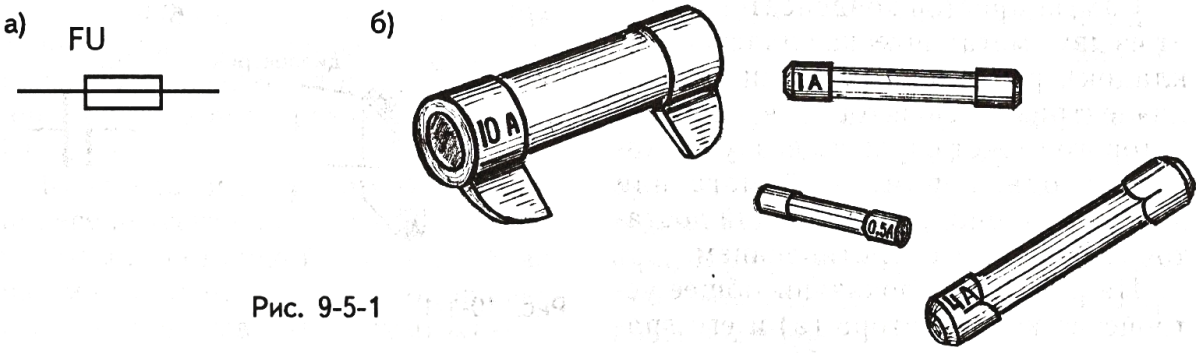


Рис. 9-5-1

Глава 10

Электрическая емкость. Конденсаторы

§ 10-1. КОНДЕНСАТОР - ЭТО УСТРОЙСТВО, ПРЕДНАЗНАЧЕННОЕ ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Самый простой конденсатор состоит из двух металлических пластин (обкладок), разделенных тонким слоем диэлектрика (изолятора), в качестве которого может служить воздух, фарфор, слюда, керамика, бумага или другой материал, обладающий достаточно большим сопротивлением.

На рис. 10-1-1 показаны общее устройство конденсатора (а) и его графическое обозначение (б).

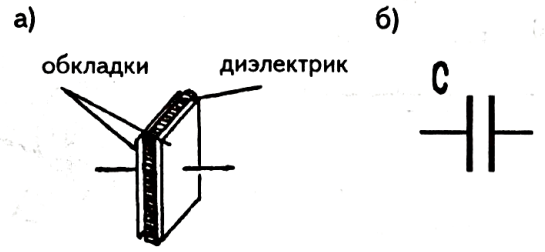


Рис. 10-1-1

§ 10-2. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ - ЭТО ВЕЛИЧИНА, ХАРАКТЕРИЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ КОНДЕНСАТОРА НАКАПЛИВАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Электроемкость (или емкость) определяется по формуле

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

где q - заряд конденсатора, Кл,

U - напряжение между обкладками конденсатора, В,

C - емкость конденсатора; за единицу емкости принят фарад (Ф) - дань памяти известному английскому ученому **Майклу Фарадею**, который проводил многочисленные опыты с электричеством.

На практике для удобства вводят более мелкие единицы:

микрофарад (мкФ),
нанофарад (нФ),
пикофарад (пФ).

Между ними существует такое соотношение:

$1\ Ф = 10^6$ мкФ $= 10^9$ нФ $= 10^{12}$ пФ;
1 мкФ $= 10^3$ нФ $= 10^6$ пФ;
1 нФ $= 10^3$ пФ.

§ 10-3. КОНДЕНСАТОРЫ БЫВАЮТ ПОСТОЯННОЙ ЕМКОСТИ, ПЕРЕМЕННЫЕ И ПОДСТРОЕЧНЫЕ

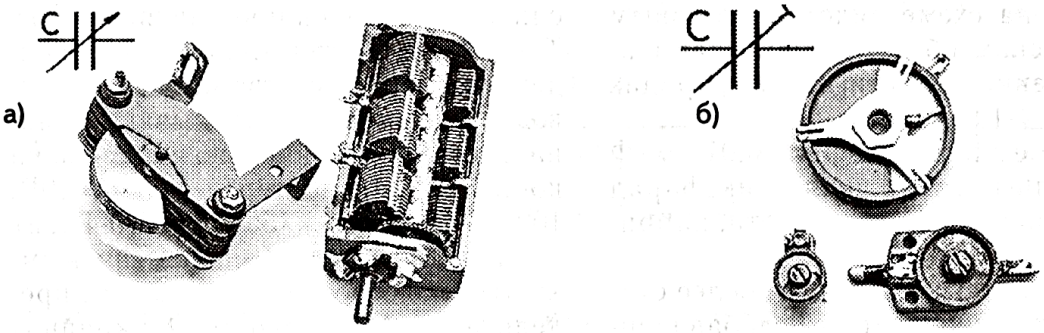


Рис. 10-3-1

Конденсаторы, емкость которых можно менять в заданных интервалах, называются конденсаторами переменной емкости и подстроечными (рис.10-3-1 а, б).

Конденсаторы, у которых емкость не регулируется, называются конденсаторами постоянной емкости. В зависимости от используемого диэлектрика они называются бумажными, слюдяными, керамическими и т.д.

Все они обозначаются так, как показаны на рис. 10-3-2.

Особую группу конденсаторов постоянной емкости составляют оксидные конденсаторы (рис. 10-3-3). Их можно включать только в цепь постоянного или пульсирующего напряжения, обязательно соблюдая полярность выводов.

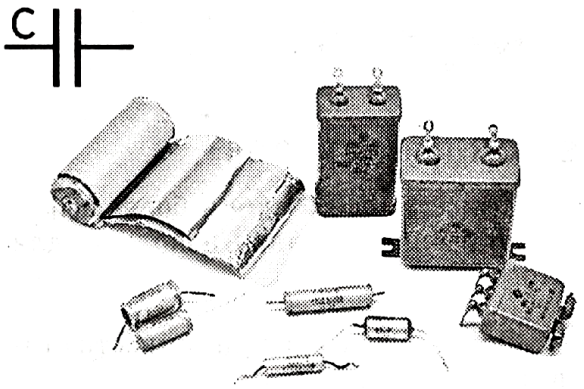


Рис. 10-3-2

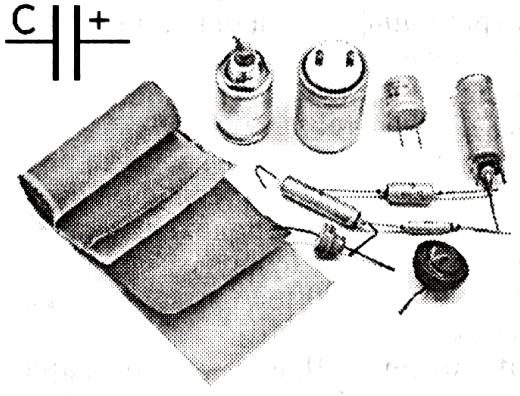


Рис. 10-3-3

§ 10-4. ОБОЗНАЧЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ НА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМАХ

Для конденсаторов постоянной емкости на схеме рядом с условным графическим обозначением указывают значение емкости в пикофарадах (рис. 10-4-1, а).

При емкости менее 0,01 мкФ (10000 пФ) ставят число пикофарад без обозначения размерности, например, 15, 220, 9100.

Для емкости 0,01 мкФ и более ставят число микрофарад с добавлением букв "мк", например, 0,01 мк, 0,15 мк, 10 мк (рис. 10-4-1, б).

У оксидных конденсаторов возле одной из обкладок проставляют плюс. Такой же знак стоит и на корпусе конденсатора около соответствующего вывода. Для них также указывают номинальное напряжение (оно написано на корпусе конденсатора) - 5 мк×10В, 100 мк×25В, 500 мк×50В (рис. 10-4-1, в).

Для конденсаторов переменной емкости и подстроечных указывают пределы изменения емкости при крайних положениях ротора, например, 6...30, 10...180, 6...470 (рис. 10-4-1, г).

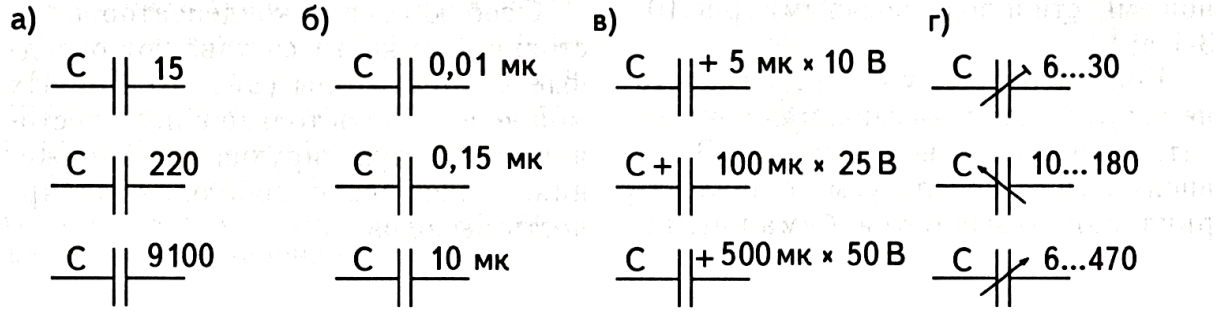


Рис. 10-4-1

§ 10-5. КОДИРОВАНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

На корпусах конденсаторов номинальные емкости кодируются двумя или тремя цифрами и буквами латинского алфавита:

p - пикофарады,

n - нанофарады,

μ - микрофарады.

Номинальные емкости до 91 пФ выражают в пикофарадах, используя для обозначения букву *p*;

от 100 до 9100 пФ - в долях нанофарады;

от 0,01 до 0,091 мкФ - в нанофарадах, которая обозначается буквой *n*.

Емкости от 0,1 мкФ и более выражают в микрофарадах, используя для этого букву μ.

Обозначение единицы емкости ставят:

впереди числа, если емкость выражается десятичной дробью: р91 (0,91 пФ), n15 (0,15 нФ = 150 пФ), μ47 (0,47 мкФ);

вместо запятой, если емкость составляет целое число с десятичной дробью: 1р6 (1,6 пФ), 5n1 (5,1 нФ), 3μ3 (3,3 мкФ);

после числа, если емкость конденсатора равна целому числу: 10р (10 пФ), 22n (22 нФ), 50μ (50 мкФ).

Допустимые отклонения емкости в процентах маркируются после номинального значения емкости буквенным кодом согласно таблице.

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

Задание 10-5-1.

Расшифруйте емкости и допустимые отклонения по надписям на корпусах конденсаторов:

а) входящих в комплект;

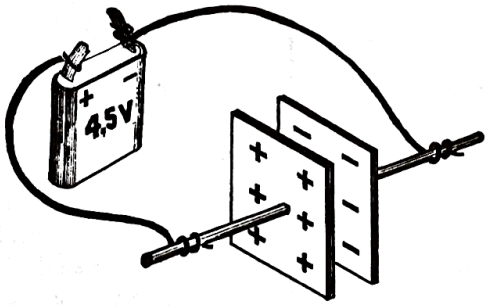
б) приведенных на рисунке 10-5-1.



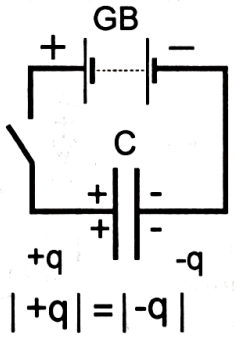
Рис. 10-5-1

§ 10-6. КОНДЕНСАТОР - НАКОПИТЕЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

а)



б)



$|+q| = |-q|$

Рис. 10-6-1

Конденсатор при подключении к источнику тока накапливает на своих обкладках электрическую энергию (электрические заряды). Причем, на обкладках накапливаются равные заряды, но противоположные по знаку (рис. 10-6-1). Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле:

$$W = \frac{CU^2}{2},$$

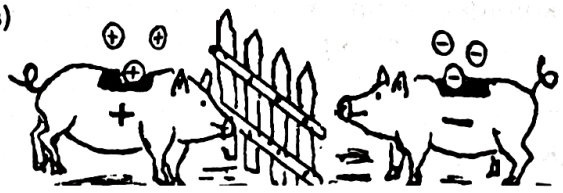
где C - емкость конденсатора, Ф,

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.

в)



Задание 10-6-1.

1. Зарядите оксидный конденсатор большой емкости (500 -2000 мкФ), подключив к источнику тока с учетом полярностей выводов (рис. 10-6-2). Касание выводов конденсатора к электродам источника питания может быть кратковременным, т.к. зарядка происходит мгновенно.

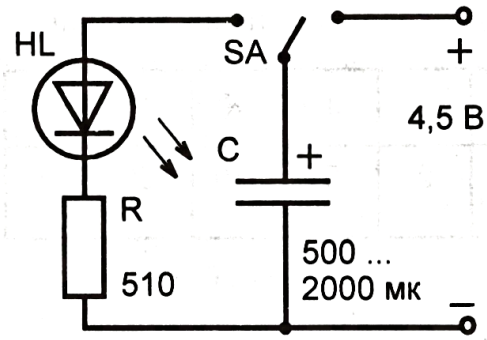


Рис. 10-6-2

2. Переключите заряженный конденсатор к светодиоду с учетом полярностей и следите за процессом разрядки конденсатора.

3. Вычислите, какую энергию накопит данный конденсатор, если к его обкладкам подать напряжение, равное указанному на корпусе?

Задание 10-6-2.

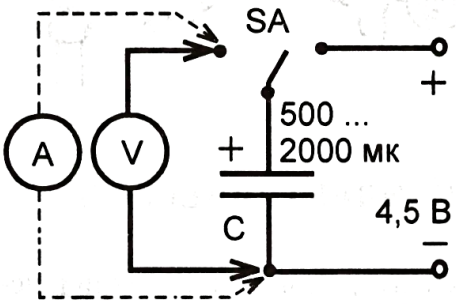


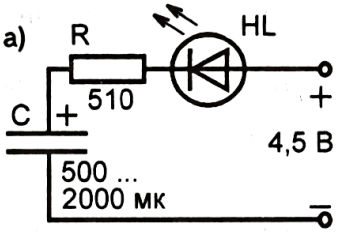
Рис. 10-6-3

Наблюдайте разрядку конденсатора на лабораторные вольтметр и амперметр, включенные с учетом полярности (рис. 10-6-3). Помня, что вольтметр обладает большим сопротивлением (несколько тысяч ом), а амперметр малым сопротивлением (несколько долей ома), объясните различие в их показаниях.

Задание 10-6-3.

Наблюдайте ток зарядки конденсатора.

1. В течение какого времени горит светодиод (рис. 10-6-4, а) при включении цепи к источнику питания? Почему?



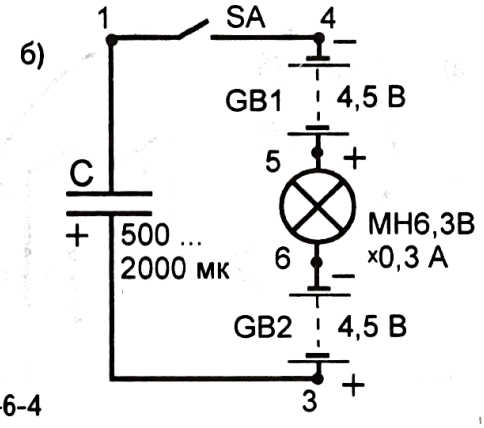


Рис. 10-6-4

2. Соберите цепь по рис. 10-6-4, б и объясните явление, наблюдаемое при замыкании ключа.

Задание 10-6-4.

Исследуйте зависимость времени зарядки конденсатора от сопротивления цепи, следя за увеличением яркости свечения светодиода при подключении разряженного конденсатора к источнику питания при разных положениях движка переменного резистора *R* (рис. 10-6-5).

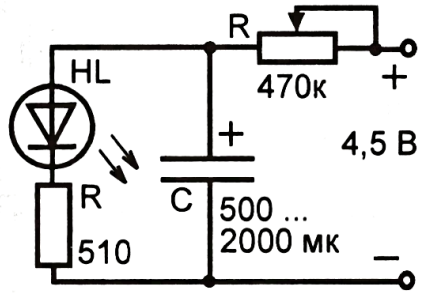


Рис. 10-6-5

Задание 10-6-5.

Самостоятельно изучите зависимость времени разрядки конденсатора от сопротивления цепи разрядки. Схему установки составьте самостоятельно, используя детали предыдущего исследования.

§ 10-7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Подключая к измерительному прибору конденсаторы известной емкости, предварительно заряженные от источника тока одного и того же напряжения, можно определить, что емкость C прямо пропорциональна числу делений n, на которое отбрасывается стрелка: $C = kn$ (рис. 10-7-1).

Коэффициент пропорциональности k численно равен электроемкости, соответствующей одному делению измерительного прибора: $k = \frac{C}{n}$.

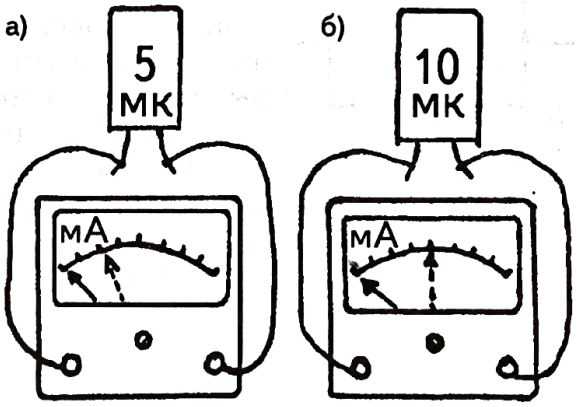


Рис. 10-7-1

Задание 10-7-1.

Определите коэффициент k и вычислите емкость конденсатора.

1. Заряженный конденсатор известной емкости (например, 5, 10, или 20 мкФ) разрядите на миллиамперметр с пределом измерения "5 мА" (рис. 10-7-2). Поделив емкость конденсатора C на число делений n отброса стрелки прибора, определите k.

2. Включите в цепь другой конденсатор неизвестной емкости C_X в пределах 1-20 мкФ и по отклонению стрелки прибора на n_X делений вычислите его емкость: $C_X = k \cdot n_X$.

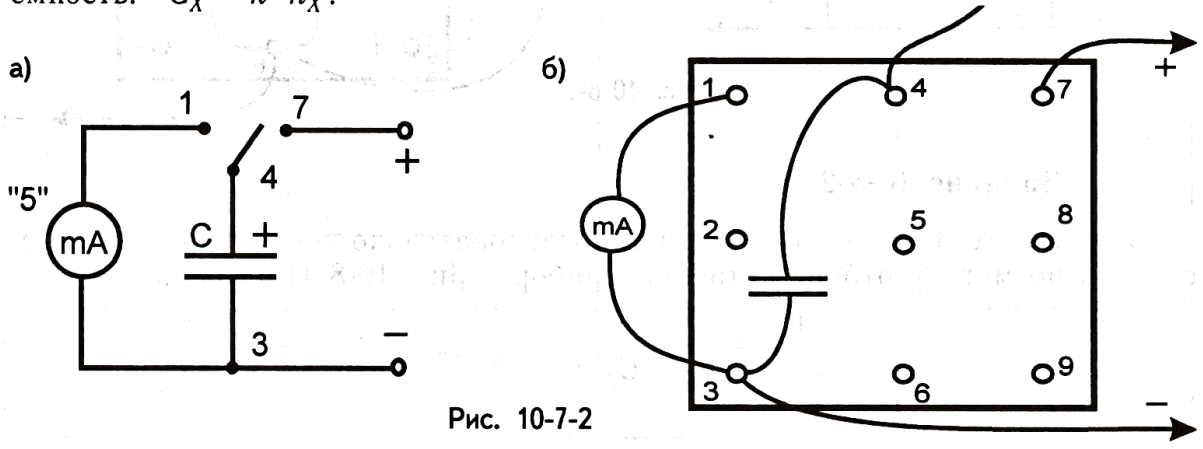
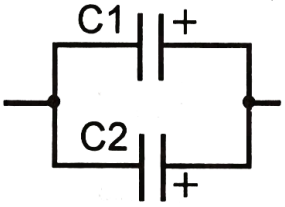


Рис. 10-7-2

§ 10-8. КОНДЕНСАТОРЫ, КАК И РЕЗИСТОРЫ, МОЖНО СОЕДИНИТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО

При параллельном соединении конденсаторов (рис. 10-8-1) общая емкость равна сумме емкостей отдельных конденсаторов: $C_{ОБЩ}=C_1+C_2+C_3+\ldots$.

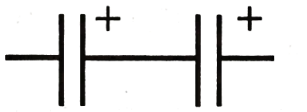


$C_{общ}=C_1+C_2$

Рис. 10-8-1

Внимание! Полярные (оксидные) конденсаторы параллельно соединяются одноименными выводами.

При последовательном соединении конденсаторов



$$\frac{1}{C_{общ}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$$

Рис. 10-8-2

(рис. 10-8-2) обратная величина общей емкости равна сумме обратных величин емкостей конденсаторов:

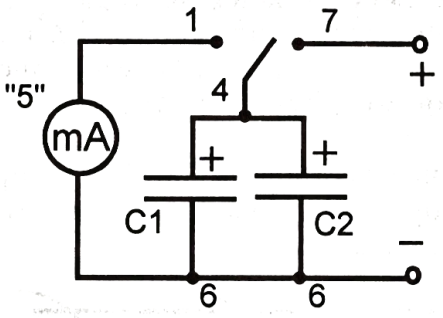
$$\frac{1}{C_{ОБЩ}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\ldots$$

Внимание! При последовательном соединении оксидных конденсаторов вывод "+" одного из них соединяется с выводом "—" другого.

Задание 10-8-1.

Определите общую емкость двух параллельно соединенных конденсаторов по методу отброса стрелки прибора и убедитесь в том, что $C_{ОБЩ}=C_1+C_2$ (рис. 10-8-3). Для опыта конденсаторы берите емкостями, например, 5, 10, 20 мкФ.

а)



б)

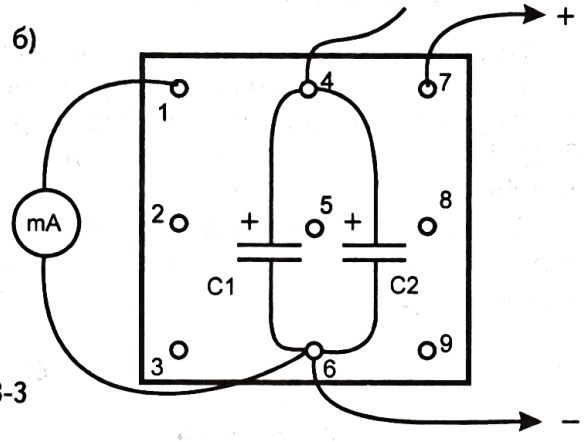


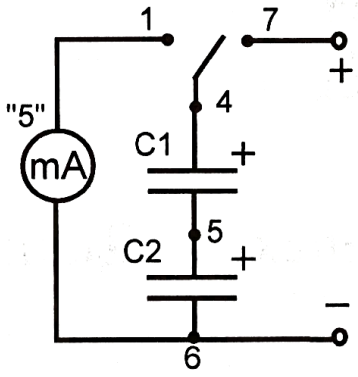
Рис. 10-8-3

Задание 10-8-2.

Определите общую емкость двух последовательно соединенных конденсаторов по методу отброса стрелки прибора (рис. 10-8-4) и убедитесь,

что $\frac{1}{C_{ОБЩ}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$, откуда $C_{ОБЩ}=\frac{C_1\cdot C_2}{C_1+C_2}$.

а)



б)

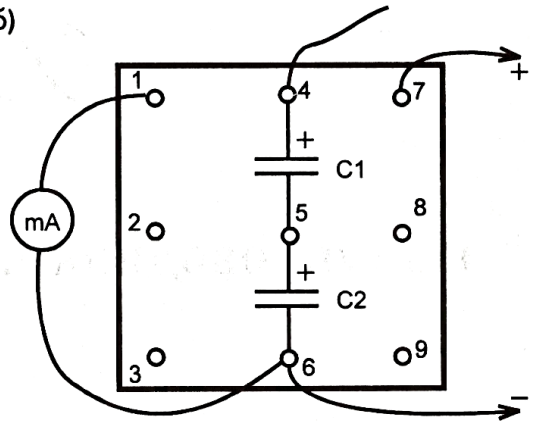


Рис. 10-8-4

Из проделанных исследований очевидно, что при использовании n конденсаторов одинаковыми емкостями C общая емкость определяется:

а) при параллельном соединении

$$C_{ОБЩ}=C\times n;$$

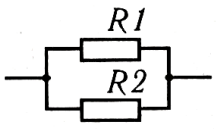
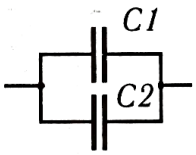
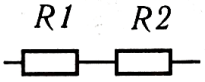
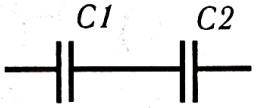
б) при последовательном соединении

$$C_{ОБЩ}=\frac{C}{n}.$$

Задание 10-8-3.

Изучите сравнительную таблицу соединений резисторов и конденсаторов.

Таблица 10-8-1

СОЕДИНЕНИЕ			
параллельное		последовательное	
резисторы	конденсаторы	резисторы	конденсаторы
 $\frac{1}{R_{ОБЩ}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$	 $C_{ОБЩ}=C_1+C_2$	 $R_{ОБЩ}=R_1+R_2$	 $\frac{1}{C_{ОБЩ}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$
если номиналы деталей одинаковы			
$R_{ОБЩ}=\frac{R}{2}$	$C_{ОБЩ}=2\times C$	$R_{ОБЩ}=2\times R$	$C_{ОБЩ}=\frac{C}{2}$

Глава 11

Полупроводники. P-n-переход. Диоды

§ 11-1. ПОЛУПРОВОДНИКИ ЗАНИМАЮТ ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МЕЖДУ ПРОВОДНИКАМИ И ДИЭЛЕКТРИКАМИ

В § 3-2 мы говорили, что 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 рис. 11-1-1 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° С).

При повышении температуры или

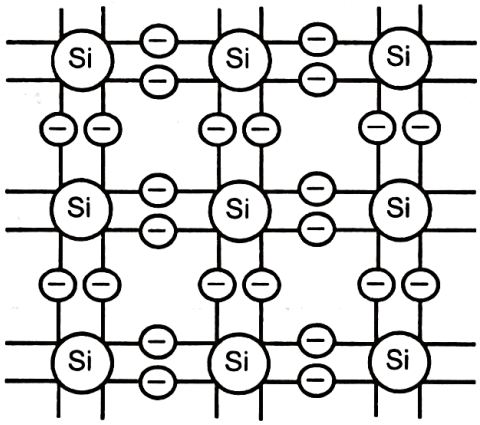


Рис. 11-1-1

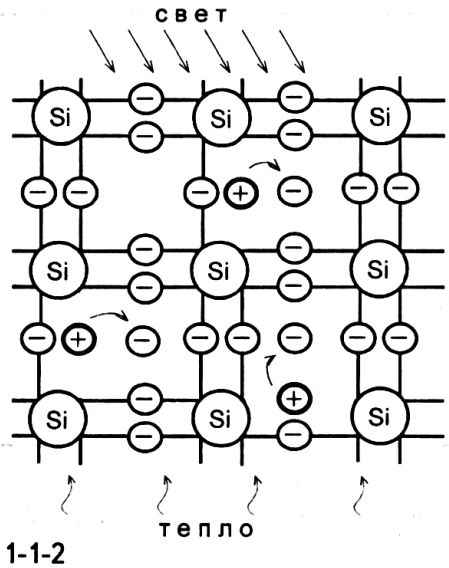


Рис. 11-1-2

при освещении валентные электроны могут оторваться от атомов и стать свободными (рис. 11-1-2). При этом появляются свободные отрицательные заряды-электроны, которые создают в полупроводнике *n* — проводимость (*n* -первая буква латинского слова negativus- 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 positivus-положительный).

Итак, в полупроводниках электрический ток создается отрицательными электронами (*n* -проводимость) и положительными дырками (*p* -проводимость).

§ 11-2. ДОБАВИВ В ЧИСТЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК ПРИМЕСИ, ПОЛУЧАЮТ ПОЛУПРОВОДНИКИ *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. 11-2-1, а).

При добавлении трехвалентного индия (*In*) эти кристаллы превращаются в полупроводники *p* - типа, т. к, на связь с одним их соседних атомов не хватает электрона и здесь образуется дырка (рис. 11-2-1, б).

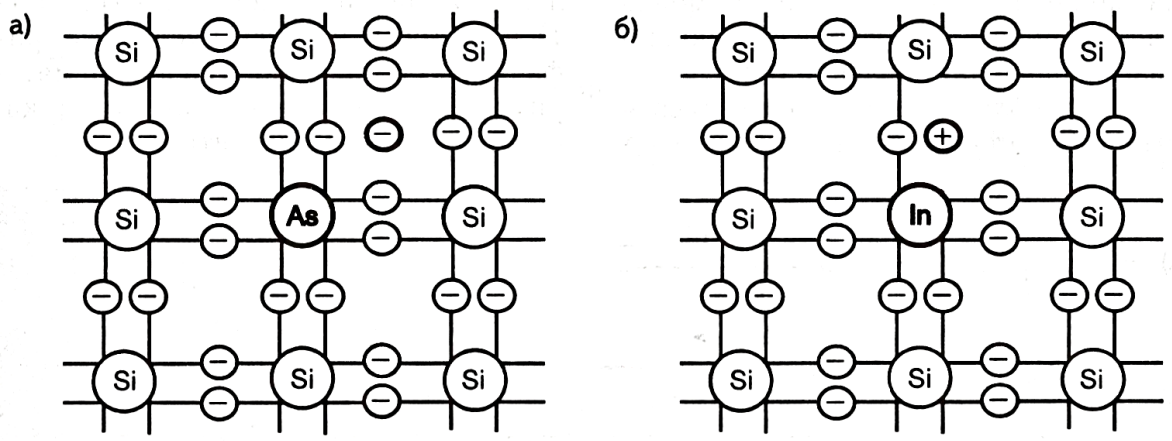


Рис. 11-2-1

§ 11-3. 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.

§ 11-4. 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. 11-4-1, а). Условное графическое обозначение диодов приведено на рис. 11-4-1, б : треугольник соответствует *p* - области и называется анодом, а вертикальный прямолинейный отрезок представляет *n* - область, он получил название "катод". Треугольник можно рассматривать как острие стрелки, показывающей направление тока.

Диод обладает замечательным свойством. Он пропускает ток только в одном направлении - от анода к катоду (рис. 11-4-2). Вспомним, что за направление тока принято направление движения положительных зарядов, т.е. направление от положительного полюса источника к отрицательному. Значит, диод пропускает ток только в том случае, когда к аноду подключено "+", а к катоду "—" питания.

На рис. 11-4-3 показаны внешние виды некоторых широко применяемых диодов.

В данном комплекте диоды установлены на опорных площадках (рис.1-1-1), на которых нанесены условные графические обозначения, тип диода, материал и указана предельная сила тока, на которую диод рассчитан.

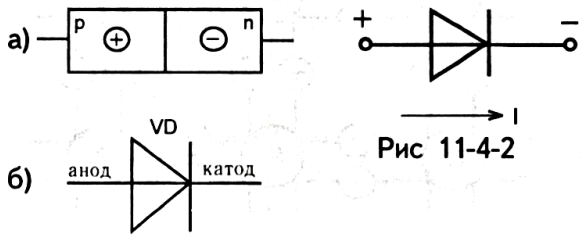


Рис. 11-4-1

Рис 11-4-2

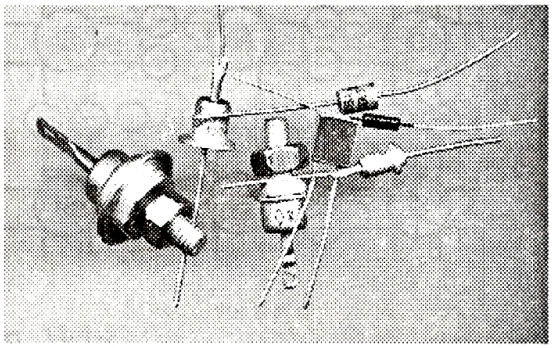


Рис. 11-4-3

Задание 11-4-1.

Изучите прямое включение диода.

1. Соберите цепь по рисунку 11-4-4. Убедитесь, что лампа *HL* горит. Объясните почему?

2. Измерьте напряжение U_1 на лампе, U_2 на диоде и U на участке "лампа-диод". Убедитесь, что последовательно соединенные лампа и диод делят общее напряжение между собой.

3. Сравнивая напряжение на лампе и диоде, ответьте, что из них оказывает большее, а что - меньшее сопротивление току?

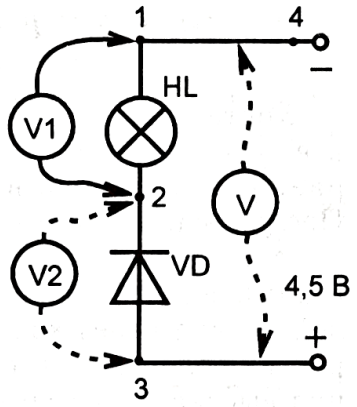


Рис. 11-4-4

Задание 11-4-2.

Изучите обратное включение диода.

1. Соберите цепь по рисунку 11-4-5. Убедитесь, что лампа *HL* не горит. Объясните почему?

2. Измерьте напряжение U_1, U_2, U. Убедитесь, что все общее напряжение питания приходится на долю диода. Объясните, какое сопротивление оказывает току диод, включенный в обратном направлении?

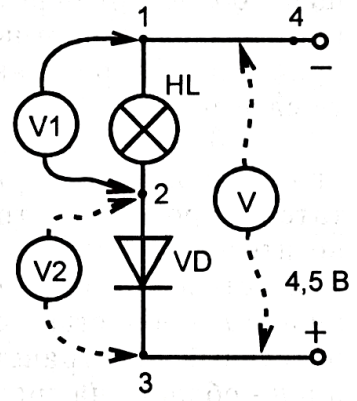


Рис. 11-4-5

Задание 11-4-3.

Определите сопротивление лампы и диода, включенного в прямом направлении.

1. Соберите цепь по рисунку 11-4-6.

2. Измерьте силу тока в цепи и напряжение на лампе и диоде.

3. По закону Ома для участка цепи вычислите сопротивление лампы $R_Л$ и диода $R_Д$.

4. Показания приборов и результаты вычислений занесите в таблицу 11-4-1. Ответьте, чем отличается сопротивление прямо и обратно включенного диода?

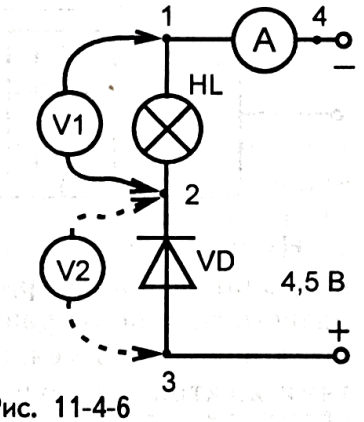


Рис. 11-4-6

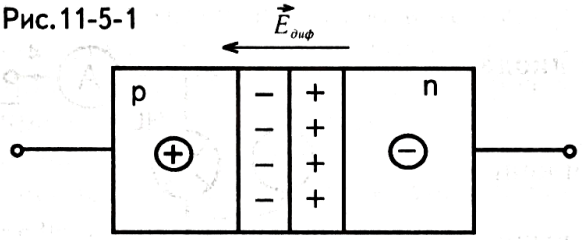
I, А	$U_Л$, В	$U_Д$, В	$R_Л$, Ом	$R_Д$, Ом

Таблица 11-4-1

§ 11-5. 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. В прилегающем к контакту слое толщиной в доли микрометра (10^{-6} - 10^{-7} м) происходит рекомбинация электронов с дырками, в результате которой концентрация основных носителей в нем резко уменьшается. 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.11-5-1).

Рис.11-5-1



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) оказывает тормозящее действие на дальнейшее перемещение основных носителей заряда. Этот слой называется запирающим слоем. Контактная разность потенциалов (напряжение) запирающего слоя составляет 0,1-0,2 В в германиевых диодах и 0,6-0,7 В в кремниевых.

Если к *p – n* - переходу напряжение приложено так, что внешнее электрическое поле направлено от анода к катоду навстречу внутреннему диффузионному полю (рис. 11-5-2, а), 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.

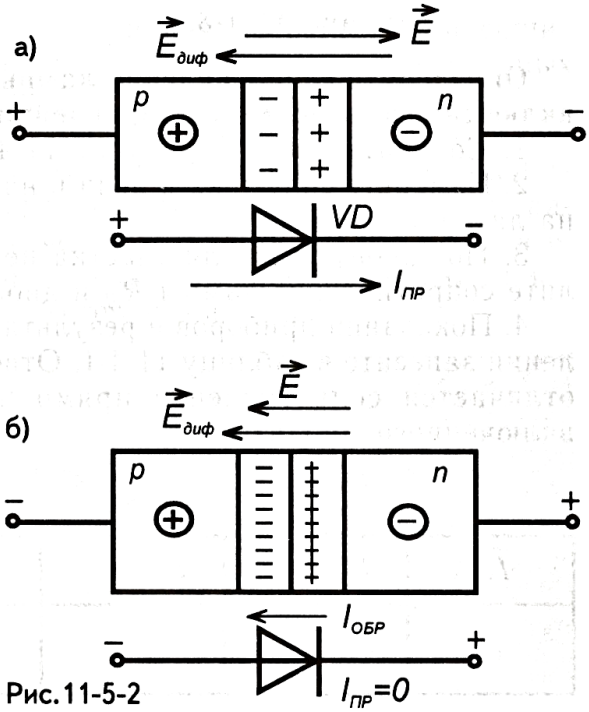


Рис.11-5-2

При изменении полярности приложенного напряжения внешнее электрическое поле совпадает с электрическим полем $p - n$ - перехода (рис.11-5-2, б), 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 11-5-1.

Измерьте омметром прямое (рис. 11-5-3, а) и обратное (рис. 11-5-3, б) сопротивление диода и сравните их. Убедитесь, что прямое сопротивление составляет всего несколько ом, а обратное - десятки или сотни килоом.

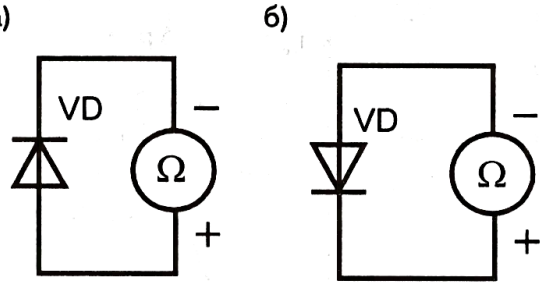


Рис. 11-5-3

Задание 11-5-2.

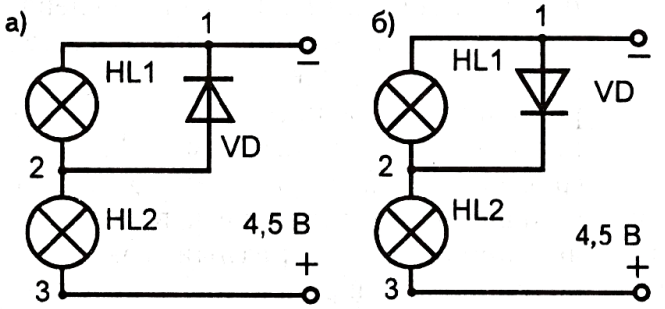


Рис. 11-5-4

Соберите цепи по рис. 11-5-4, а и б.

Объясните:

1) почему в схеме, собранной по рис. 11-5-4, а, лампа *HL2* горит ярко, а лампа *HL1* тускло (или совсем не горит)?

2) почему в схеме на рис. 11-5-4, б обе лампы светят одинаково ярко?

Задание 11-5-3.

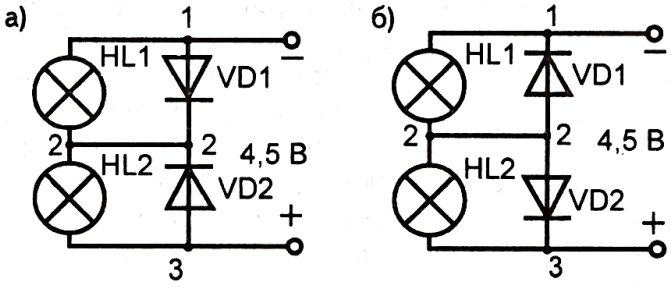


Рис. 11-5-5

Соберите схемы по рис. 11-5-5, а, б и укажите путь тока в них.

Как изменится яркость свечения ламп при измерении полярности питания? Ваш вывод проверьте на опыте.

Задание 11-5-4.

Соберите схему (рис. 11-5-6) и проверьте, как изменится яркость свечения ламп при изменении полярности питания.

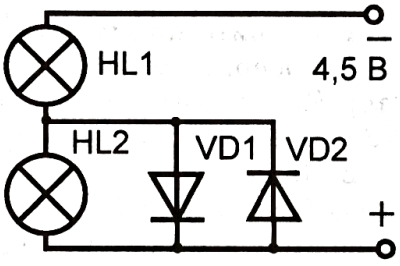


Рис. 11-5-6

§11-6. ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИОДА - ЭТО ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ ТОКА В НЕМ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

Вольт-амперная характеристика диода, показывающая зависимость протекающего по нему тока от значения и полярности поданного напряжения, является его основной характеристикой (рис. 11-6-1).

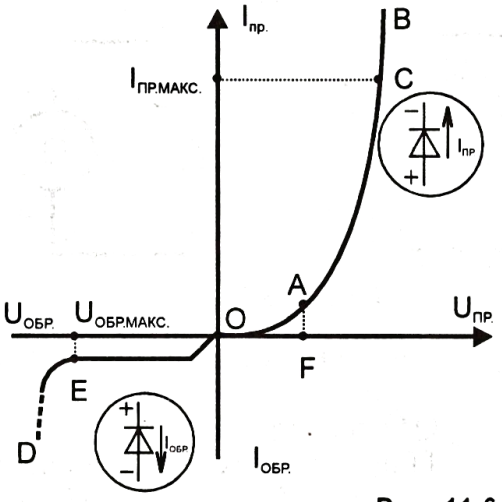


Рис. 11-6-1

Напряжение $U_{ПР}$, 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 (рис. 11-5-2, а).

Зависимость силы прямого тока от прямого напряжения показана на рис.11-6-1 в верхней правой части графика; ветвь *OB*. Вначале, при малых напряжениях, прямой ток растет незначительно. Это участок *OA* (загиб или "ступенька"), происхождение которого объясняется разностью потенциалов запирающего слоя: для германиевых диодов этот участок составляет 0,1-0,2В, а для кремниевых - 0,5-0,7В. Дальше ветвь *AB* идет круто вверх, обозначая быстрый рост прямого тока через диод с увеличением приложенного прямого напряжения.

На ней лежит один из основных параметров диода (точка *C*) - максимально допустимый прямой ток $I_{ПР.МАКС}$ через диод. При его превышении может произойти разрушение $p - n$ - перехода из-за его перегрева.

При подаче на диод обратного напряжения $U_{ОБР}$, т.е. такого, при котором с анодом соединен "минус" источника тока, а с катодом - "плюс" (рис.11-5-2, б), $p - n$ - переход имеет большое сопротивление и в цепи течет небольшой обратный ток $I_{ОБР}$, обусловленный движением неосновных носителей зарядов. Эта зависимость показана на рис.11-6-1 в левой нижней части графика - ветвь *OD*.

Существует еще один важный параметр диода - его максимальное обратное напряжение $U_{ОБР.МАКС}$ (соответствует точке *E*), при превышении которого может произойти разрушение (пробой) $p - n$ -перехода.

Задание 11-6-1.

Постройте прямую ветвь графика вольт-амперной характеристики диода.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 11-6-2, а и б. В ней переменный резистор *R1* служит для плавного регулирования напряжения на диоде, а резистор *R2* играет роль ограничителя тока, защищая миллиамперметр от перегрузки.

2. Напряжение на кремниевом диоде увеличивайте каждый раз на 0,1 В, доведя его до 0,8 В; каждый раз снимайте показания миллиамперметра, которые заносите во вторую строку таблицы 11-6-1.

3. По полученным данным постройте график зависимости силы прямого тока от напряжения. Рекомендуемый масштаб: 1 см - 5 мА; 0,1 В.

4. По графику определите значение разности потенциалов запирающего слоя *p* – *n* - перехода.

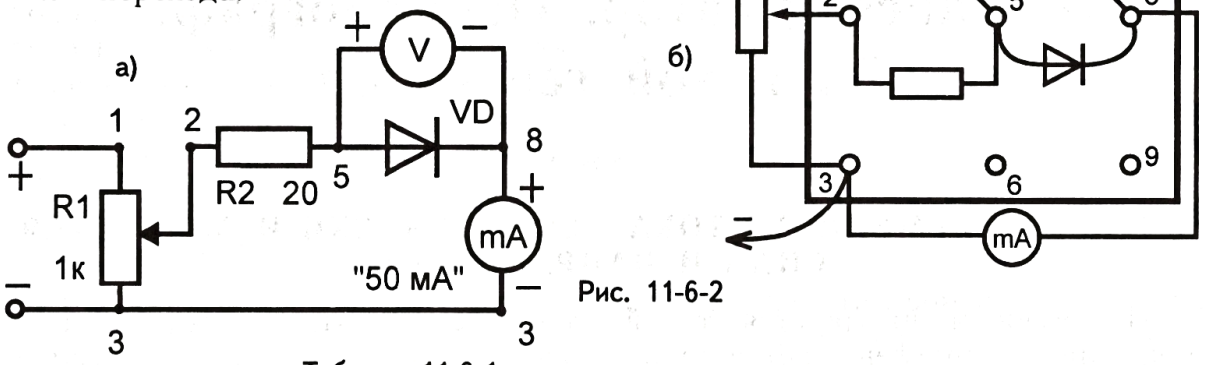


Рис. 11-6-2

Таблица 11-6-1

$U_{ПР}$, В	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$I_{ПР}$, мА, Si									

Примечание.

На рис. 11-6-3 приведена схема для исследования зависимости силы обратного тока от напряжения на диоде.

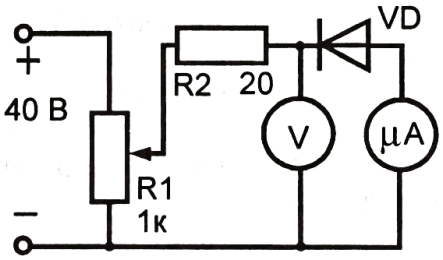


Рис. 11-6-3

Она отличается от предыдущей установки тем, что на потенциометр *R1* подается довольно высокое напряжение (можно использовать сетевой блок питания, например, ВС-24), и клеммы вольтметра охватывают не только электроды диода, но и последовательно соединенный с ним микроамперметр. Это легко объясняется, если вспомнить о сопротивлении вольтметра, которое гораздо меньше, чем обратное сопротивление диода. Если бы мы подключили его к диоду так же как на рис. 11-6-2, а, микроамперметр показал бы не столько силу обратного тока диода, сколько силу тока, проходящего через катушку вольтметра. А при таком соединении (рис. 11-6-3) весьма малым сопротивлением микроамперметра по сравнению с очень большим обратным сопротивлением диода можно пренебречь. Ограничительный резистор *R2* в этой схеме можно исключить.

Таблица 11-6-2

$U_{ОБР}$, В	0	6	12	18	24	30	36
$I_{ОБР}$, мкА							

Внимание!

1. Материал о светодиодах, в которых прохождение света сопровождается излучением света, был рассмотрен в задании 3-4-1. Предлагаем ознакомиться с ним еще раз.

2. Справочные данные о диодах приведены в конце книги в приложении.

Глава 12

Переменный электрический ток. Трансформатор. Осциллограф. Звуковой генератор

§ 12-1. 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.12-1-1, б). По такому принципу работают промышленные генераторы электростанций.

Кроме этого существуют ламповые, транзисторные и другие генераторы переменного тока.

В отличие от источников постоянного тока, у генераторов переменного тока знаки электрических зарядов на электродах непрерывно чередуются, вызывая одновременные изменения полярности и величины напряжения. Следовательно, в электрической цепи, подключенной к источникам переменного напряжения, происходит изменение силы и направления тока. Электроны в цепи переменного тока колеблются как бы из стороны в сторону.

На рис. 12-1-2, а, б показаны графики изменения напряжения и силы переменного тока.

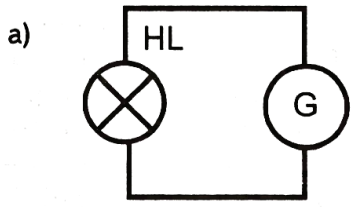
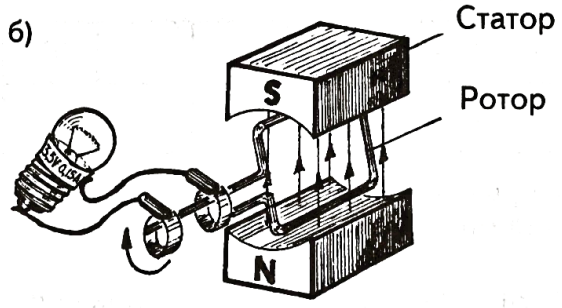


Рис. 12-1-1



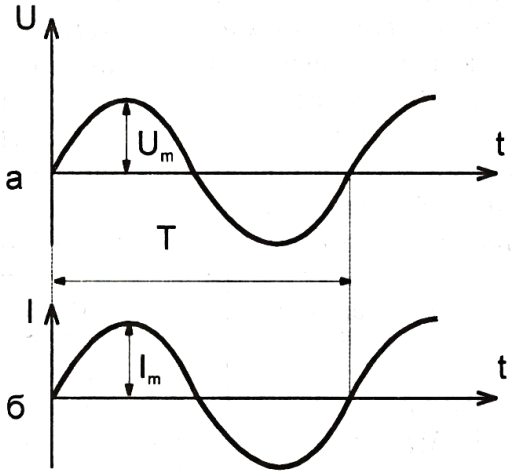


Рис. 12-1-2

§ 12-2. ПЕРИОД, ЧАСТОТА И АМПЛИТУДА - ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основными параметрами переменного тока являются период, частота, амплитуда и действующее значение.

Периодом T называется промежуток времени, в течение которого сила тока и напряжение совершают одно полное колебание (рис. 12-1-2).

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:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{1}{T} \ .$$

Задание 12-2-1.

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, 800, 2400 Гц и т.д.

Вычислите периоды токов вышеназванных частот.

Амплитудой силы тока I_M и напряжения U_M называются их наибольшие значения за период. Например, по графикам (рис.12-1-2, а, б) видно, что за один период сила тока и напряжение дважды достигают амплитудного значения.

В цепи переменного тока напряжение и сила непрерывно изменяются, принимая значения между нулевым и амплитудным значениями. 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:

$$I \approx 0{,}7\, I_M ;$$

$$U \approx 0{,}7\, U_M .$$

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 и частота тока.

Задание 12-2-2.

Известное всем бытовое напряжение 220 В представляет собой действующее значение напряжения.

Определите его амплитудное значение.

§ 12-3. ТРАНСФОРМАТОР - ЭТО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

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 рис.12-3-1 приведены условное обозначение и схематическое изображение трансформатора. Внешний вид некоторых трансформаторов показан на рис. 12-3-2.

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.

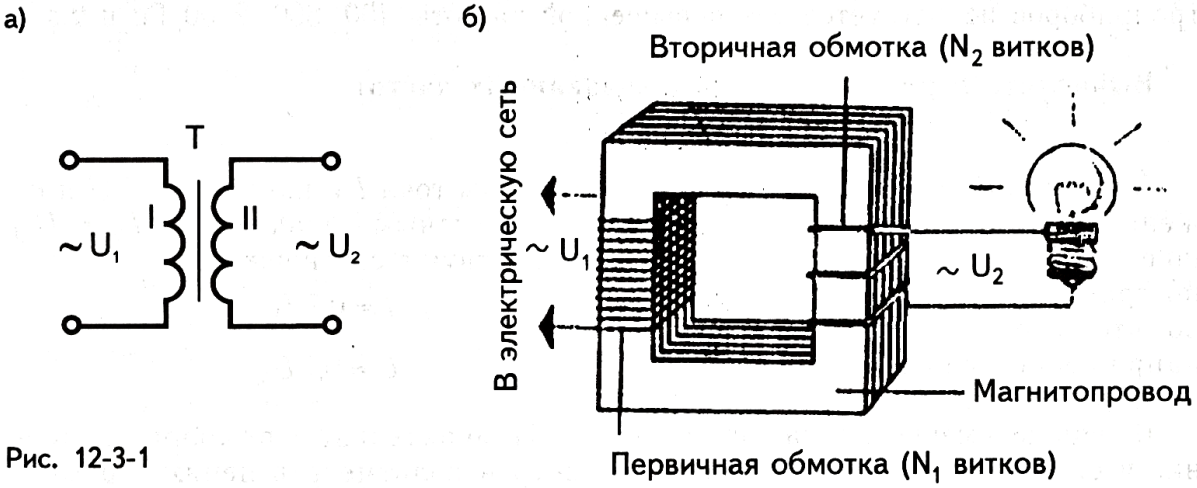


Рис. 12-3-1

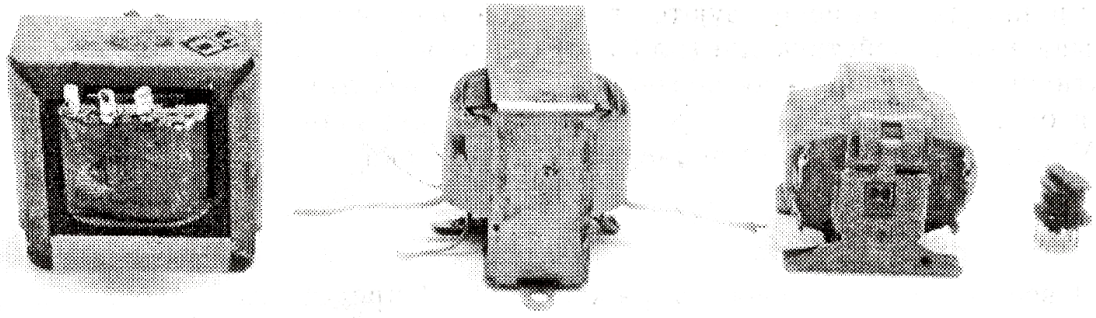


Рис. 12-3-2

Задание 12-3-1.

В учебном кабинете сетевое напряжение 220 В для подачи на рабочие столы понижается до 36 или 42 В.

Вычислите коэффициент трансформации.

§ 12-4. ТРАНСФОРМАТОР, ПОВЫШАЯ НАПРЯЖЕНИЕ, ПОНИЖАЕТ СИЛУ ТОКА, И НАОБОРОТ

Трансформатор сам электроэнергию не вырабатывает. Он просто передает ее из первичной обмотки во вторичную, изменив силу тока и напряжение. Если не учитывать небольшие потери энергии, 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 $I_1U_1=I_2U_2$,

откуда $\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}$.

Из последнего выражения видно, что трансформатор, повышая напряжение, одновременно во столько же раз понижает силу тока.

Задание 12-4-1.

В учебном кабинете для проведения лабораторных работ используют трансформатор, который подводимое к ученическому столу напряжение 42 В понижает до 5 В.

Определите силу тока в первичной обмотке трансформатора, если к вторичной обмотке подключены 3 лампы, по каждой из которых течет ток 0,2 А (рис.12-4-1).

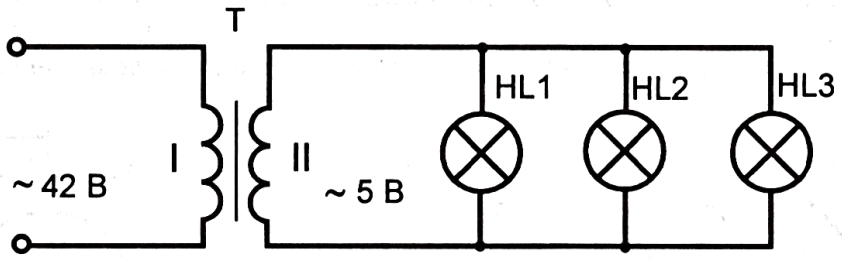


Рис. 12-4-1

§ 12-5. ОСЦИЛЛОГРАФ - ЭТО УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИБОР, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ ВИДЕТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Осциллограф - это универсальный прибор, который позволяет видеть на экране электрические колебания, недоступные для непосредственного наблюдения.

Основой осциллографа является

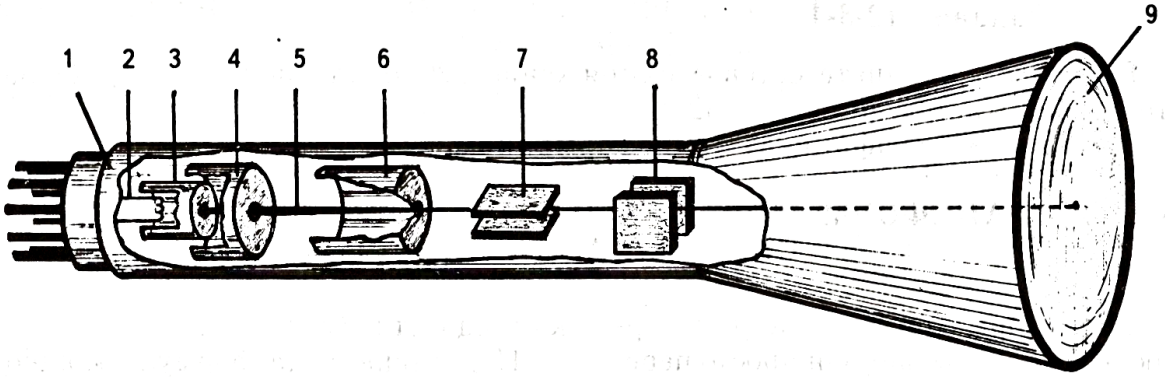


Рис. 12-5-1

электронно-лучевая трубка (рис. 12-5-1), представляющая собой стеклянную трубку 1.

Источником электронов является катод 3, подогреваемый нитью накала 2. Их еще называют электронной пушкой. Испускаемые нагретым катодом электроны собираются в узкий луч при помощи управляющего электрода (модулятора) 4 с отверстием в середине. Дальше электронный луч 5 проходит сквозь анод 6 (их может быть два), между парами вертикально и горизонтально расположенных пластин 7, 8 и попадает на экран 9. Экран покрыт специальным веществом - люминофором, который светится под действием быстро летящего потока электронов.

§ 12-6. ЭЛЕКТРОННЫЙ ЛУЧ УПРАВЛЯЕТСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Для разгона электронов между катодом (−) и анодом (+) подают высокое (сотни и тысячи вольт) напряжение.

Регулируя напряжение между катодом и управляющим электродом, управляют интенсивностью (яркостью) светящегося пятна.

Изменяя напряжение между катодом и анодом, регулируют (фокусиру-

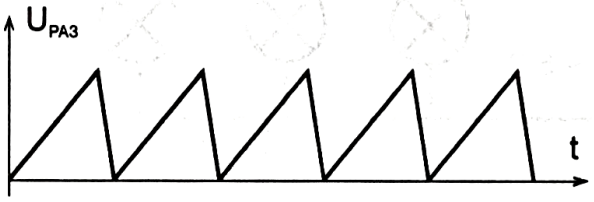


Рис.12-6-1

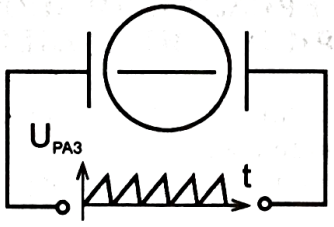


Рис.12-6-2

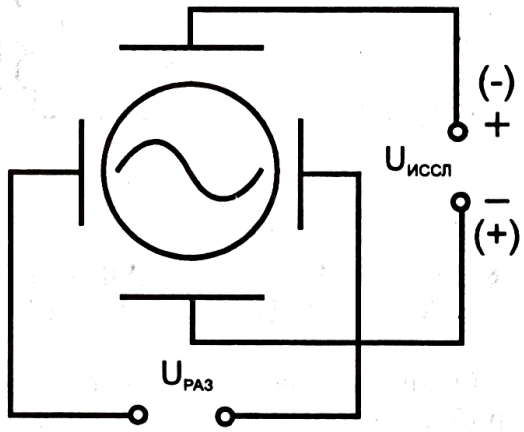


Рис.12-6-3

ют) размер светящегося пятна на экране.

Если напряжение подать на горизонтально расположенные пластины, то электронный луч будет отклоняться вертикально (вверх-вниз) в сторону положительной пластины. Причем, смещение пятна на экране пропорционально приложенному напряжению, что позволяет использовать осциллограф для его измерения.

Напряжение, приложенное на вертикально расположенные пластины, вызывает горизонтальное (влево - вправо) смещение луча.

Обычно на горизонтально отклоняющие пластины подают так называемое пилообразное напряжение (рис. 12-6-1). Оно вызывает равномерное горизонтальное перемещение пятна слева направо и с быстрым возвратом назад. При достаточно большой частоте пилообразного напряжения глаза не успевают проследить за движением луча и на экране видна светящаяся горизонтальная линия (рис. 12-6-2).

Исследуемое напряжение прилагается на вертикально отклоняющие пластины. Например, на рис. 12-6-3 на них подано переменное напряжение (полярность пластин "+" и "−" чередуется).

Под совместным действием пилообразного и исследуемого напряжения электронный луч, двигаясь равномерно горизонтально, совершает вертикальные колебания. В результате на экране видна синусоида.

При помощи осциллографа исследуют неэлектрические физические величины, предварительно преобразовав их в электрические при помощи специальных датчиков.

Задание 12-6-1.

Ознакомьтесь с осциллографом (рис. 12-6-4 на стр.102). Показан лабораторный осциллограф ОМШ-3М; у вас может быть другой.

Изучите назначения ручек, кнопок управления и гнезд.

Задание 12-6-2.

Изучите принцип работы осциллографа.

1. Включите осциллограф в сеть.

Ручки "яркость" и "фокус" поставьте в максимальное положение. Ручками "вверх - вниз" и "влево - вправо" установите светящуюся точку в центре экрана.

2. Подайте постоянное напряжение 4-6 В в той или иной полярности на вход "*X*" и следите за смещением луча "влево - вправо". Объясните наблюдаемое явление.

3. Подайте постоянное напряжение 4 - 6 В в той или иной полярности на вход "*У*" 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.

4. Разверните луч по горизонтали, используя кнопки переключателя диапазона частот напряжения развертки.

5. Повторите опыты пункта 3 при развернутом луче.

Объясните наблюдаемое явление.

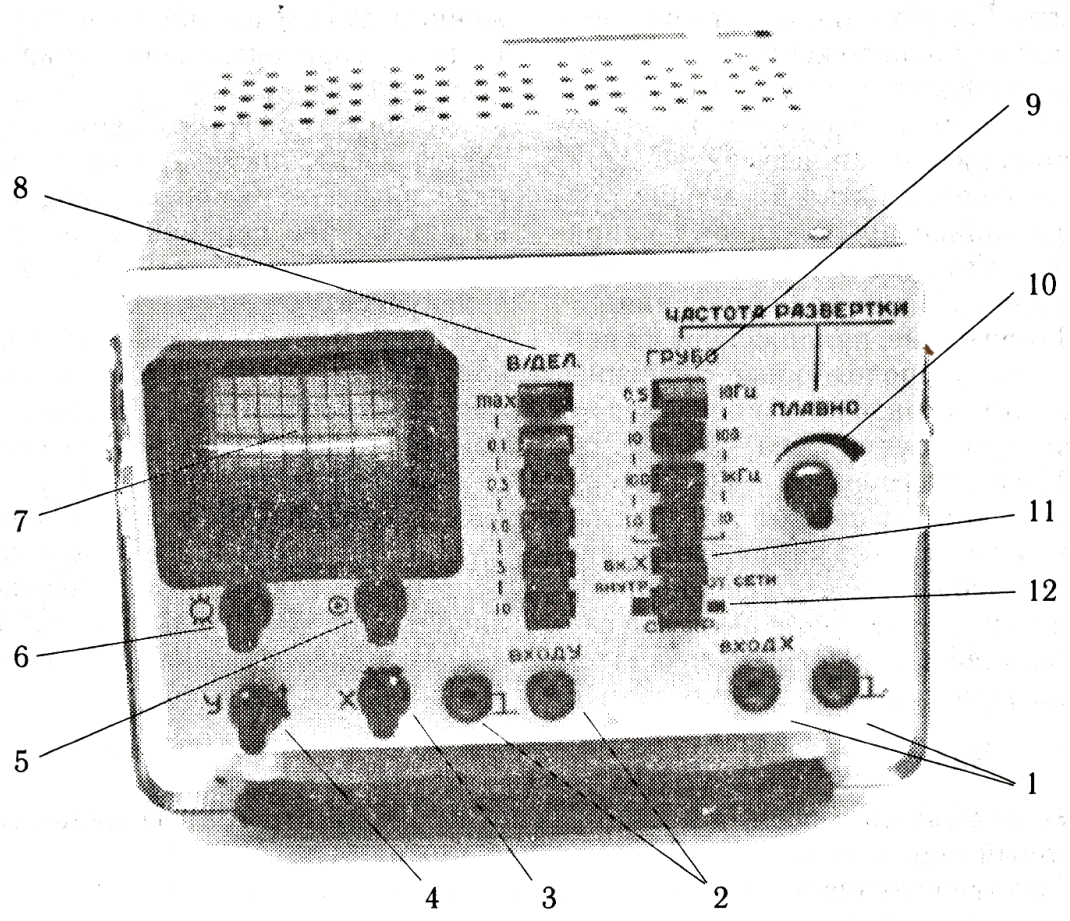


Рис. 12-6-4

1 - вход "*X*"; гнезда от горизонтально отклоняющих пластин.
2 - вход "*У*"; 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.

§ 12-7. ЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР ВЫРАБАТЫВАЕТ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Специальное устройство, вырабатывающее переменный ток частотой в пределах слышимости человеческого уха (до 20000 Гц), называется звуковым или низкочастотным генератором. Они удобны тем, что имеют регуляторы частоты и амплитуды тока. На рис. 12-7-1 приведен один из звуковых генераторов, применяемых в школьных физических кабинетах.

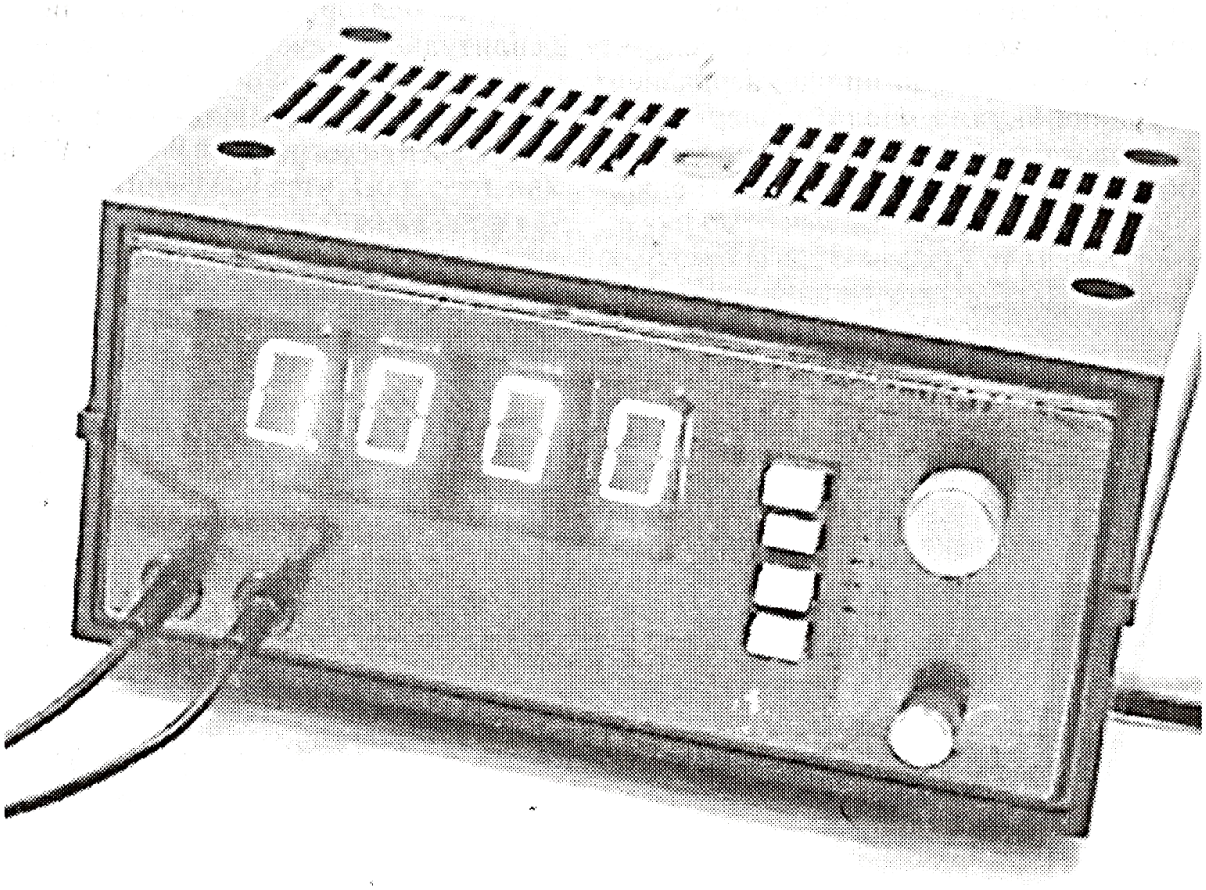


Рис. 12-7-1

Задание 12-7-1.

Изучите осциллограмму переменного тока.

1. Подайте переменное напряжение от звукового генератора на выходы "*У*" 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 "*У*" 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 "*У*" и "*Х*" и объясните наблюдаемое явление.

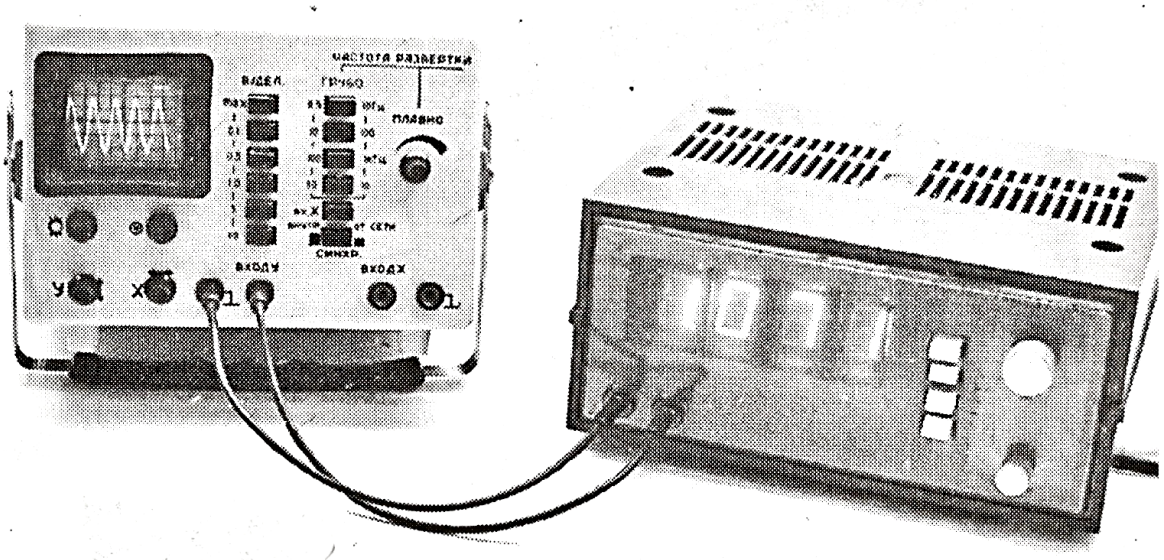


Рис. 12-7-2

Глава 13

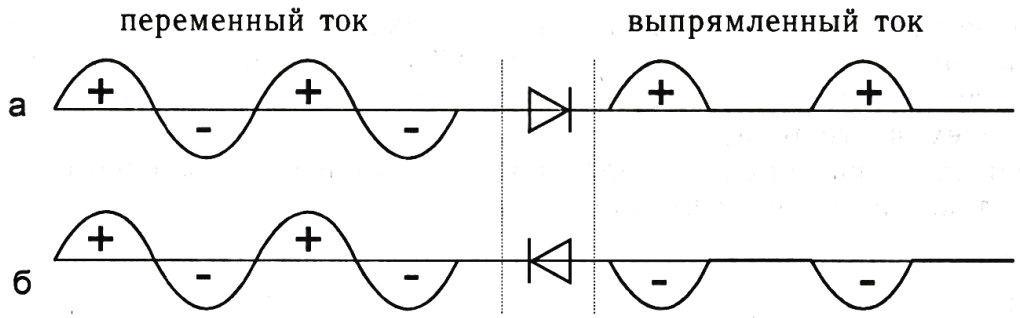
Выпрямление переменного тока

§ 13-1. 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 §11-4. На рис.13-1-1 условно показан слева от диодов график переменного тока, справа - график выпрямленного (постоянного по направлению) тока.

Рис. 13-1-1



§ 13-2. ОДНОПОЛУПЕРИОДНОЕ ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В задании 13-2-1 приведена схема однополупериодного выпрямления.

Установка состоит из понижающего трансформатора *T* и выпрямительного диода *VD*. Подключенная к выходу выпрямителя лампа *HL* представляет собой нагрузку.

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 *A* и *B* меняются с частотой 50 Гц. В первую половину периода, когда точка *A* имеет положительный знак, а точка *B* - 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.

Во второй полупериод, когда точка *A* имеет отрицательный знак, а *B* - положительный, диод заперт и ток через него почти не проходит. На нагрузке *HL* напряжение равно нулю, и на экране осциллографа - 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 полпериода ток и напряжение есть, полпериода они отсутствуют.

Рассмотренный выпрямитель с успехом можно использовать, например, для зарядки аккумуляторов, питания двигателей постоянного тока. Но для работы многих потребителей постоянного тока такой источник тока не годится.

Задание 13-2-1.

Изучите однополупериодное выпрямление переменного тока.

1. Возьмите любой источник переменного тока напряжением 4 - 6 В.

На рис. 13-2-1 источником переменного тока является трансформатор, понижающий напряжение с 42 В до 5 В.

2. К источнику переменного тока подключите лампу МН 6,3В×0,3А через диод *VD*.

3. Включите вход осциллографа "⊥ " к точке *D* (точке соединения лампы с источником переменного тока), а вход "*У*" поочередно подключайте к точке *C* между диодом и лампой или к точке *A* (точке соединения диода с источником переменного тока).

Наблюдайте на экране осциллографа графики выпрямленного и переменного токов и сравните их формы.

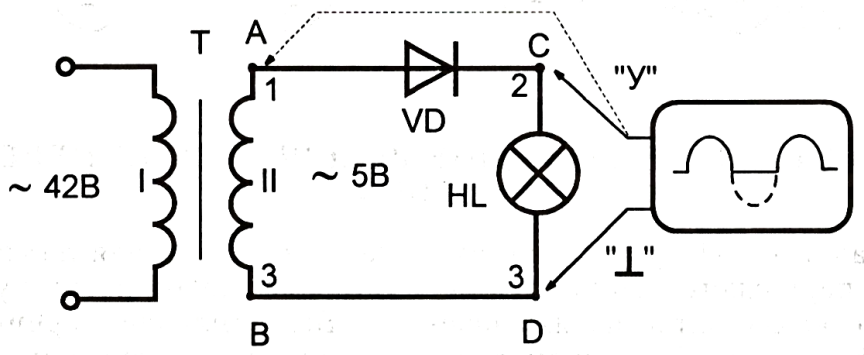


Рис. 13-2-1

§ 13-3. ЛАБОРАТОРНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ - ДВУХПОЛУПЕРИОДНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ

В школах широко используется лабораторный источник постоянного тока для фронтальных работ ИПФ, который переменное напряжение 42 (36) В преобразует в напряжение 4-5 В.

Варианты внешнего вида ИПФ показаны на рис.13-3-1, а, б, а электрическая схема дана на рис. 13-3-2, а.

Он состоит из трансформатора, на первичную обмотку которого подается переменное напряжение 42 (36) В. Вторичная обмотка имеет средний вывод, делящий ее на две равноценные полуобмотки II-а и II-б. На выводах каждой полуобмотки имеется переменное напряжение около 5 В (они соединены последовательно).

Кроме понижения переменного напряжения ИПФ преобразует переменный ток в постоянный. Для этого использованы два мощных диода *VD1* и *VD2*, обеспечивающих двухполупериодное выпрямление напряжения около 4-5 В.

В некоторых модификациях блока питания имеется сигнальная лампа, которая на рис. 13-3-2, а не указана.

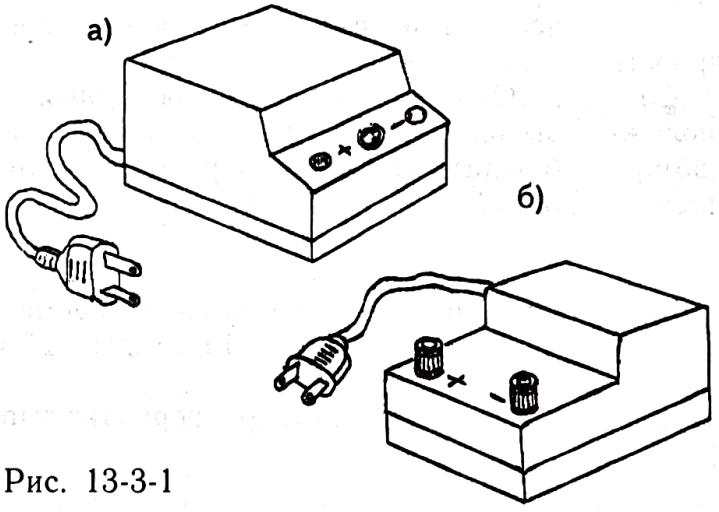
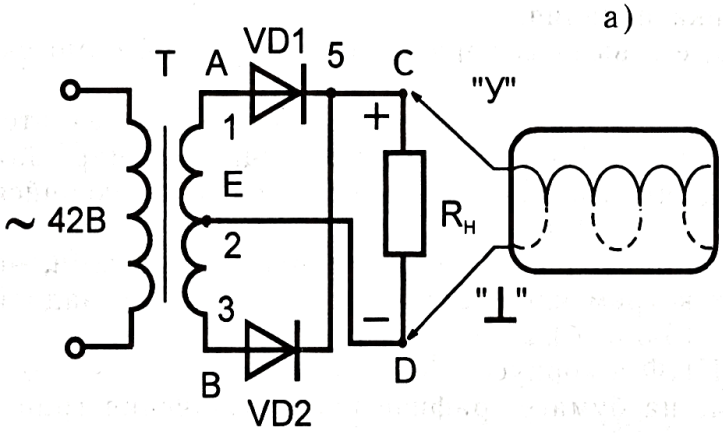


Рис. 13-3-1



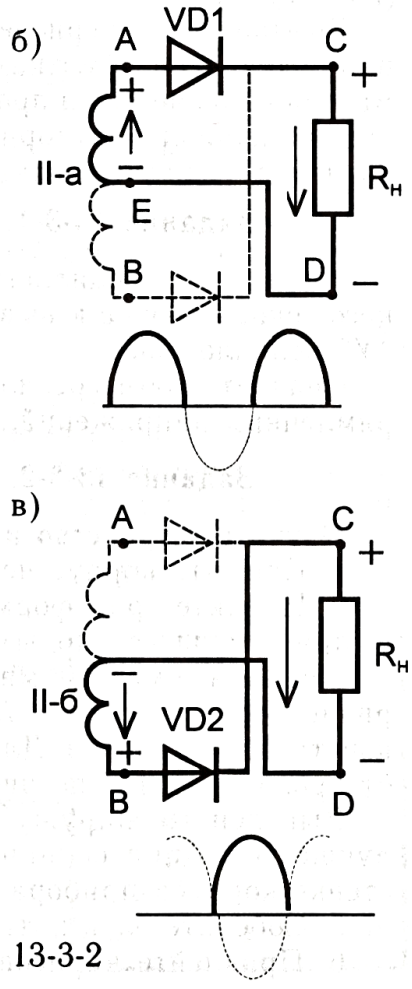


Рис. 13-3-2

Рассмотрим работу этой схемы. Пусть в данный момент на вторичной обмотке трансформатора переменное напряжение в верхней точке *A* имеет положительный знак относительно нижней точки *B*. У среднего же вывода *E* двоякая полярность: отрицательная по отношению к выводу *A* и положительная по отношению к выводу *B*. При этом диод *VD1* открыт, т.е. пропускает ток, а диод *VD2* закрыт. Ток пройдет по замкнутому контуру от вывода *A* через диод *VD1*, нагрузку R_H, верхнюю половину вторичной обмотки II-а трансформатора (рис. 13-3-2, б).

В итоге на нагрузке R_H 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 II-б становится положительным по отношению к верхнему и центральному выводам (рис. 13-3-2, в). Теперь диод *VD2* открыт и пропускает ток, а диод *VD1* закрыт и тока не пропускает. Ток есть в другом контуре: точка *B* - диод *VD2* - нагрузка R_H - вторая (нижняя) полуобмотка II-б 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_H постоянно и не зависит то его направления во вторичной обмотке. Сила же тока непостоянна: она то возрастает, то убывает, т.е. пульсирует, причем частотой, в два раза большей частоты выпрямляемого переменного тока - 100Гц.

Осциллограф, подключенный к выходу выпрямителя, позволяет наблюдать форму электрических колебаний в нагрузке (рис. 13-3-2, а).

Задание 13-3-1.

Наблюдайте осциллограмму двухполупериодного выпрямления переменного тока, включив к выводам "+" и "—" блока питания ИПФ входы "⊥" и "*У*" осциллографа.

Сравните формы осциллограмм однополупериодно и двухполупериодно выпрямленных напряжений.

Задание 13-3-2.

Изучите устройство источника питания ИПФ и усовершенствуйте его.

1. Снимите корпус источника питания.

2. Найдите трансформатор, его выводы первичной и вторичной обмоток, выпрямительные диоды.

Припаяйте медные многожильные проводники в изоляции к выводам вторичных полуобмоток *A, B, C* (рис. 13-3-3, а, пунктирная линия), не нарушая конструкции прибора. Для среднего вывода *B* возьмите провод, отличающийся от проводов *A* и *C* по цвету.

Выведенные наружу концы проводов можно оставить свободными, но лучше всего присоединить их к трем клеммам, установленным на задней стенке корпуса прибора (рис. 13-3-3, б).

5. Соберите блок питания ИПФ в корпусе.

6. Приклейте нарисованные на бумаге графические обозначения транс-

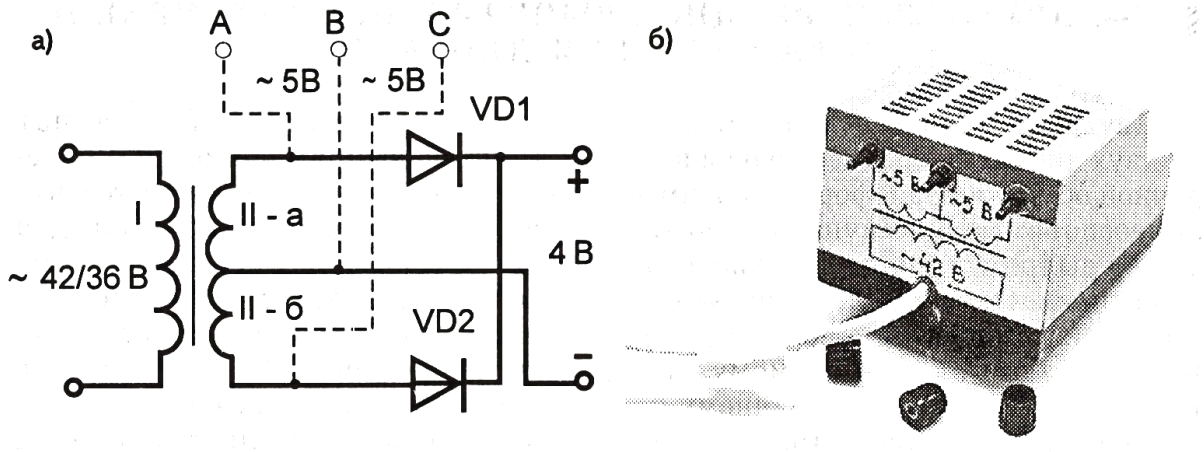


Рис. 13-3-3

форматора к задней стенке корпуса.

7. Подключив к выводам от вторичных полуобмоток *A, B, C* вход осциллографа " ⊥ ", "Y", наблюдайте осциллограмму переменного тока.

Задание 13-3-3.

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. 13-3-4). В качестве трансформатора можно использовать блок питания (его трансформатор), усовершенствованный согласно заданию 13-3-2.

2. К выходу выпрямителя подключите лампу *HL* (МН 6,3В×0,3А), 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 то диод *VD1*, то *VD2*, и сравните ее с предыдущей осциллограммой, когда работают два диода.

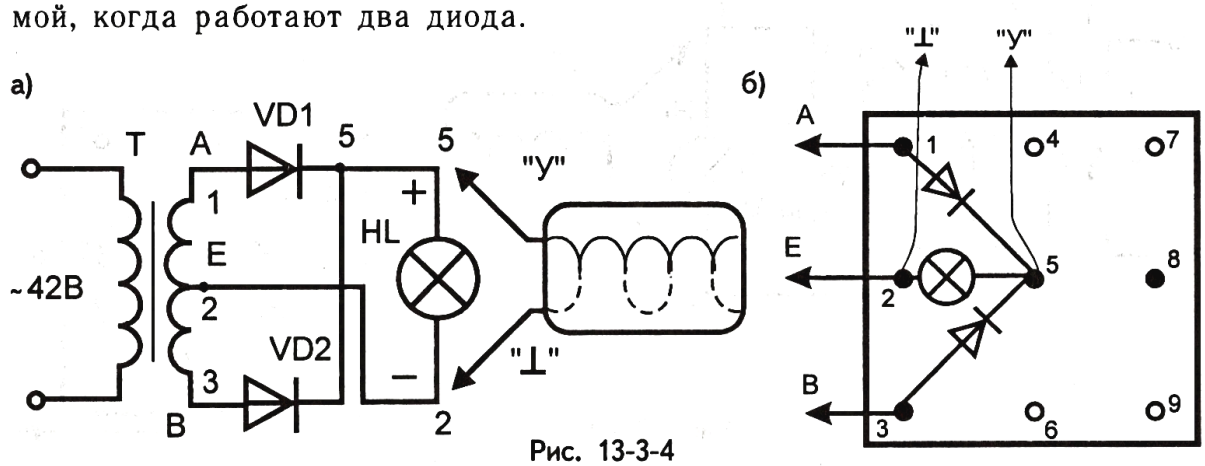


Рис. 13-3-4

§ 13-4. 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 рисунке 13-4-1, а. Здесь диоды *VD1- VD4* 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: *VD1* и *VD4, VD2* и *VD3*. Эти пары диодов по отношению друг к другу включены встречно.

То, как осуществляется процесс выпрямления переменного тока по мостовой схеме, поясняют рис. 13-4-1, 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.

Задание 13-4-1.

Изучите двухполупериодное выпрямление переменного тока четырьмя диодами.

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 13-3-2 (рис. 13-4-1).

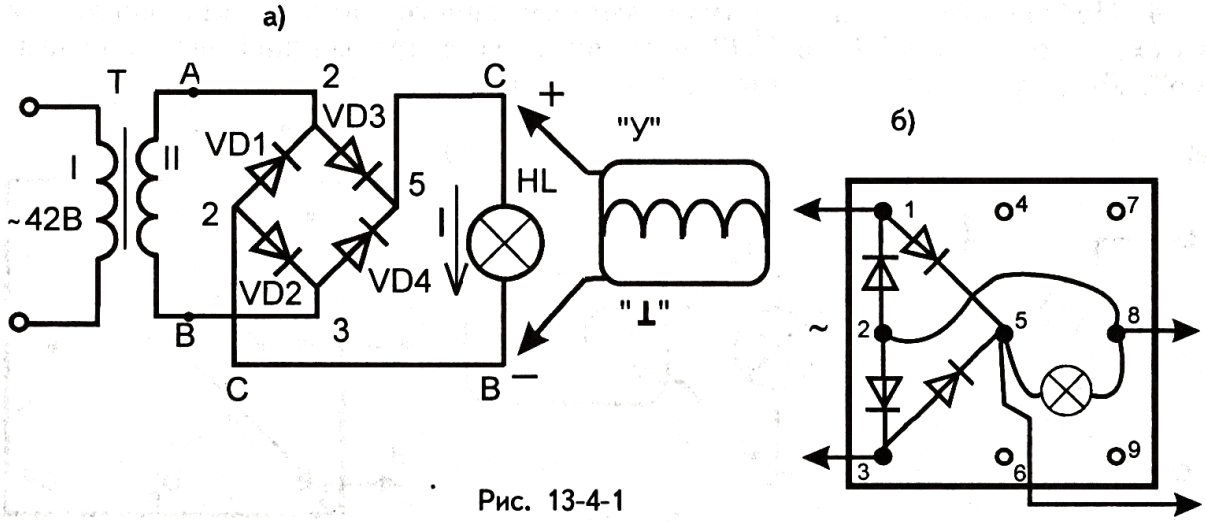


Рис. 13-4-1

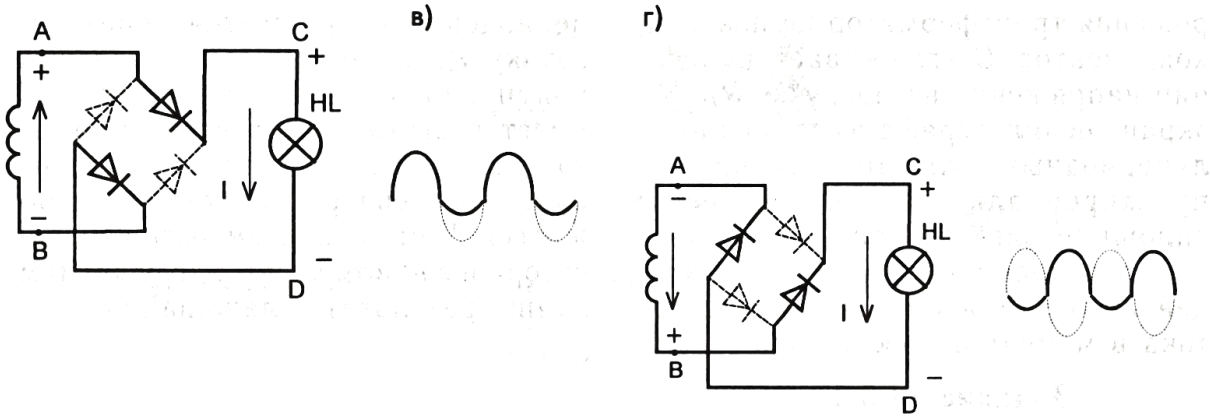


Рис. 13-4-1

2. К выходу выпрямителя подключите лампу *HL* (МН 6,3 В × 0,3 А) в качестве нагрузки.

3. Подключите осциллограф к выходу выпрямителя и наблюдайте двухполупериодное выпрямление.

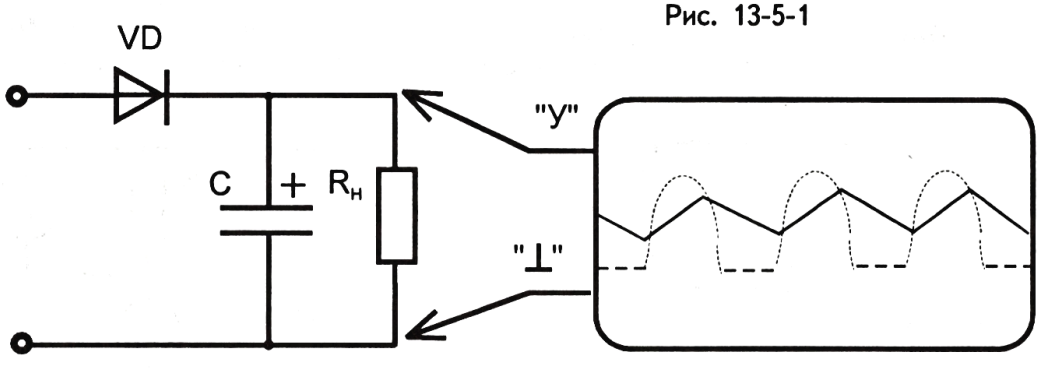
4. Объясните принцип работы двухполупериодного выпрямителя, пользуясь рисунками 13-4-1, в и г.

§ 13-5. КОНДЕНСАТОР СГЛАЖИВАЕТ ПУЛЬСАЦИИ ВЫПРЯМЛЕННОГО ТОКА

Пульсирующий ток, который дают однополупериодный выпрямитель (задание 13-2-1) и двухполупериодный выпрямитель (задания 13-3-1 и 13-3-3), 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 от этого можно избавиться, если параллельно нагрузке подключить оксидный конденсатор. Например, на рис. 13-5-1 (ради уп-

Рис. 13-5-1



рощения трансформатор не показан) конденсатор C сглаживает пульсации напряжения на нагрузке R_H. На экране осциллографа вместо однополупериодных пульсаций (показаны пунктиром для сравнения) имеется сплошная зигзагообразная линия.

Происходит это потому, что конденсатор заряжается от импульсов тока в момент положительных полупериодов и разряжается через нагрузку R_H в момент отрицательных полупериодов. Если конденсатор C имеет достаточно большую емкость, то за время между импульсами он не будет успевать полностью разряжаться. Чем больше емкость конденсатора и сопротивление нагрузки, тем лучше результат сглаживания.

Задание 13-5-1.

Изучите сглаживающее действие пульсаций выпрямленного напряжения, подключая в заданиях 13-2-1, 13-3-3 и 13-4-1 параллельно нагрузке (лампе) оксидный конденсатор емкостью 500-1000 мкФ с учетом полярностей выводов.

Глава 14

Активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Колебательный контур. Резонанс

§ 14-1. 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.

Для участка с активным сопротивлением закон Ома справедлив не только для постоянного тока, но и для переменного.

На активном сопротивлении электрическая энергия безвозвратно превращается во внутреннюю (тепловую) энергию.

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 емкостное сопротивление конденсатора.

Задание 14-1-1.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-1-1, а и убедитесь в справедливости закона Ома в цепи постоянного тока.

2. Соберите цепь по рис. 14-1-1, б и убедитесь в справедливости закона Ома в цепи переменного тока.

Внимание! В первом опыте используются измерительные приборы постоянного тока, во втором - переменного тока.

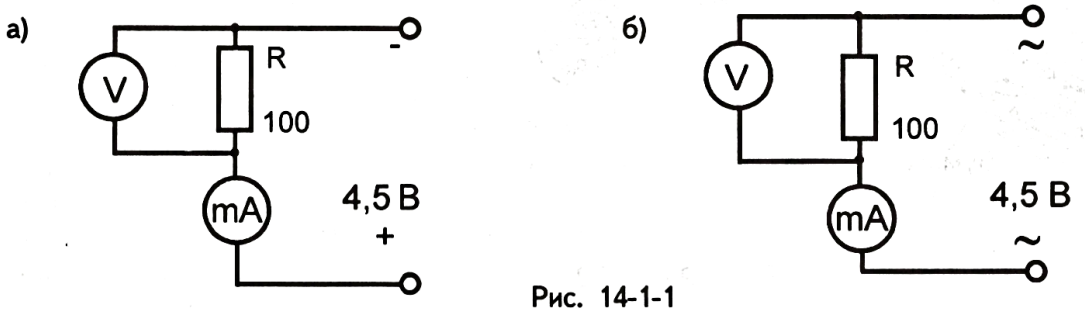


Рис. 14-1-1

§ 14-2. 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:

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

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; широко используется в таких устройствах, как электромагнитное реле, телефон, трансформатор, электромагнит.

Задание 14-2-1.

Сделайте катушку индуктивности.

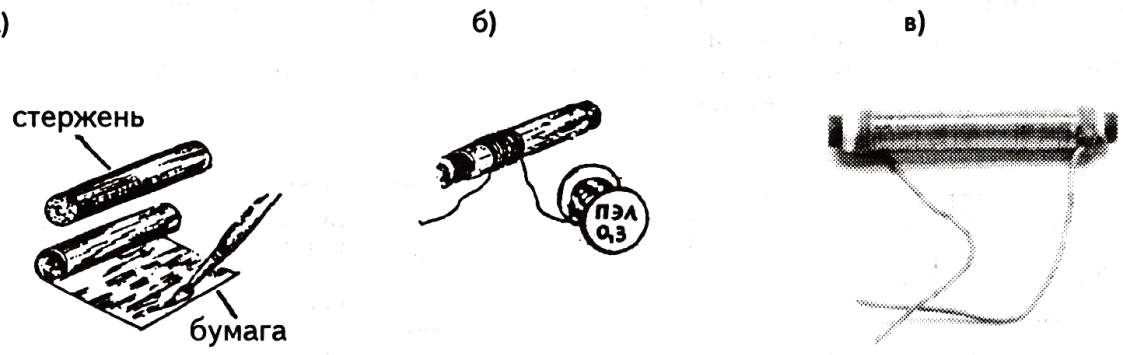


Рис. 14-2-1

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

2. Обмотайте его несколько раз плотной полоской бумаги длиной 10-14 см и шириной 5 см и склейте бумажный цилиндрический каркас (рис. 14-2-1, а), такой, чтобы стержень мог свободно, но с некоторым трением перемещаться внутри его.

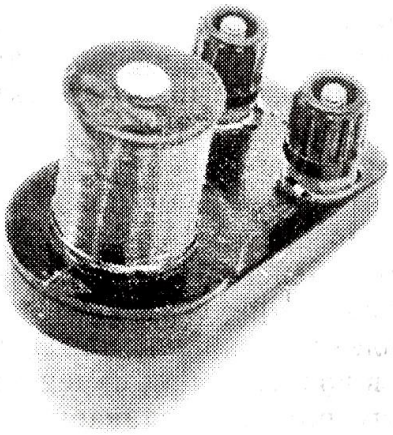


Рис. 14-2-2

3. Намотайте на каркас виток к витку медный провод в эмалевой изоляции (рис. 14-2-1, б). Провод возьмите диаметром 0,2-0,35 мм и сделайте 300-400 витков. Следите за тем, чтобы просматривалось направление намотки витков.

4. К началу и концу обмотки припаяйте изолированные гибкие многожильные провода длиной 15 см. С их помощью катушка включается в схемы. Для защиты запаянных участков от обрыва концы катушки прикрепите ниткой к каркасу. Свободные концы многожильных проводов оголите на 25 мм (см. рис. 14-2-1, в).

Примечание. В последующих опытах вместо этой самодельной катушки можно использовать готовую, например, катушку от разборного электромагнитного реле (рис. 14-2-2), имеющегося в физических кабинетах.

Задание 14-2-2.

Соберите магнит и испытайте его магнитное действие.

1. Соберите цепь (рис 14-2-3). Замкните цепь и с помощью магнитной стрелки (компаса) определите магнитные полюсы катушки. Сделайте вывод о том, какая связь существует между магнитными полюсами катушки и направлением тока в ней.

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

3. Изменяйте силу тока в цепи переменным резистором и пронаблюдайте действие катушки на магнитную стрелку. Сделайте вывод.

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

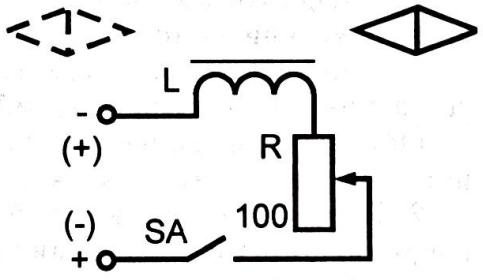


Рис. 14-2-3

§ 14-3. САМОИНДУКЦИЯ - ЭТО ЯВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭДС ИНДУКЦИИ В КАТУШКЕ 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, вызвавшему индукционный ток.

Явление возникновения ЭДС индукции в контурах при изменении магнитного потока, создаваемого током, текущим по самому контуру, называется явлением самоиндукции. ЭДС самоиндукции равна $E_{СИ} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$, где: L - индуктивность катушки, а $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ -скорость изменения силы тока в контуре. Как видно из формулы, ЭДС самоиндукции зависит от индуктивности катушки и от скорости изменения силы тока в контуре.

Пусть имеется электрическая цепь (рис. 14-3-1), 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 размыкании цепи ток I в катушке, создаваемый источником питания, уменьшается до нуля. Значит, уменьшается до нуля и его магнитное поле. При этом в катушке, согласно правилу Ленца, возникает ток самоиндукции $I_{СИ}$, противодействующий уменьшению тока I. Направление этих токов I и $I_{СИ}$ должны совпадать, чтобы поддержать ток питания и его магнитное поле.

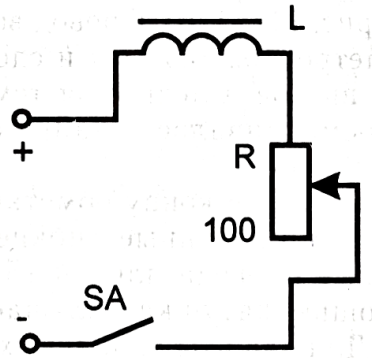


Рис. 14-3-1

Аналогично можно разобрать ситуации 1, 3, 4.

Задание 14-3-1.

Наблюдайте возникновение тока самоиндукции в моменты размыкания электрической цепи.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-3-2. Миллиамперметр включите на предел измерения «5 мА».

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

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

3. Объясните:

а) природу наблюдаемого явления;

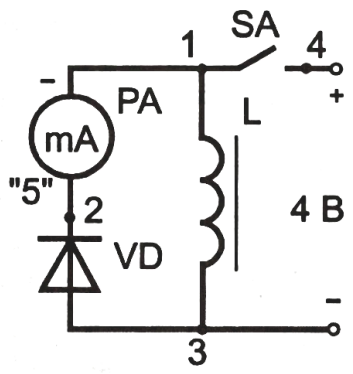


Рис. 14-3-2, а

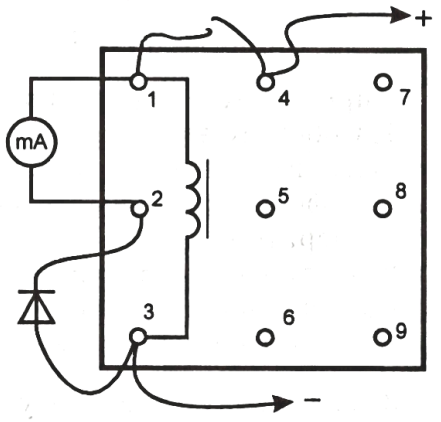


Рис. 14-3-2, б

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

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

4. Соберите цепь по рис. 14-3-3. Для регистрации тока самоиндукции используйте светодиод с резистором. Наблюдайте свечение светодиода в момент размыкания цепи и объясните этот факт.

Задание 14-3-2.

Исследуйте зависимость силы тока самоиндукции от индуктивности катушки.

1. Пользуйтесь конструкцией из задания 14-3-1.

2. Индуктивность катушки регулируйте длиной части стержня, находящегося внутри катушки.

3. Сделайте вывод, наблюдая зависимость угла отброса стрелки прибора от индуктивности катушки.

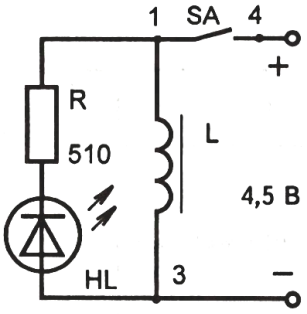


Рис. 14-3-3

§ 14-4. КАТУШКА (ИНДУКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ) ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ПРОВОДИТ ПЛОХО

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 индукционного 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:

$$X_L = \frac{U}{I} \text{ , где:}$$

X_L - индуктивное сопротивление,
I - сила переменного тока в катушке,
U - напряжение на катушке.

Задание 14-4-1.

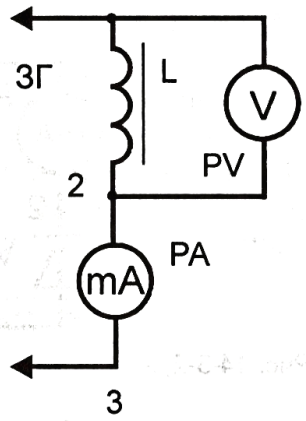


Рис. 14-4-1

Определите индуктивное сопротивление катушки.

1. Соберите электрическую схему по рис. 14-4-1, где используйте катушку с полностью вставленным во внутрь ферромагнитным стержнем. В ней *ЗГ* - звуковой генератор.

2. Подайте от звукового генератора на катушку L переменное напряжение в 2-3 В и частотой 1000 Гц.

Измерьте силу тока в катушке и напряжение на ней.

3. По закону Ома для участка цепи $X_L = \frac{U}{I}$ рассчитайте индуктивное сопротивление катушки переменному току.

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия с катушкой, у которой стержень выдвинут наполовину.

5. Еще раз повторите опыт с катушкой, у которой стержень полностью выдвинут.

Показания приборов и результаты вычислений занесите в таблицу 14-4-1.

Таблица 14-4-1

Вид тока	Частота тока ν,Гц	Среда в катушке	U, В	I, 10^{-3} А	X_L, Ом
Переменный	1000	стержень			
		1/2 стержня			
		без стержня			

6. Сравните результаты опытов и сделайте вывод о том, как индуктивное сопротивление катушки зависит от среды в ней (индуктивности).

Примечание. В проделанных выше опытах активное сопротивление катушки не учтено.

Задание 14-4-2.

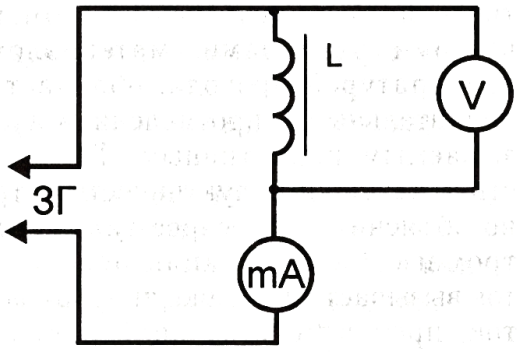


Рис. 14-4-2

Изучите зависимость индуктивного сопротивления от частоты тока.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-4-2. В катушку L полностью вставьте ферромагнитный стержень.

2. Меняя частоту даваемого звуковым генератором тока от 400 до 2000 Гц, через каждые 400 Гц снимите показания приборов.

3. Рассчитайте, пользуясь законом Ома для участка цепи, индуктивное со-

противление катушки для каждой зафиксированной частоты тока (активное сопротивление катушки не учитывается).

Показания приборов и результаты вычислений занесите в I часть таблицы 14-4-2.

Таблица 14-4-2

№ опыта	Вид катушки	Частота тока ν,Гц	400	800	1200	1600	2000
I	со стержнем	U, В					
		I, 10^{-3} А					
		X_L, Ом					
II	без стержня	U, В					
		I, 10^{-3} А					
		X_L, Ом					

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия, с катушкой без стержня.

Данные занесите во II часть таблицы.

5. По результатам опытов в общей системе координат постройте график зависимости индуктивного сопротивления от частоты тока $X_L = f(\nu)$.

6. Определите вид графиков и сформулируйте вывод.

Задание 14-4-3.

Рассчитайте индуктивность катушки.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-4-3. Катушку возьмите с сердечником внутри.

2. Измерьте силу тока в катушке и напряжение на ней при частоте 1000 Гц.

3. Выведите формулу и вычислите индуктивность катушки.

Показания приборов и результаты вычислений занесите в первую строку таблицы 14-4-3.

Таблица 14-4-3

ν,Гц	Среда в катушке	U, В	I, 10^{-3} А	L, Гн	Вывод
1000	со стержнем				
	без стержня				

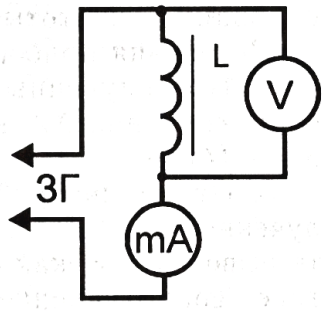


Рис. 14-4-3

4. Повторите опыт, выполняя указанные в пунктах 2 и 3 действия, с катушкой без стержня.

Данные занесите во вторую строку таблицы.

5. Проанализируйте полученные результаты и сделайте вывод о том, как индуктивность катушки зависит от наличия сердечника в ней. Ответьте, почему?

§ 14-5. КОНДЕНСАТОР (ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ) ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ПРОВОДИТ ХОРОШО

Конденсатор для постоянного тока - упорядоченного движения заряженных частиц в одном направлении - представляет бесконечно большое сопротивление, так как его находящиеся на расстоянии друг от друга и разделенные диэлектриком пластины создают в цепи разрыв; практически он не проводит ток, если не учитывать тока утечки диэлектрика. В этом можно убедиться, включив конденсатор в цепь постоянного тока через миллиамперметр: прибор регистрирует только ток зарядки в момент включения.

Если конденсатор включить в цепь переменного тока, то он будет испытывать непрерывно процессы зарядки (накопления энергии) и разрядки (возвращение энергии цепи); частота этого процесса будет равна частоте тока. В этом случае по цепи заряженные частицы будут идти сначала в одном направлении, а затем - в противоположном. Значит, можно считать, что переменный ток, в отличие от постоянного, через конденсатор проходит.

Но конденсатор оказывает переменному току сопротивление, которое называется емкостным. Оно определяется формулой $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$, где:

X_C - емкостное сопротивление,

ν - частота тока,

C- емкость конденсатора.

Емкостное сопротивление конденсатора можно также вычислить по закону Ома для участка цепи, если известны сила переменного тока I и напряжение на его обкладках U:

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

Задание 14-5-1.

Исследуйте зависимость емкостного сопротивления конденсатора от частоты переменного тока.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-5-1. Конденсатор C возьмите неоксидный, емкостью 1мкФ.

2. Меняя частоту звукового генератора *ЗГ* от 400 до 2000 Гц через каждые 400 Гц, снимите показания приборов: миллиамперметра и вольтметра.

3. По закону Ома для участка цепи вычислите емкостное сопротивление конденсатора для каждой фиксированной частоты.

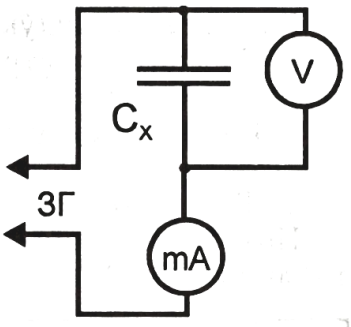


Рис. 14-5-1

Показания приборов и результаты вычислений занесите в таблицу 14-5-1.

4. По полученным данным постройте график зависимости емкостного сопротивления X_C конденсатора от частоты тока ν, т.е. график функции $X_C = f(\nu)$.

5. Проанализируйте полученный график и сделайте вывод о том, как емкостное сопротивление конденсатора зависит от частоты тока.

Таблица 14-5-1

ν,Гц	400	800	1200	1600	2000
U, В					
I, 10^{-3} А					
X_C, Ом					

Задание 14-5-2.

Рассчитайте электрическую емкость конденсатора.

1. Соберите электрическую цепь (рис. 14-5-2).
2. Звуковой генератор установите для работы на частоте 1000 Гц.
3. Снимите показания приборов и по ним рассчитайте электроемкость конденсатора, используя формулы: $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$, $X_C = \frac{U}{I}$.

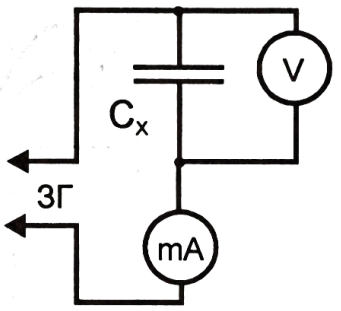


Рис. 14-5-2

Показания приборов и результат вычисления занесите в таблицу 14-5-2.

Примечание. Для опыта возьмите бумажный конденсатор емкостью около 0,5-1,0 мкФ.

Таблица 14-5-2

ν,Гц	U, В	I, 10^{-3} А	C, Ф

§14-6. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На рисунке в задании 14-6-1 представлена электрическая цепь переменного тока, содержащая последовательно включенные резистор R (активное сопротивление), катушку индуктивности L (индуктивное сопротивление) и конденсатор C (емкостное сопротивление). Под действием приложенного к этой цепи напряжения, изменяющегося по закону $u = U_M \sin\omega t$, во всех ее участках сила тока изменяется одновременно, синхронно и выражается формулой $i = I_M \sin\omega t$. В этих формулах u и i представляют мгновенные, а U_M и I_M - амплитудные значения напряжения и силы тока.

На резисторе R колебания напряжения совпадают по фазе с колебаниями силы тока (рис. 14-6-1, а).

На индуктивном сопротивлении в результате действия ЭДС самоиндукции напряжение опережает по фазе силу тока в нем на $\frac{\pi}{2}$ (рис. 14-6-1, б); часто говорят, что сила тока отстает от напряжения. Это значит, что при максимальных значениях напряжения на катушке сила тока в ней равна нулю, и, наоборот, при нулевых значениях напряжения сила тока в цепи максимальна.

У этого участка есть интересная особенность: катушка, в отличие от резистора (активного сопротивления), не потребляет мощности от источника тока: вся энергия, расходуемая источником на создание магнитного поля катушки, возвращается в цепь, когда магнитное поле исчезает.

Конденсатор, находясь в цепи переменного тока, непрерывно подвергается то процессу зарядки (накопления энергии), то разрядки (возвращения энергии в цепь) с частотой, равной частоте тока; значит, как и катушка, мощности от источника тока не потребляет. Наибольший ток будет в те моменты, когда напряжение на обкладках конденсатора меняет знак. При амплитудных значениях напряжения сила тока в цепи конденсатора равна нулю. Следовательно, синусо-

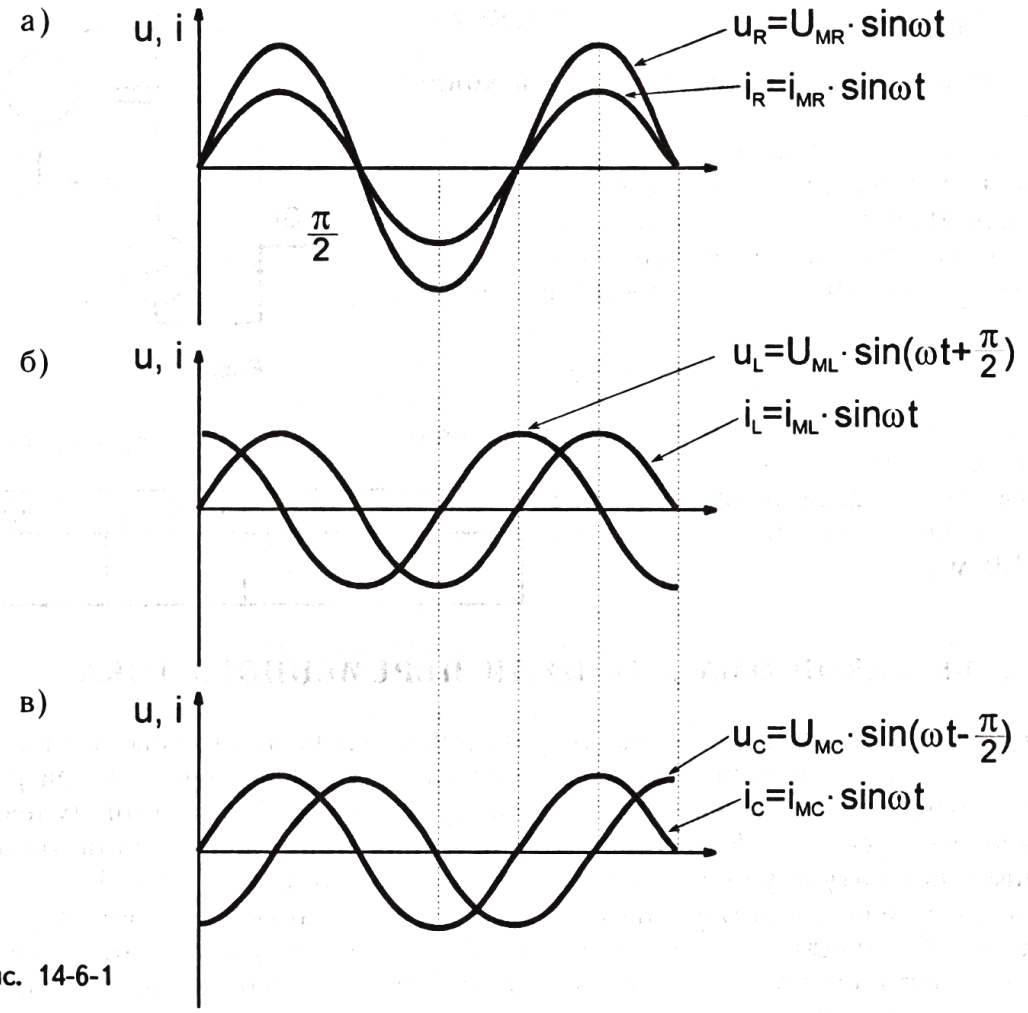


Рис. 14-6-1

идальное напряжение на конденсаторе отстает от синусоидального тока в нем на $\frac{\pi}{2}$.

Полное сопротивление Z последовательно включенных в цепь переменного тока активного R, индуктивного X_L и емкостного X_C сопротивлений определяется не алгебраическим сложением, а формулой:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}\ .$$

Действующее значение силы тока I в цепи связано с действующим значением напряжения U и выражено по закону Ома для последовательной цепи переменного тока формулой:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}\ .$$

Задание 14-6-1.

Вычислите параметры последовательно соединенной электрической цепи переменного тока и проверьте справедливость закона Ома для нее.

1. Соберите электрическую цепь (схема на рис. 14-6-2, а и б).

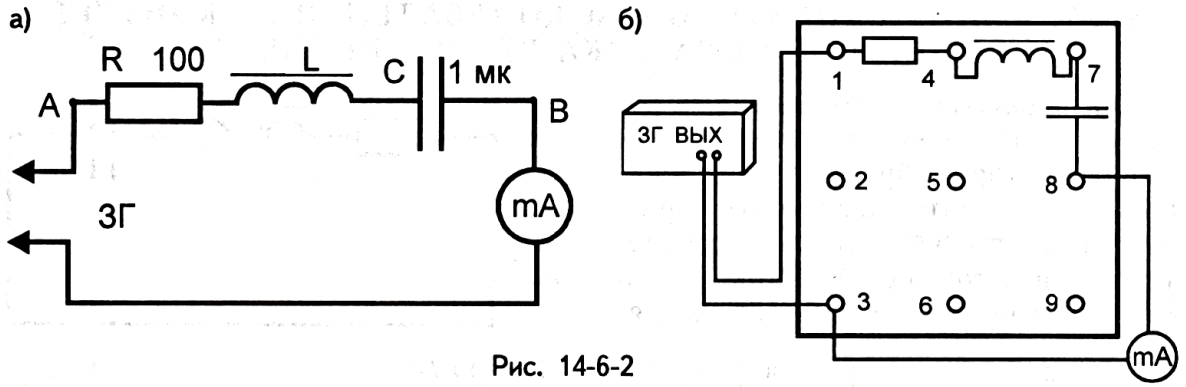


Рис. 14-6-2

2. Включите звуковой генератор и частоту колебаний напряжения установите равной 1000 Гц.

3. Меняя величину подаваемого напряжения, установите силу переменного тока I в цепи в пределах от 0,03-0,05 А.

4. Вольтметром переменного тока (или авометром) измерьте общее напряжение U на участке AB и напряжения U_R, U_L, U_C, на отдельных отрезках цепи - R, L, C.

5. Используя снятые показания приборов, вычислите:

- активное сопротивление резистора по формуле: $R = \frac{U_R}{I}$;
- индуктивное сопротивление катушки: $X_L = \frac{U_L}{I}$;
- емкостное сопротивление конденсатора: $X_C = \frac{U_C}{I}$;
- общее сопротивление цепи : $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$;
- силу тока в цепи: $I_P = \frac{U}{Z}$ (I_P - расчетная сила тока).

6. Вычислите относительную ошибку для расчетного значения силы тока I_P по сравнению с экспериментальным ее значением I. Результаты измерений и вычислений занесите в первую строку таблицы 14-6-1.

Таблица 14-6-1

Измерения						Вычисления					
ν,Гц	I, А	U, В	U_R, В	U_L, В	U_C, В	R, Ом	X_L, Ом	X_C, Ом	Z, Ом	I_P, А	$\frac{I - I_P}{I} \cdot 100\%$
1000											
2000											

Указание. В работе активное сопротивление катушки не учитывалось, но оно есть. Проверьте это, подключив к ее выводам омметр.

7. Повторите опыт при частоте напряжения на выходе звукового генератора 2000 Гц, выполняя указанные в пунктах 3-6 этого задания действия.

Результаты измерений и вычислений занесите во вторую строку таблицы.

§14-7. В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ ПРИ РЕЗОНАНСЕ СИЛА ТОКА РЕЗКО УВЕЛИЧИВАЕТСЯ

Последовательно соединенные резистор R, катушка индуктивности L и конденсатор C образуют последовательный колебательный контур (рис. 14-7-1), во всех элементах которого течет одной и той же силы ток. Но на конденсаторе ток опережает напряжение на $\frac{\pi}{2}$, а ток через катушку отстает от напряжения на ней на $\frac{\pi}{2}$. Значит, напряжение на катушке $U_L=IX_L$ и напряжение на конденсаторе $U_C = IX_C$ сдвинуты по фазе на 180° и действуют друг против друга.

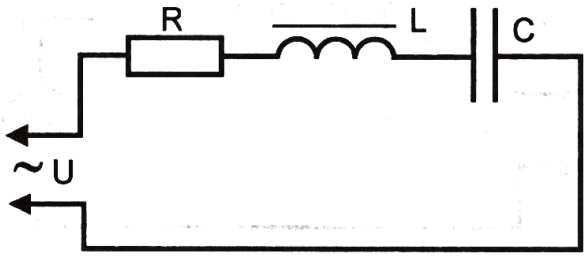


Рис. 14-7-1

Рассмотрим результат постепенного увеличения частоты тока с помощью звукового генератора в контуре при неизменном напряжении. Для этого проанализируем экспериментально полученную кривую (рис. 14-7-2). Вначале сила тока в цепи возрастает, достигая максимального значения при некоторой частоте ν_0, называемой резонансной, затем начинает постепенно убывать.

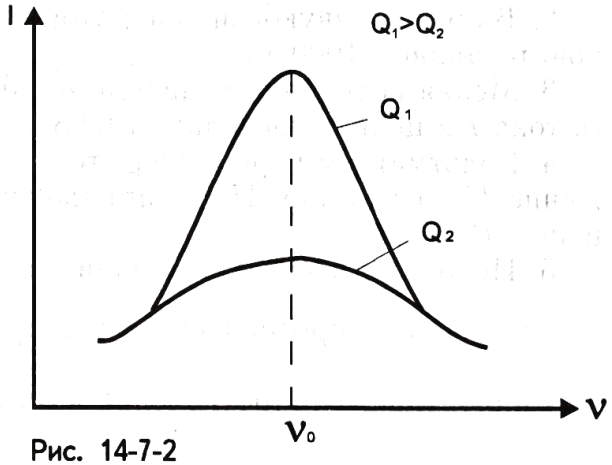


Рис. 14-7-2

Такая зависимость силы тока в контуре от частоты объясняется следующим образом. При увеличении частоты тока индуктивное сопротивление постепенно увеличивается, а емкостное - уменьшается. При резонансной частоте ν_0 индуктивное сопротивление катушки становится равным емкостному сопротивлению контура: $X_L = X_C$. Уравняются также противофазные напряжения U_L и U_C, которые полностью скомпенсируют друг друга. Общее сопротивление цепи, определяемое формулой

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

, резко уменьшается. В цепи как бы остается только активное сопротивление контура R, из-за чего сила тока резко возрастает.

При частотах, меньших резонансной, в цепи преобладает емкостное сопротивление над индуктивным, а при частотах, больших резонансной, в цепи, в основном, действует индуктивное сопротивление. В том и другом случае общее сопротивление цепи растет, вызывая уменьшение тока и напряжений U_L, U_C.

Из условия равенства сопротивлений $X_L=2\pi\nu L$ и $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$ при резонансе определяется значение собственной частоты контура

$$\nu_O = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

и периода колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Задание 14-7-1.

Постройте резонансную кривую $I = f(\nu)$.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-7-3, а и б.

2. При неизменном выходном напряжении звукового генератора в пределах 3-4 В снимите показания миллиамперметра через каждые 200 Гц между частотами 200 и 3000 Гц.

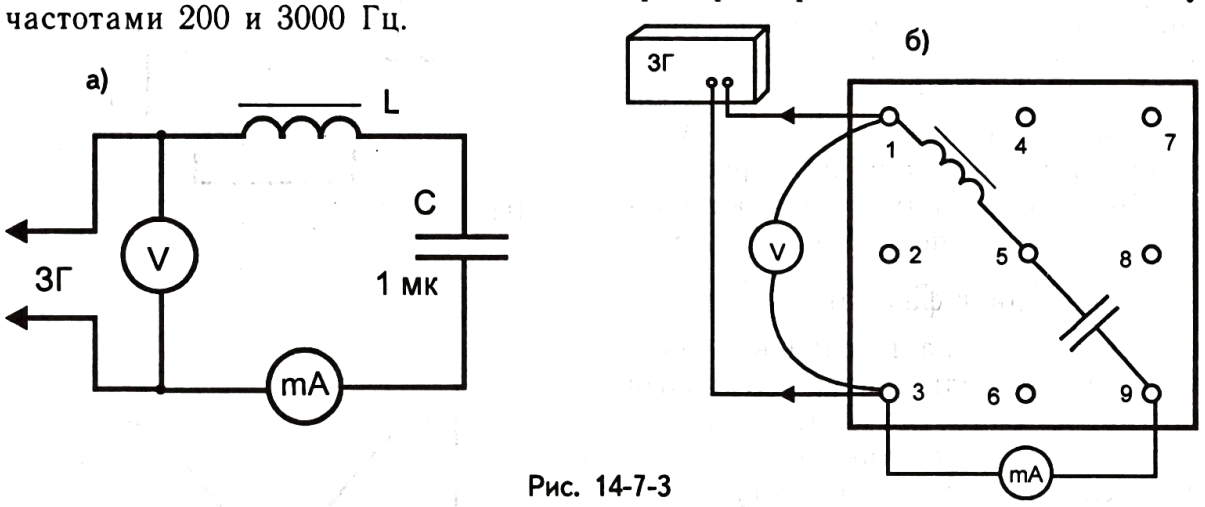


Рис. 14-7-3

Показания приборов занесите в таблицу 14-7-1.

Таблица 14-7-1

Частота колебаний ν, Гц	200	400	600	. . .	2600	2800	3000
Сила тока в цепи I, мА				. . .			

3. Постройте резонансную кривую $I = f(\nu)$.

4. По графику определите резонансную (собственную) частоту контура ν_0.

§14-8. В ПАРАЛЛЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ ПРИ РЕЗОНАНСЕ СИЛА ТОКА РЕЗКО УМЕНЬШАЕТСЯ

В радиотехнических устройствах часто встречается так называемый параллельный колебательный контур, элементы которого (конденсатор и катушка) подключаются к источнику переменного тока параллельно (рис. 14-8-1).

Под действием переменного напряжения U через конденсатор C протекает ток I_C, опережающий напряжение на нем на $\frac{\pi}{2}$, сила которого прямо пропорционально зависит от частоты: $I_C = \frac{U}{X_C} = 2\pi\nu CU$.

Ток I_L, протекающий через катушку L, отстает от напряжения на ней на $\frac{\pi}{2}$ и обратно пропорционально зависит от частоты: $I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi\nu L}$.

Отсюда следует, что в цепи переменного тока при низких частотах малое индуктивное сопротивление ка-

тушки X_L шунтирует большое емкостное сопротивление конденсатора X_C. На высших частотах, наоборот, большое индуктивное сопротивление катушки шунтируется малым емкостным сопротивлением конденсатора. Только при частоте ν_0 , называемой резонансной, эти два реактивных сопротивления равны друг другу ($X_L = X_C$) и никто никого не шунтирует.

При этом по ним протекают равные, но противоположно направленные токи (сдвиг фаз равен $\frac{\pi}{2}$), т. е. в контуре протекает кольцевой переменный ток. Если контур идеальный (активное сопротивление R равно нулю), то в цепи, соединяющей параллельный колебательный контур с источником переменного напряжения, сила тока равна нулю. Следовательно, идеальный параллельный колебательный контур при резонансе представляет собой бесконечно большое сопротивление.

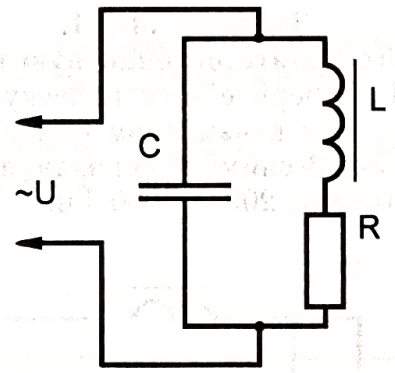


Рис. 14-8-1

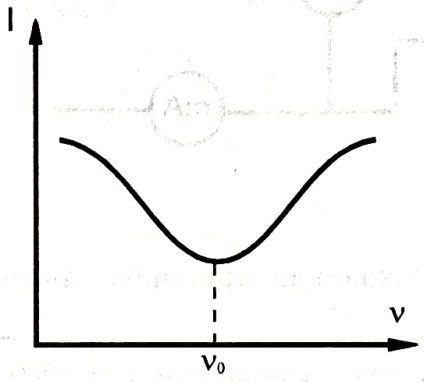


Рис. 14-8-2

В реальном контуре всегда имеется некоторое активное сопротивление R (рис. 14-8-1), складывающееся из сопротивления катушки, соединительных проводов и т.д. Поэтому полной компенсации токов I_C и I_L никогда не происходит. Параллельный контур при резонансе оказывает току источника питания большое активное сопротивление.

На рис. 14-8-2 представлен график изменения силы тока в цепи при изменении частоты подаваемого на колебательный контур напряжения. Видно, что при резонансной частоте сопротивление контура максимально и в цепи течет минимальный ток.

Значение резонансной частоты параллельного колебательного контура определяется так же, как для последовательного контура: $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Задание 14-8-1.

Постройте резонансную кривую $I=f(\nu)$ для колебательного контура, содержащего параллельно включенные катушку и конденсатор, и определите его собственную (резонансную) частоту.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-8-3, а и б.

2. Установите выходное напряжение звукового генератора в пределах 3-4 В и снимите показания миллиамперметра через каждые 200 Гц между частотами 200 и 3000 Гц.

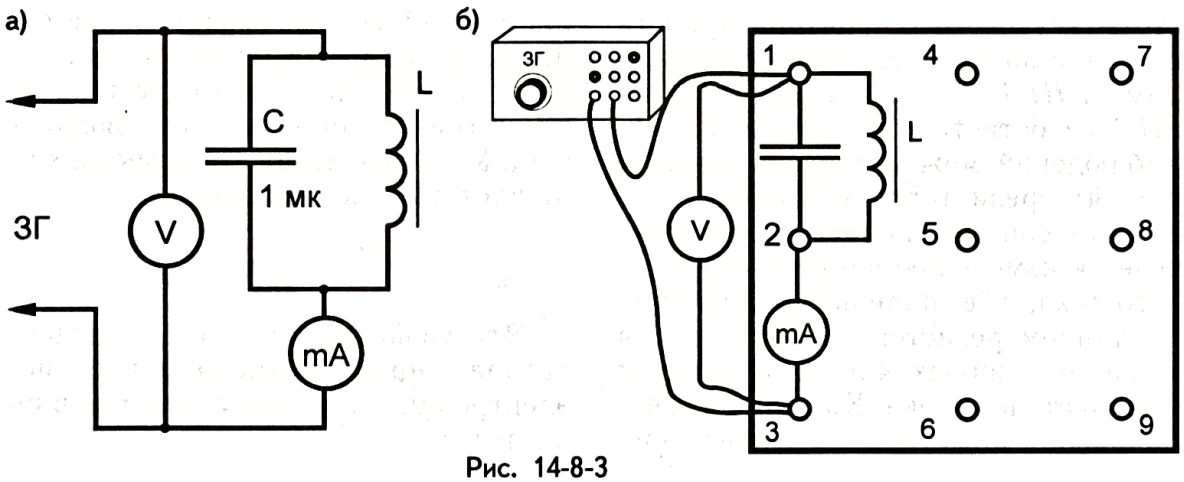


Рис. 14-8-3

Данные занесите в таблицу 14-8-1.

Таблица 14-8-1

Частота ν, Гц	200	400	600	. . .	2600	2800	3000
Сила тока I, мА				. . .			

3. По полученным данным постройте график зависимости $I=f(\nu)$.

4. Определите по графику собственную (резонансную) частоту колебательного контура ν_0.

5. Исследуйте, как изменяется резонансная частота контура с изменением характеристик его элементов:

а) при изменении индуктивности катушки выдвижением стержня из нее;

б) при изменении емкости конденсатора (параллельном или последовательном подключении к первому конденсатору второго).

§14-9. В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА АКТИВНОЕ, ИНДУКТИВНОЕ И ЕМКОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕДУТ СЕБЯ ПО-РАЗНОМУ

На рисунке 14-9-1, а показана схема простой и интересной установки для демонстрации роли активного, индуктивного и емкостного сопротивлений в цепи переменного тока. На три миниатюрные лампы накаливания МН 2,5 В × 0,15 А (МН 3,5 В × 0,15 А) переменное напряжение от звукового генератора подается через активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Параллельно к ним для контроля изменения частоты тока можно подключить головной телефон *BF*. Частоту входного сигнала будем плавно менять от 200 Гц до 2000 Гц. При низких частотах входного сигнала (около 200 Гц) ярко светится лампа *HL1*, включенная последовательно с катушкой индуктивности *L* (используется самодельная катушка, изготовленная в задании 14-2-1). Лампа *HL3*, соединенная последовательно с конденсатором *C*, горит слабо.

При постепенном увеличении ча-

стоты звукового генератора яркость свечения лампы *HL2* уменьшается, а лампы *HL3* возрастает. Накал лампы *HL1* остается без изменения. Из наблюдений можно сделать вывод о том, что резистор, обладающий активным сопротивлением, нечувствителен к изменению частоты переменного тока, т. е. падение напряжения на данном резисторе одинаково для токов различных частот и зависит только от силы тока. Катушка же, обладающая индуктивным сопротивлением $X_L=2\pi\nu L$, оказывает малое сопротивление токам низких частот, но по мере увеличения частоты тока ее индуктивное сопротивление возрастает. У конденсатора эта зависимость от частоты тока обратная:

$$X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

Эти свойства катушки и конденсатора широко применяют в радиоэлектронике для разделения токов по частотам.

Задание 14-9-1.

Наблюдайте за поведением резистора, катушки и конденсатора в цепи переменного тока.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 14-9-1, а и б. В ней на каждую из трех миниатюрных ламп накаливания переменное напряжение от звукового генератора подается через сопротивление: в одном случае через активное R, в другом - индуктивное X_L , в третьем - емкостное X_C. Подключенный к ним параллельно головной телефон *BF* служит для звуковой индикации частоты тока в цепи.

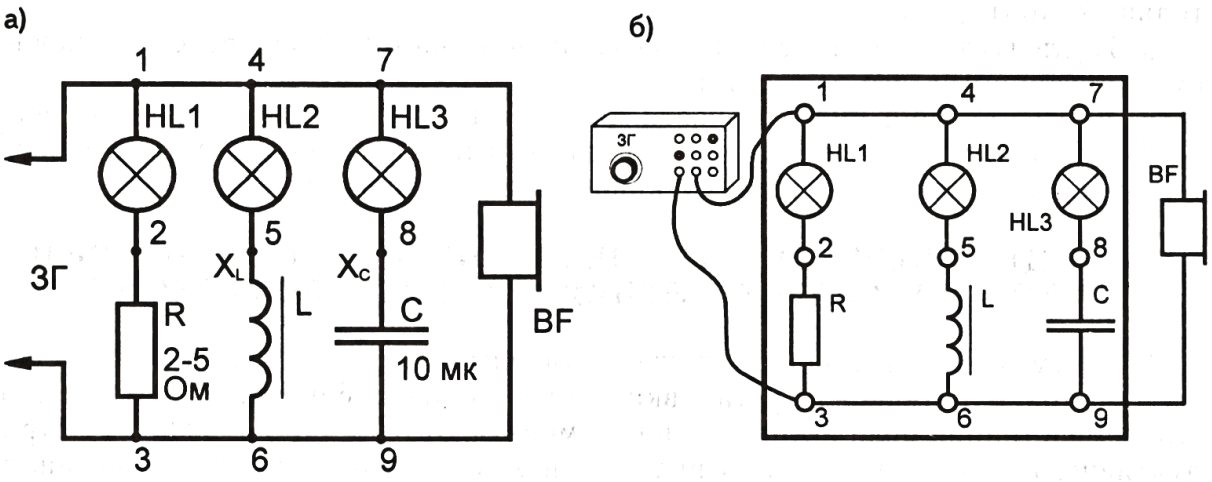


Рис. 14-9-1

2. Установите такое выходное напряжение генератора, чтобы лампа *HL1* горела достаточно ярко.

3. Плавно меняйте частоту работы звукового генератора от 200 Гц до 2000 Гц и обратно и следите за ней по характеру звучания телефона. Наблюдайте одновременно за изменением яркости горения ламп.

4. Объясните наблюдаемые явления.

Задание 14-9-2.

Пронаблюдайте явление резонанса в контуре.

1. Из схемы, изображенной на рис. 14-9-1, исключите лампу *HL1* с резистором *R*.

2. Меняя частоту генератора, добейтесь того, чтобы обе оставшиеся лампы горели одинаково.

Объясните эту ситуацию.

3. Подумайте, как надо изменить частоту генератора для восстановления данного эффекта, если из катушки частично выдвинуть стержень.

Вашу гипотезу проверьте на опыте.

4. Как изменится резонансная частота этого контура, если в него включить конденсатор большей емкости?

Ваше предположение проверьте на опыте.

Задание 14-9-3.

Сделайте простейшее цветомузыкальное устройство и испытайте его.

1. Изображенную на рис. 14-9-1 конструкцию подключите не к звуковому генератору, а к выходу звуковоспроизводящего устройства (магнитофона, проигрывателя) и наблюдайте за изменением яркости горения ламп при проигрывании музыки. Лампы можно окрасить пастой шариковых ручек в разные цвета, например: красный, синий, зеленый.

2. Объясните наблюдаемые эффекты.

Глава 15

Транзисторы. Импульсный режим работы транзистора

§15-1. ТРАНЗИСТОР - ЭТО ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРИБОР

Транзистор - это трехэлектродный полупроводниковый прибор.

В зависимости от типов проводящих зон могут быть *n - p - n* - транзисторы и *p - n - p* - транзисторы. Схематическое изображение *n - p - n*-транзистора показано на рис. 15-1-1, а, *p - n - p*-транзистора - на рис. 15-1-2, а, их условные графические обозначения - на рисунках 15-1-1, б и 15-1-2, б соответственно.

Средняя область транзистора называется базой, одна крайняя область - эмиттером, другая - коллектором.

Условно транзистор можно представить как два диода с одной общей проводящей зоной (рис. 15-1-1, в, рис. 15-1-2, в).

На рис. 15-1-3 показан внешний вид некоторых широко распространенных транзисторов.

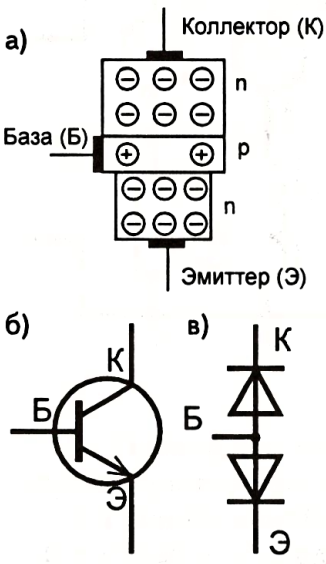


Рис. 15-1-1
n-p-n- транзистор

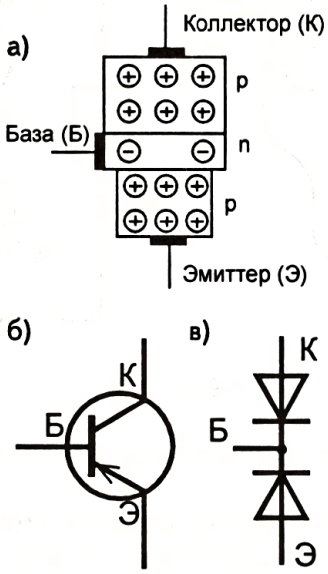


Рис. 15-1-2
p-n-p- транзистор

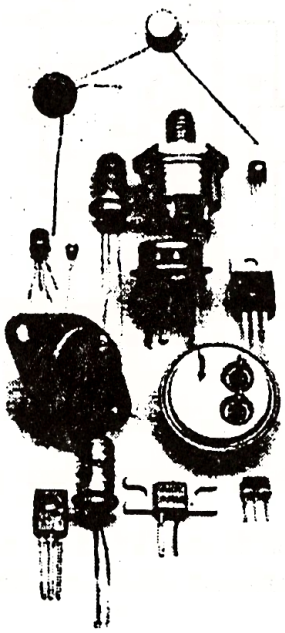


Рис. 15-1-3

§15-2. КАК МАРКИРУЮТСЯ ТРАНЗИСТОРЫ

В настоящее время действует система обозначения транзисторов, состоящая из четырех элементов. Первый элемент - буква *Г* или цифра 1 - присваивается транзисторам, сделанным из германиевого полупроводника, буква *К* или цифра 2 - кремниевым транзисторам, буква *А* или цифра 3 - транзисторам из арсенида галлия. Цифра вместо буквы указывает на способность транзистора работать при повышенных температурах: германий - выше +60° С, кремний - выше +85° С. Второй элемент - буква *Т* - начальная буква слова «транзистор». Третий элемент - трех- или четырехзначное число, характеризующее частотные свойства и мощности транзисторов.

Классификация транзисторов по этим признакам приведена в нижеприлагаемой таблице 15-2-1.

Таблица 15-2-1

Группа транзисторов	Макс. рассеиваемая мощность, Вт	Частоты применения, МГц		
		до 3	3 ... 30	св. 30
Малой мощности	до 0,3	101 ... 199	201 ... 299	301 ... 399
Средней мощности	0,3 ... 3	401 ... 499	501 ... 599	601 ... 699
Большой мощности	св. 3	701 ... 799	801 ... 899	901 ... 999

Четвертый элемент - буква, показывающая разновидность группы транзисторов данной серии.

Приведем несколько примеров расшифровки биполярных транзисторов: КТ315Б - кремниевый маломощный высокочастотный транзистор группы *Б* серии КТ315; ГТ108А - германиевый маломощный низкочастотный транзистор группы *А* серии ГТ108; КТ361В - кремниевый маломощный высокочастотный транзистор группы *В* серии КТ361.

Однако очень часто встречаются транзисторы старой системы маркировки, например: МП26А, МП42Б, П416А, П214Г и т. д. Буква М свидетельствует о том, что корпус транзистора холодносварной, буква П - первая буква слова «плоскостной».

Задание 15-2-1.

Возьмите входящие в состав набора транзисторы и определите:

а) марку;

б) тип (структуру);

в) выводы: базу, коллектор, эмиттер.

§15-3. ПРОВЕРКА ИСПРАВНОСТИ ПЕРЕХОДОВ ТРАНЗИСТОРОВ

Прежде чем использовать транзистор в какой-то конкретной схеме, проверяют его исправность: целостность переходов. Делают это тем же способом, что и проверку диода: измеряют сопротивления переходов омметром (авометром) или проверяют цепочкой, состоящей из источника питания и лампы или источника питания и светодиода. У исправного транзистора оба перехода в прямом направлении (т. е. когда у *p - n - p* -транзистора на базе отрицательный потенциал, а у *n - p - n* -транзистора - положительный) имеют малое сопротивление, всего несколько ом, а в обратном, когда у *p - n - p* -транзистора на базе «+», у *n - p - n* -транзистора «–», - большое сопротивление, несколько десятков килоом.

У транзисторов возможны следующие неисправности:

1) пробиты оба перехода; тогда они в обоих направлениях имеют незначительные сопротивления;

2) оборваны один или оба перехода; тогда они имеют бесконечно большие сопротивления;

3) один переход пробит, другой оборван;

4) пробит участок «эмиттер-коллектор»; он имеет малое сопротивление.

Задание 15-3-1.

1. Измерьте омметром сопротивления перехода транзистора *p - n - p* -типа (измеряемые переходы условно показаны пунктиром в виде диодов).

а). Измерьте сопротивления переходов эмиттер-база и коллектор-база при их прямом включении (рис. 15-3-1, а и б).

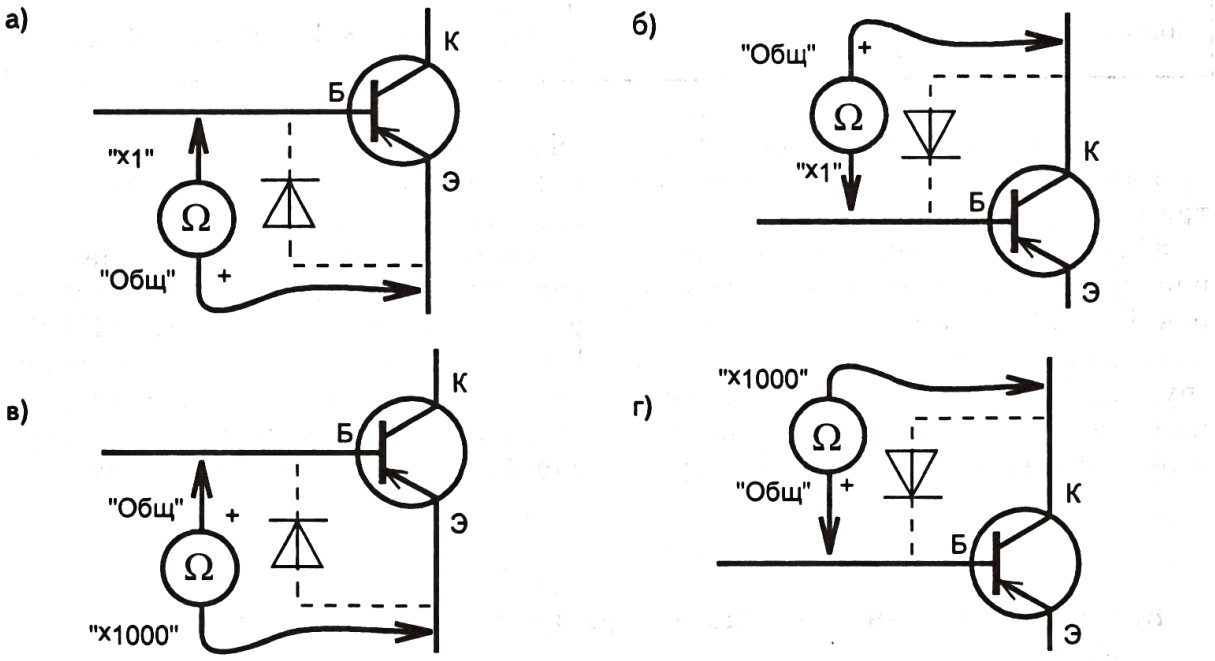


Рис. 15-3-1

б). Измерьте сопротивления этих же переходов при их обратном включении (рис. 15-3-1, в и г).

в). Результаты измерений занесите в первую строку таблицы.

2. Измерьте омметром сопротивления переходов транзистора *n - p - n* - типа согласно рисункам 15-3-2, а,б,в,г. Результаты измерений занесите во вторую строку таблицы 15-3-1.

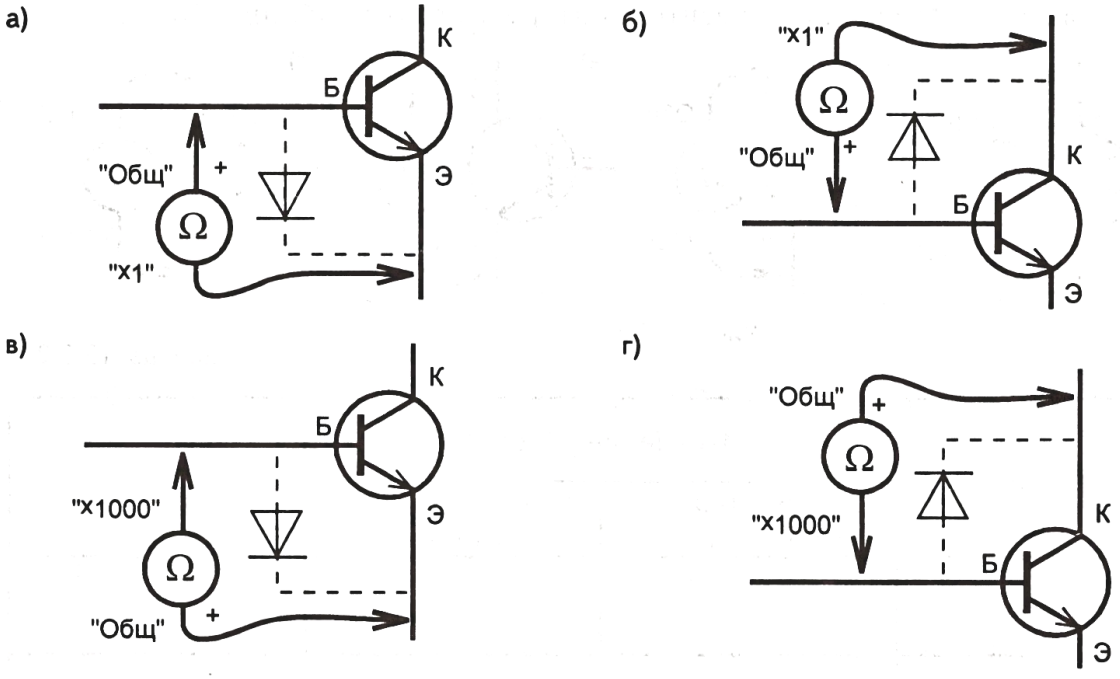


Рис. 15-3-2

Таблица 15-3-1

Тип транзистора	Сопротивления переходов, Ом				Вывод
	прямое включение		обратное включение		
	база-эмиттер	база-коллектор	база-эмиттер	база-коллектор	
p-n-p					
n-p-n					

3. Проанализируйте результаты опытов и сделайте вывод о том, исправен или неисправен транзистор.

Задание 15-3-2.

1. Измерьте сопротивления участков эмиттер-коллектор и коллектор-эмиттер транзисторов *p - n - p* - типа по рис. 15-3-3, а и б.

Результаты измерений занесите в первую строку таблицы.

2. Измерьте сопротивления этих же участков у *n - p - n* - транзистора (рис. 15-3-3, в и г).

Результаты измерений занесите во вторую строку таблицы 15-3-2.

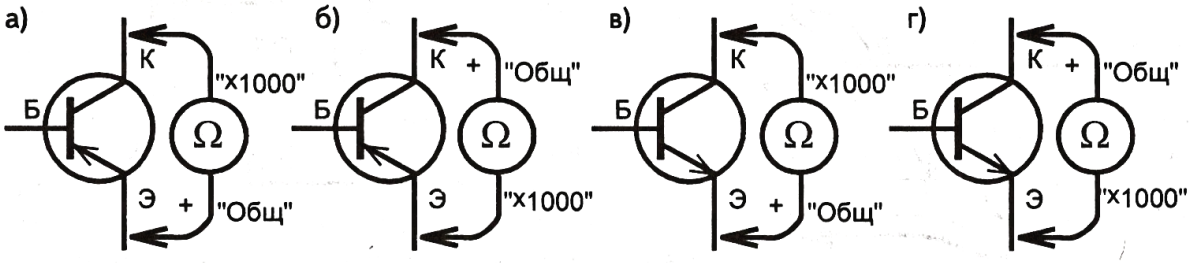


Рис. 15-3-3

Таблица 15-3-2

Тип транзистора	Сопротивление участков, Ом		Вывод
	эмиттер-коллектор	коллектор-эмиттер	
p-n-p			
n-p-n			

Задание 15-3-3.

Проверьте исправность переходов транзистора *p - n - p* - типа светодиодом (или лампой) согласно рис. 15-3-4, а, б, в, г.

Ответьте, в каких случаях у исправного транзистора светодиоды или лампы светятся?

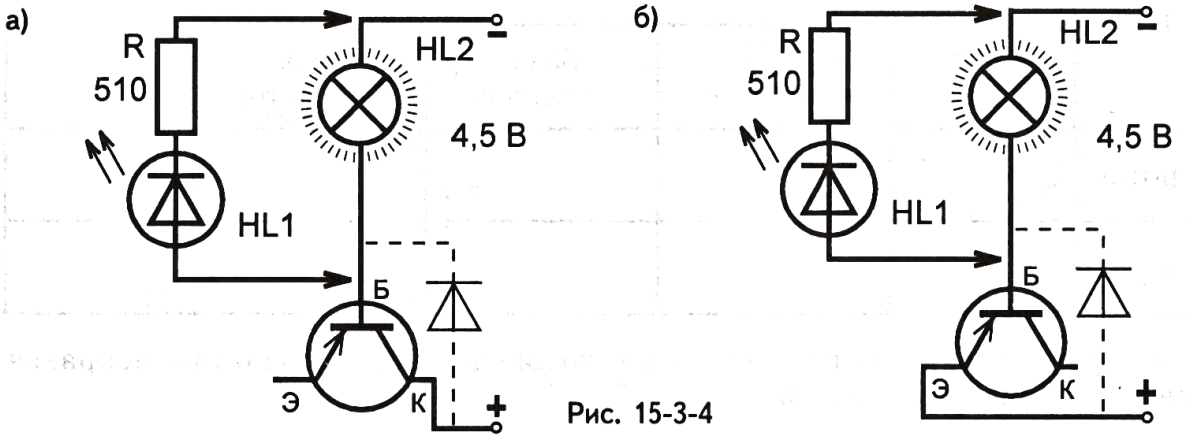


Рис. 15-3-4

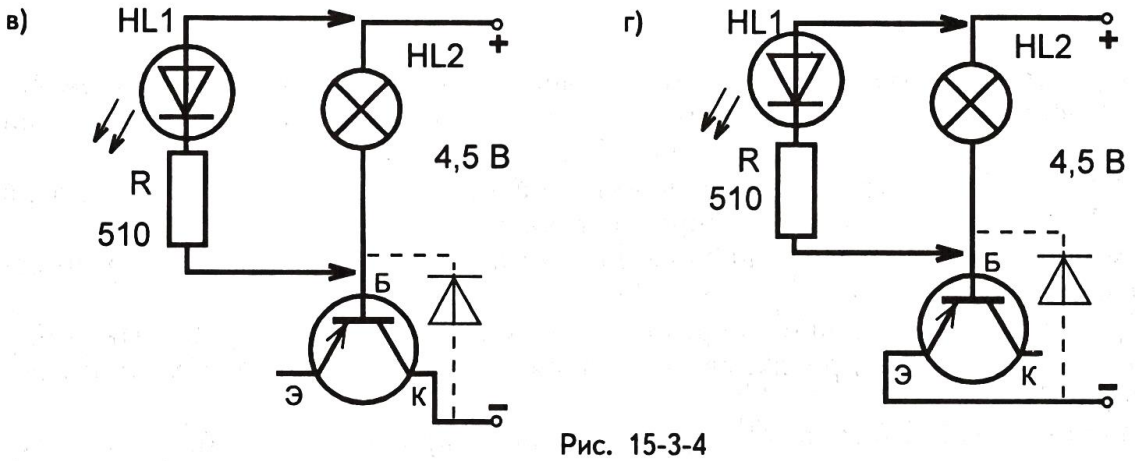


Рис. 15-3-4

Задание 15-3-4.

По аналогии с предыдущим заданием составьте схемы и проведите испытания транзистора *n - p - n* - типа на исправность переходов.

§15-4. 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. 15-4-1), а у *n - p - n* - транзистора - от коллектора и базы к эмиттеру. Причем, $I_Э = I_К + I_Б$; $I_К >> I_Б$. Помним, что ток условно направлен от «+» к «−».

Обратите внимание на то, что транзисторы разного типа проводимости отличаются полярностью включения питания к их выводам.

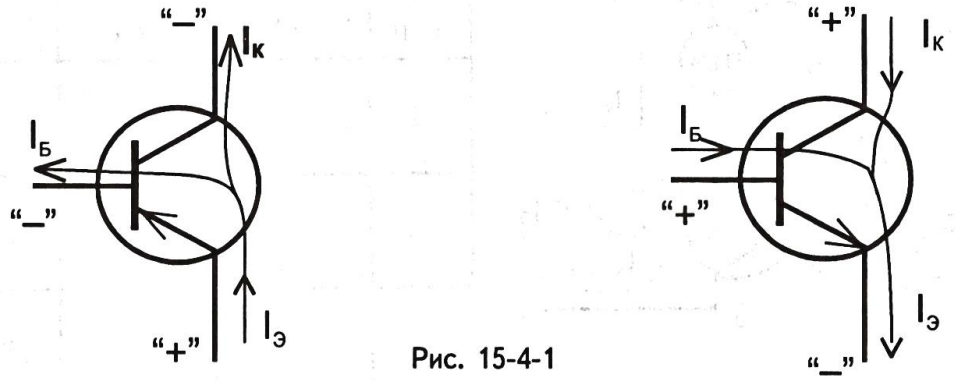


Рис. 15-4-1

§15-5. БАЗОВЫЙ ТОК УПРАВЛЯЕТ КОЛЛЕКТОРНЫМ ТОКОМ

Значение базового тока в десятки и сотни раз меньше значения коллекторного тока. Но база является управляющим электродом транзистора. От силы базового тока $I_Б$ зависит сила коллекторного тока $I_К$. Будет правильно, если скажем, что базовый ток управляет коллекторным током.

Задание 15-5-1.

Изучите управляющее действие базового тока $I_Б$ коллекторным током $I_К$.

1. Соберите цепь на транзисторе *n - p - n* - типа по рис. 15-5-1, а и б (на транзисторе *p - n - p* - типа по рис. 15-5-1, в), где:

- миллиамперметр *PA2*, включенный на предел измерения до 50 или до 100 мА, измеряет силу коллекторного тока $I_К$;
- миллиамперметр *PA1* , включенный на предел измерения до 5 мА, измеряет силу базового тока $I_Б$;
- резистор *R2* защищает переход база-эмиттер от короткого замыкания с источником питания при нулевом значении сопротивления переменного резистора *R1*;
- переменный резистор *R1* служит для регулирования силы базового (следовательно, и коллекторного) тока;

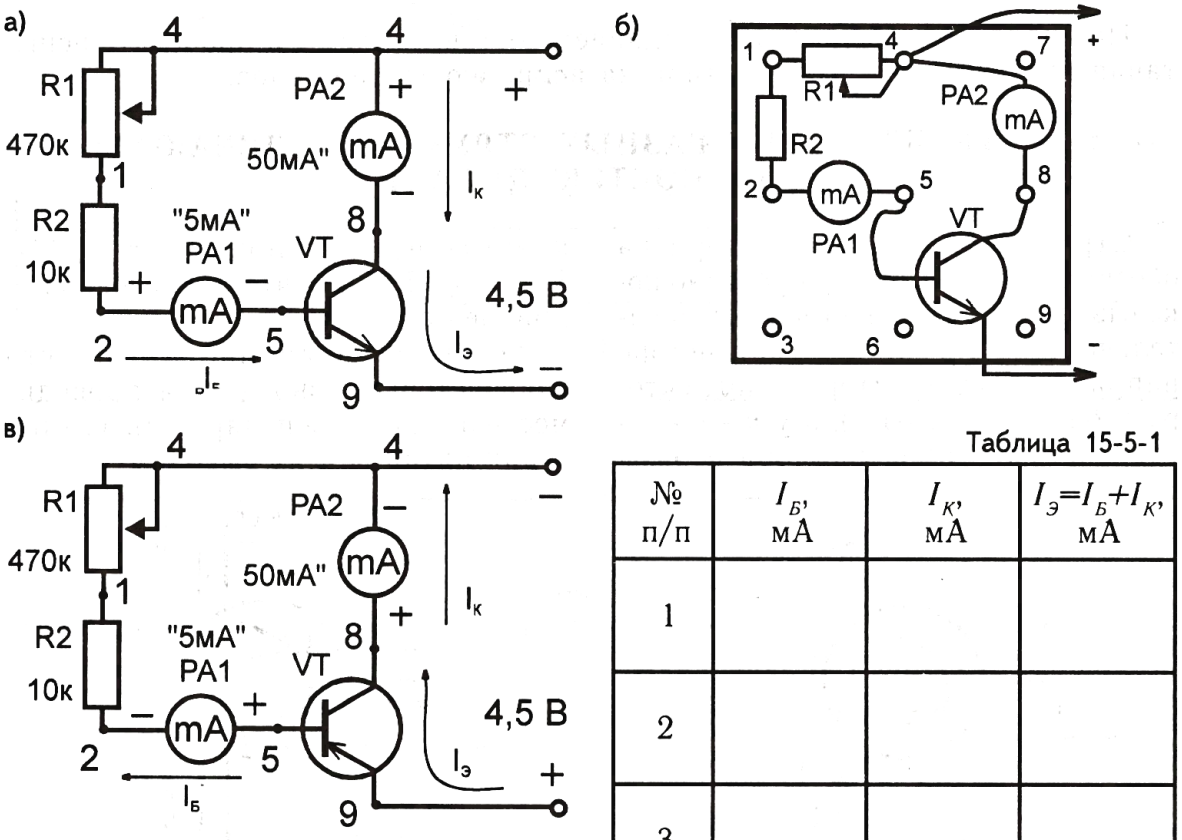


Рис. 15-5-1

Таблица 15-5-1

№ п/п	$I_Б$, мА	$I_К$, мА	$I_Э=I_Б+I_К$, мА
1			
2			
3			

2. Меняя сопротивление переменного резистора вращением ручки движка, следите за показаниями измерительных приборов.

3. Занесите в таблицу 15-5-1 несколько значений $I_Б$ и $I_К$ и определите соответствующие им значения эмиттерного тока.

4. Сделайте вывод о том, как коллекторный и эмиттерный токи зависят от базового тока.

§15-6. ЭМИТТЕРНЫЙ ПЕРЕХОД - УПРАВЛЯЮЩИЙ ПЕРЕХОД ТРАНЗИСТОРА

Выше мы говорили, что база - это управляющий переход транзистора. Точнее будет, если скажем, что эмиттерный *p - n* - переход - управляющий *p - n* - переход транзистора.

Вспомним, что транзистор, в отличие от диода (рис. 11-5-1), имеет два *p - n* - перехода: эмиттерный и коллекторный (рис. 15-1-1, 15-1-2). 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 (несколько процентов) 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 ($I_K >> I_Б$).

Но для того, чтобы открыть эмиттерный переход, между базой и эмиттером нужно создать небольшое прямое напряжение: 0,1 - 0,2 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. 15-6-1), прилагаемое на эмиттерный переход для нормальной работы транзистора, должно быть приложено к базе «минусом» у *p - n - p* - транзистора и «плюсом» у *n - p - n* - транзистора относительно эмиттера.

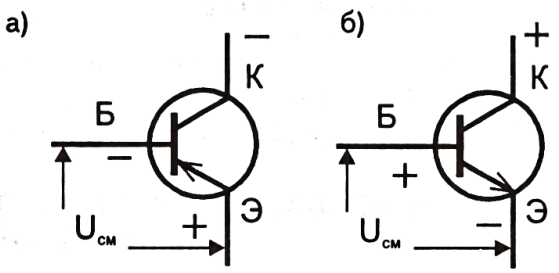


Рис. 15-6-1

Например, на схемах, изображенных на рисунках 15-5-1, а) и в) напряжения смещения обеспечиваются суммарным сопротивлением базовых резисторов *R1* и *R2* .

Задание 15-6-1.

Изучите зависимость сил базового $I_Б$ и коллекторного I_K токов от значения напряжения между базой и эмиттером (напряжения смещения). Используйте кремниевый и германиевый транзисторы любой проводимости.

1. Соберите схему по рис. 15-6-2. Напряжение смещения между базой и эмиттером измеряется вольтметром.

2. Меняя сопротивление базового резистора *R1*, следите за тем, как от значения напряжения смещения зависят силы базового и коллекторного токов.

3. Занесите в таблицу 15-6-1 несколько одновременных показаний приборов.

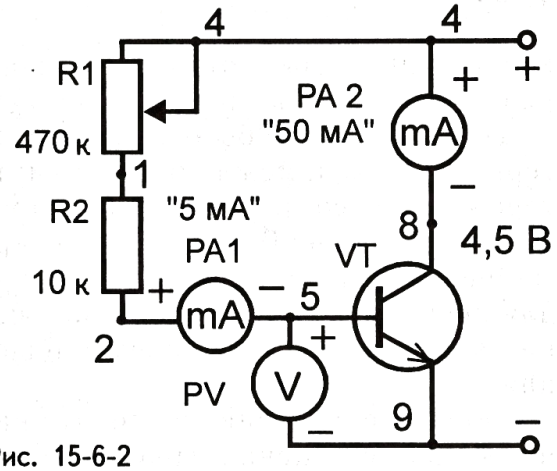


Рис. 15-6-2

Таблица 15-6-1

Материал транзистора	№ п/п	$U_{СМ}$, В	$I_Б$, мА	$I_К$, мА
Кремний, Si	1			
	2			
	3			
Германий, Ge	1			
	2			
	3			

4. Анализируя результаты исследования, сделайте вывод о том:

а) как базовые и коллекторные токи зависят от напряжения смещения?

б) как значение напряжения смещения, при котором токи в транзисторе заметно начинают расти, зависит от материала полупроводника?

Задание 15-6-2.

По аналогии с предыдущим заданием составьте схему и изучите управляющее действие напряжения смещения эмиттерного перехода p - n - p - транзистора на базовый и коллекторный токи.

§15-7. БАЗОВЫЙ РЕЗИСТОР УПРАВЛЯЕТ ТОКАМИ В ТРАНЗИСТОРЕ

Выполняя задание 15-6-1, мы убедились, что при изменении сопротивления резистора в цепи базы изменяется ток базы $I_Б$ и зависящий от него ток коллектора $I_К$. Из рис. 15-7-1 видно, что базовый ток, создаваемый источником питания, протекает по резистору $R_Б$ в цепи базы и переходу база-эмиттер. Обратите внимание, что базовый резистор и эмиттерный переход соединены друг с другом последовательно. Отсюда следует, что при уменьшении сопротивления базового резистора базовый ток $I_Б$ растет, вызывая увеличение напряжения смещения на эмиттерном переходе и, как следствие, усиление тока коллектора $I_К$. При увеличении сопротивления в цепи базы все происходит наоборот.

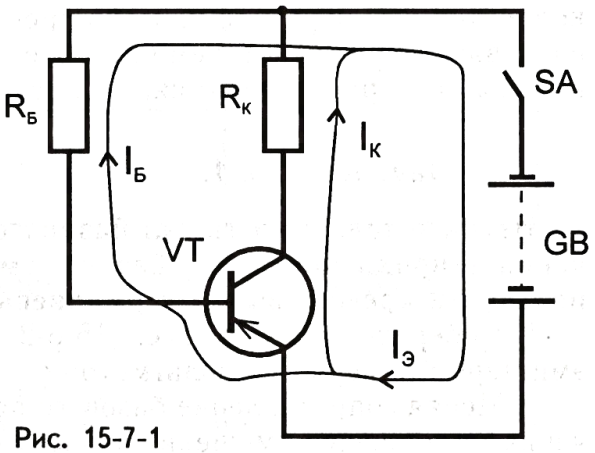


Рис. 15-7-1

Задание 15-7-1.

Изучите управляющее действие базового резистора коллекторным током.

1. Соберите схему по рис. 15-7-2 (светодиод можно заменить лампой).
2. Меняя сопротивление резистора вращением ручки, следите за изменением яркости светодиода (лампы) и сделайте вывод.
3. Ответьте, какую роль играет в схеме резистор *R2*?

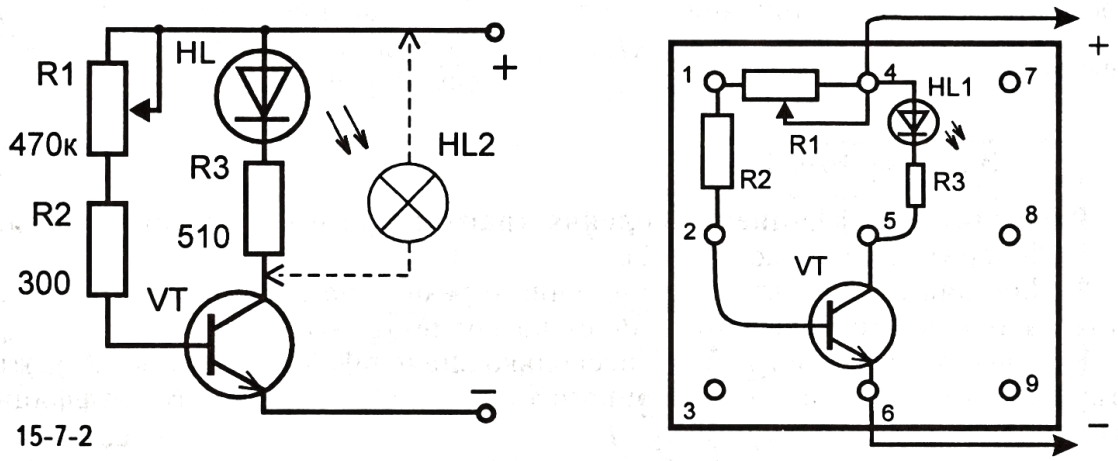


Рис. 15-7-2

§15-8. ТРАНЗИСТОР ВКЛЮЧАЕТСЯ В ЦЕПЬ ТРЕМЯ СПОСОБАМИ

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 рис. 15-8-1: а) схема с общей базой (ОБ), б) схема с общим эмиттером (ОЭ), в) схема с общим коллектором (ОК).

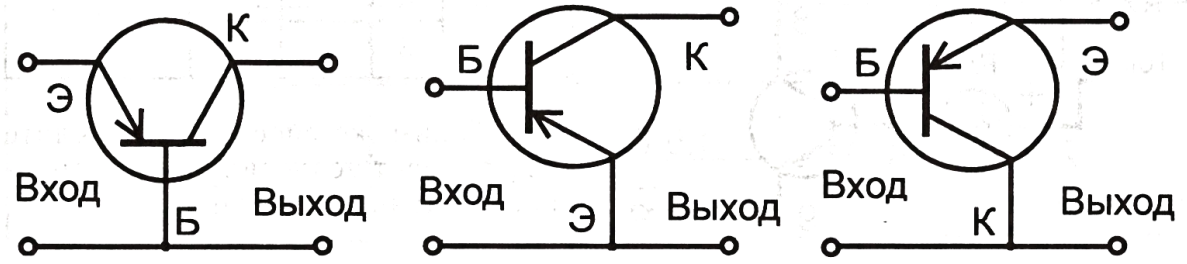


Рис. 15-8-1: а - схема ОБ; б - схема ОЭ; в - схема ОК

§15-9. КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРА

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 усилителем мощности входного сигнала, определяемого как произведение силы тока и напряжения: $P=I \times U$.

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 $\Delta I_К$ к изменению силы тока базы $\Delta I_Б$ при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером $h_{21Э} = \frac{\Delta I_К}{\Delta I_Б}$.

Приближенно статический коэффициент передачи тока можно измерить по формуле $h_{21Э} = \frac{I_К}{I_Б}$, если изменения базового тока $\Delta I_Б$ вызывают почти пропорциональные изменения коллекторного тока $\Delta I_К$.

В дальнейшем коэффициент $h_{21Э}$ часто будем называть просто коэффициентом усиления.

Задание 15-9-1.

Вычислите коэффициент усиления транзистора n - p - n -структуры.

1. Соберите цепь (рис. 15-9-1).
2. Изменяя сопротивление переменного резистора *R1* в базовой цепи, следите за тем, как базовый ток влияет на коллекторный.
3. Занесите в таблицу 15-9-1 несколько значений базового тока и соответствующие им значения коллекторного тока. По ним определите коэффициенты усиления $h_{21Э}$ транзистора.
4. Определите среднее значение коэффициента усиления, поделив общую сумму на число опытов.

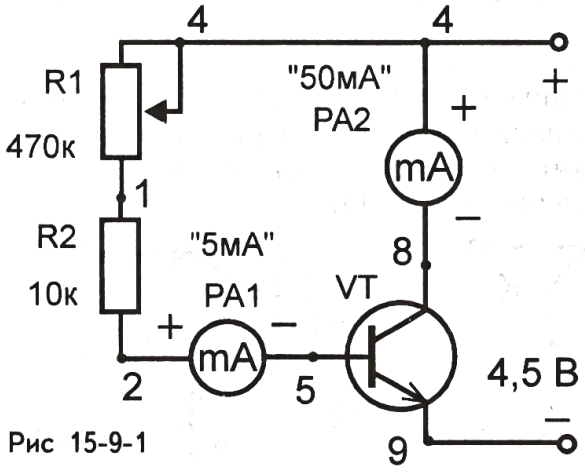


Рис 15-9-1

Таблица 15-9-1

Марка транзистора	№ п/п	$I_Б$, мА	$I_К$, мА	$h_{21Э}$	$h_{21Э}ср.$
	1				
	2				
	3				

5. Таким же способом вычислите коэффициент усиления другого транзистора данного же типа.

Задание 15-9-2.

По аналогии с исследованием задания 15-9-1 составьте схему и вычислите коэффициент усиления транзистора p - n - p - структуры.

Задание 15-9-3.

Измерьте коэффициент передачи тока (коэффициент усиления) $h_{21Э}$ транзистора p - n - p - структуры (рис. 15-9-2).

1. Соберите электрическую схему. Обратите внимание, что базовая цепь питается от одного источника питания, а коллекторная - от другого.

В начале опыта движок переменного резистора *R2* установите в нижнем по схеме положении, когда приборы показывают нулевые значения.

2. Резистором *R2* устанавливайте силу тока базы $I_Б$ поочередно равную 100 мкА (0,1 мА), 200 мкА, 300 мкА и фиксируйте соответствующие значения силы коллекторного тока I_K .

3. Вычислите статические коэффициенты передачи тока и определите их среднее значение.

4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 15-9-2.

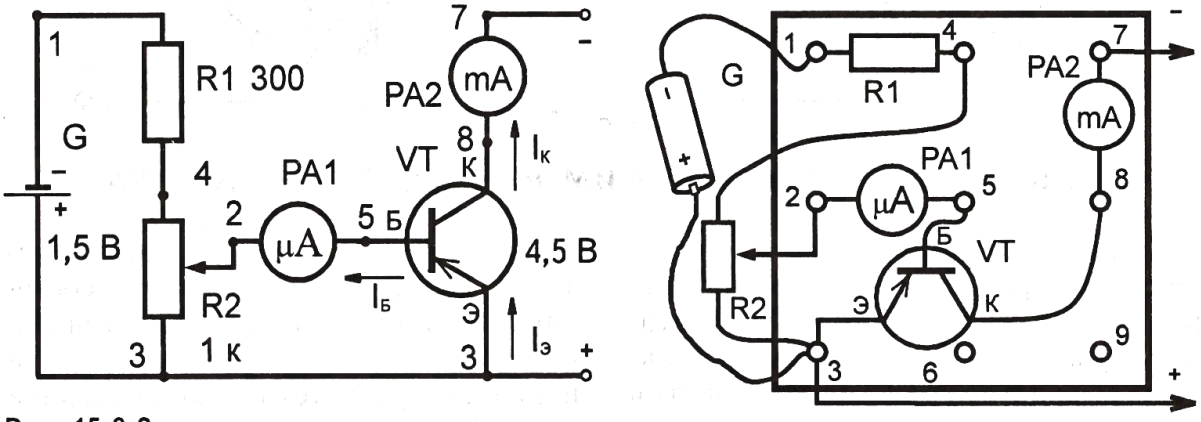


Рис. 15-9-2

Таблица 15-9-2

Тип транзистора	№ опыта	$I_Б$, мА	I_K, мА	$h_{21Э}$	$h_{21Э}$ср.
р-n-р	1				
	2				
	3				

Задание 15-9-4.

По аналогии с заданием 15-9-3 составьте схему и определите статический коэффициент передачи тока транзистора n - p - n - структуры.

Задание 15-9-5.

Вычислите приблизительные значения коэффициентов передачи тока транзисторов обоих типов по упрощенным схемам, приведенным на рис. 15-9-3, а и б.

Силу коллекторного тока измерьте миллиамперметром, а силу базового тока определите как отношение напряжения источника питания к сопротивлению базового резистора: $I_Б = \frac{U_{пит}}{R_Б}$.

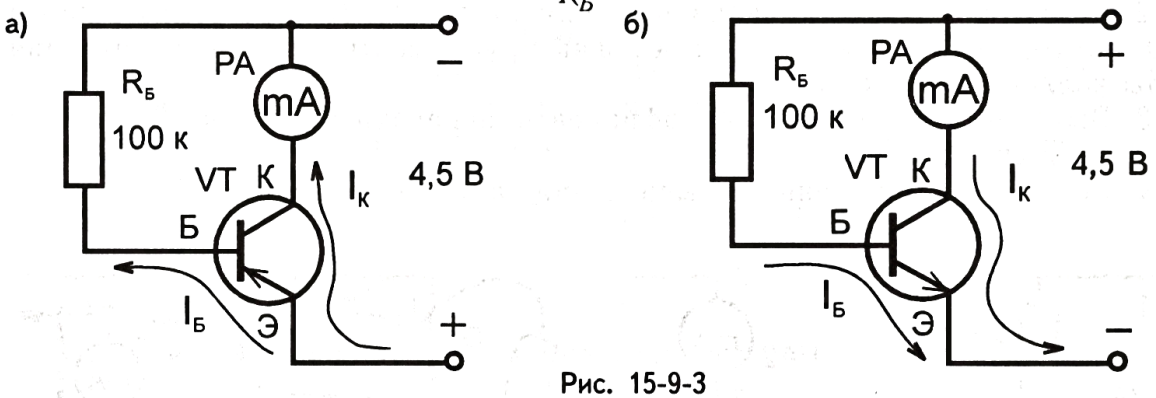


Рис. 15-9-3

§15-10. ИМПУЛЬСНЫЙ РЕЖИМ 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 - запертое 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 15-10-1.

Изучите импульсный режим работы транзистора.

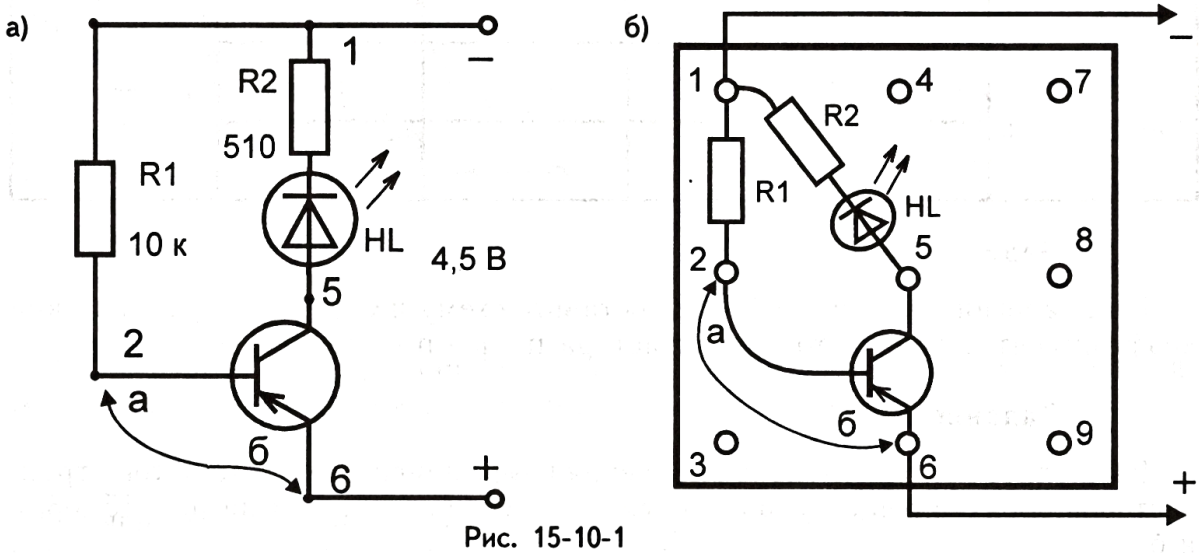


Рис. 15-10-1

1. Соберите электрическую цепь. В исходном состоянии транзистор открыт, в коллекторной цепи течет ток, светодиод горит.

2. Замкните проводом **аб** эмиттер (т. 6) с базой (т. 2). Светодиод гаснет, в коллекторной цепи тока нет. Транзистор закрыт.

3. Несколько раз замыкайте и размыкайте базу с эмиттером. Следите за явлением и объясните его.

В схеме задания 15-10-1 силу базового тока $I_Б$ можно вычислить, поделив напряжение питания $U_{ПИТ}$ на сопротивление базового резистора *R1*:

$$I_Б = \frac{U_{ПИТ}}{R_1} = \frac{4{,}5\ \text{В}}{10000\ \text{Ом}} = 0{,}00045\ \text{А} = 0{,}45\ \text{мА}$$

Примерное значение силы коллекторного тока I_K можно вычислить, поделив напряжение питания $U_{ПИТ}$ на общее сопротивление светодиода *HL* и ограничительного резистора *R2*, которое пусть будет равно 550 Ом:

$$I_K = \frac{U_{ПИТ}}{R_2 + R_{HL}} = \frac{4{,}5\ \text{В}}{550\ \text{Ом}} = 0{,}008\ \text{А} = 8\ \text{мА}$$

При этих расчетах сопротивлениями перехода база-эмиттер и участка эмиттер-коллектор пренебрегаем, т. к. их значения малы у открытого транзистора. Помним, что этот расчет весьма приблизителен.

Токи, протекающие в электрических цепях, невидимы. Однако наглядное представление о них можно иметь по их графикам. Пусть в задании 15-10-1 мы проводом **аб** базу с эмиттером замыкаем и размыкаем через каждую секунду. На рис. 15-10-2 приведены графики изменения базового (а) и коллекторного токов (б) в зависимости от времени. По ним видно: когда по базе течет ток $I_Б$ =0,45 мА, в коллекторной цепи течет ток I_K =8 мА. При этом транзистор открыт, провод **аб** разомкнут.

При замыкании базы с эмиттером ток в базовой цепи прекращается, что

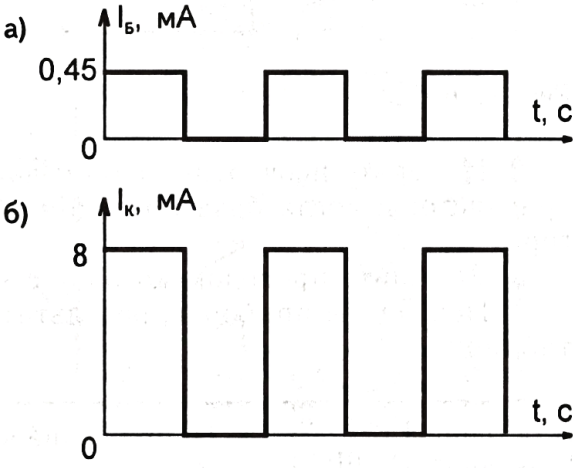


Рис. 15-10-2

вызывает одновременное исчезновение коллекторного тока. Транзистор закрывается. В этой схеме транзистор работает как ключ: либо он открыт - пропускает ток, либо закрыт - тока нет. С какой частотой замыкают и размыкают базовую цепь с эмиттером, с такой частотой закрывается и открывается транзистор.

Задание 15-10-2.

Изучите распределение напряжений у открытого и закрытого транзистора n - p - n -типа.

1. Соберите схему (рис. 15-10-3), где вольтметры измеряют:

V - напряжение питания (общее напряжение);

V1 - напряжение на базовом резисторе *R1*;

V2 - напряжение смещения;
V3 - напряжение на нагрузке коллектора (на светодиоде с резистором);
V4 - напряжение на коллекторе (на участке эмиттер-коллектор).

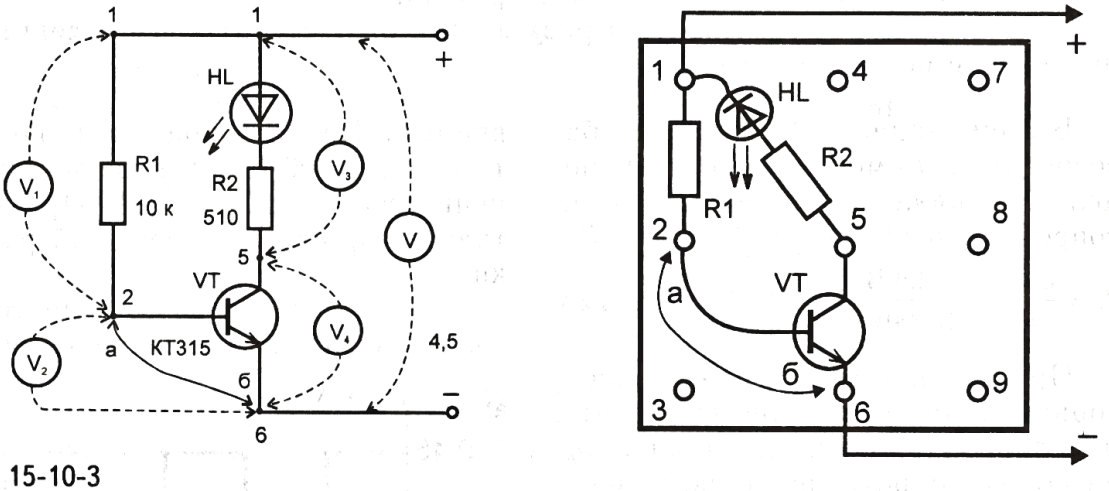


Рис. 15-10-3

2. Измерьте поочередно одним вольтметром все напряжения у открытого транзистора, когда база проводом **аб** не замкнута с эмиттером и светодиод горит.

3. Замкните проводом **аб** базу с эмиттером и измерьте все напряжения.

4. Показания приборов, результаты вычислений и наблюдений занесите в таблицу 15-10-1.

Таблица 15-10-1

Состояние входной цепи транзистора	Общее напряжение U, В	Напряжение в базовой цепи			Напряжение в коллекторной цепи			Состояние транзистора (открыт или закрыт)
		U_1, В	U_2, В	U_1+U_2, В	U_3, В	U_4, В	U_3+U_4, В	
База и эмиттер разомкнуты								
База и эмиттер замкнуты								

5. Ответьте, чем отличаются напряжения U_1, U_2, U_3, U_4 у открытого и закрытого транзистора?

Задание 15-10-3.

По аналогии с заданием 15-10-2 исследуйте распределение напряжений у открытого и закрытого транзистора p - n - p -типа.

Задание 15-10-4.

Объясните, чем будет отличаться показание вольтметра *V2* в задании 15-10-2 у открытых германиевого и кремниевого транзисторов? Вашу гипотезу проверьте на опыте.

Задание 15-10-5.

Исследуйте импульсный режим работы транзистора.

1. Соберите электрическую цепь, где транзистор *R2* регулирует напряжение смещения (или силу базового тока) на эмиттерном переходе, резистор *R1* защищает эмиттерный переход от короткого замыкания с «минусом» источника питания при верхнем по схеме положении движка резистора *R2*.

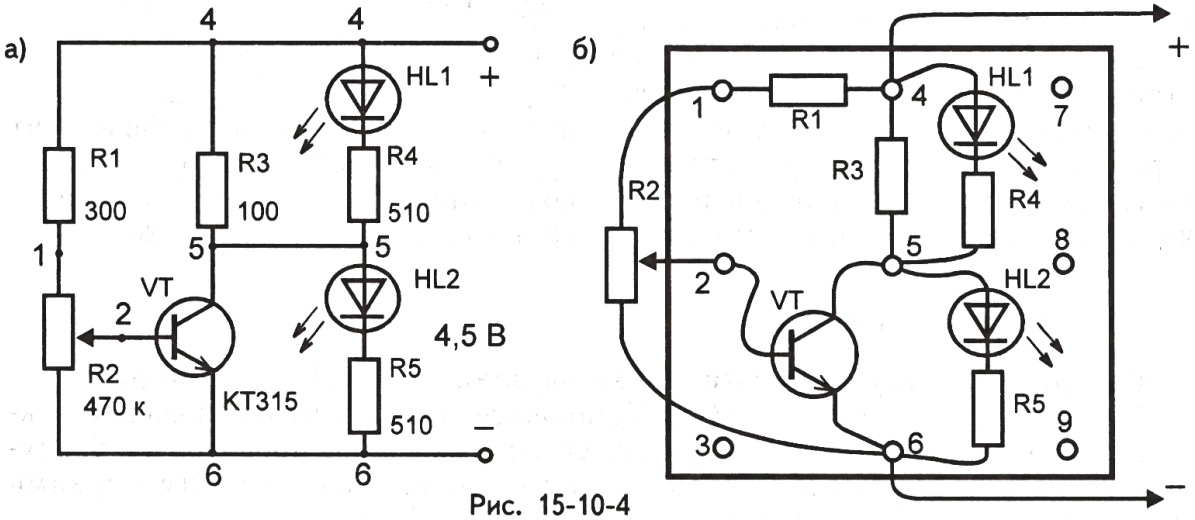


Рис. 15-10-4

2. Движок переменного резистора *R2* опустите в нижнее положение. При этом база замыкается с эмиттером и транзистор закрывается. Светится светодиод *HL2*. Объясните, почему?

3. Движок переменного резистора *R2* передвиньте в верхнее положение. Транзистор открывается. Загорается светодиод *HL1* . Объясните, почему?

Задание 15-10-6.

Используйте ваше тело как сопротивление.

1. Соберите схему, где в качестве базового резистора используйте сопротивление вашего тела между руками.

Опыт проведите дважды: сухими руками и влажными.

2. Ответьте, чем отличается яркость свечения светодиода в этих случаях? Почему?

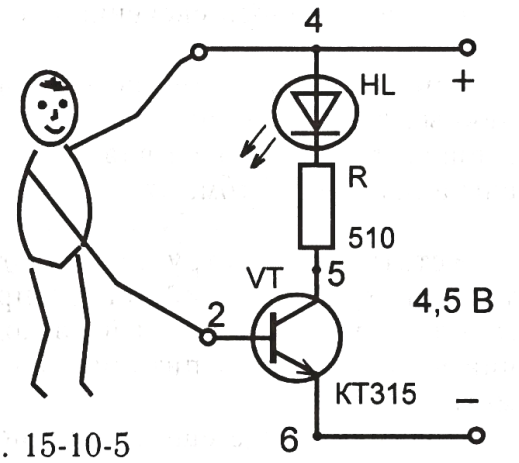


Рис. 15-10-5

§15-11. СОСТАВНОЙ ТРАНЗИСТОР ОБЛАДАЕТ БОЛЬШИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

Статический коэффициент передачи тока (коэффициент усиления) $h_{21Э}$ транзисторов может колебаться от нескольких единиц до нескольких сотен. Желая получить большое усиление тока, начинающие радиолюбители часто бракуют транзисторы с малым коэффициентом $h_{21Э}$. Однако, если два таких транзистора включить попарно по схеме, приведенной на рис. 15-11-1, они образуют как бы один составной транзистор, имеющий общую базу, общий коллектор и общий эмиттер. Коэффициент усиления составного транзистора равен произведению коэффициентов $h_{21Э}$, его составляющих. Например, если коэффициент $h_{21Э}$ одного равен 10, а другого 12, то коэффициент усиления составного транзистора будет около 120.

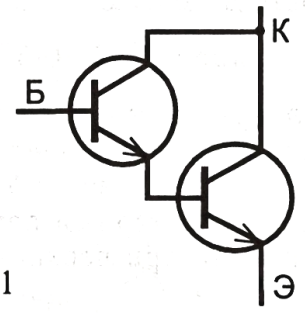


Рис. 15-11-1

Задание 15-11-1.

Соберите конструкцию сигнализатора влажности. Изучите ее работу.

1. Соберите схему (рис. 15-11-2). Установите резистор *R1* в положение максимального сопротивления и коснитесь свободных концов проводов **а** и **б**, идущих от базы и эмиттера составного транзистора, сначала сухими руками (пальцами), потом влажными.

Как изменилась яркость светодиода?

2. Установите резистор *R1* в положение минимального (нулевого) сопротивления и опустите оголенные свободные выводы проводов **а** и **б** в стакан с дистиллированной водой. При этом светодиод будет продолжать гореть, свидетельствуя о том, что составной транзистор открыт и пропускает ток. Теперь добавьте в воду чайную ложку соли.

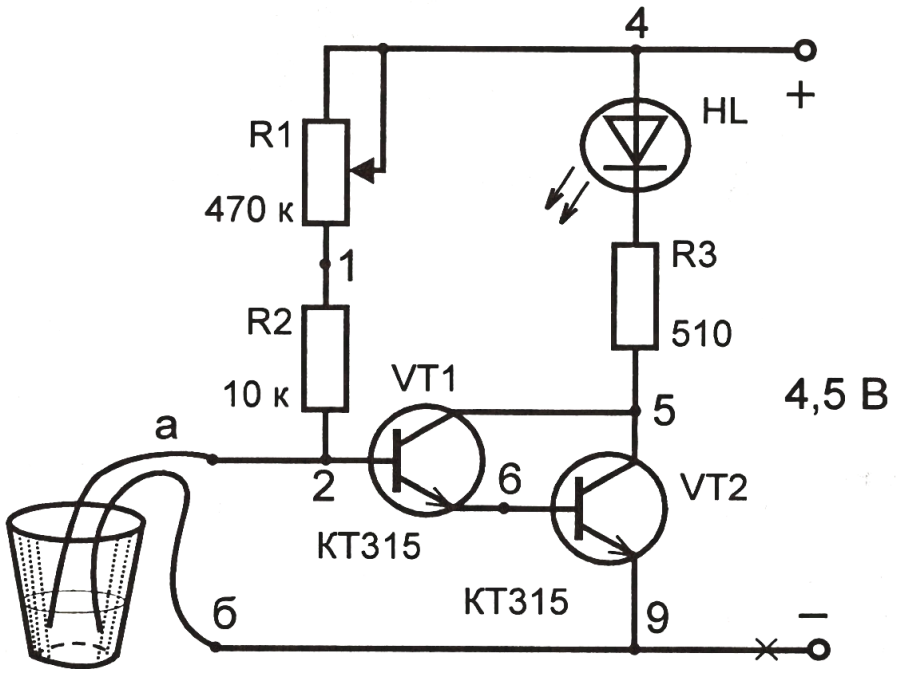
Как изменилось свечение светодиода? Почему?

Примечание. Такой сигнализатор влажности можно использовать в различных конструкциях. Например, если провода **а** и **б** вставить в цветочный горшок, то, пока почва влажная, светодиод не горит. Если он засветится, это сигнализирует о том, что между проводами сухо и пора поливать.

Кстати, эта конструкция при открытых транзисторах, когда светодиод светится, потребляет 4 мА тока, а при запертом состоянии транзисторов 0,2 мА. Это достаточно экономный расход энергии. В этом можете убедиться, включив в разрыв цепи питания (на рисунке показан крестиком) миллиамперметр.

Подумайте, где еще можно использовать такой сигнализатор?

а)


4
+
HL
R1
470 к
1
R3
510
R2
10 к
VT1
5
4,5 В
а
2
6
VT2
КТ315
КТ315
б
9
–

б)

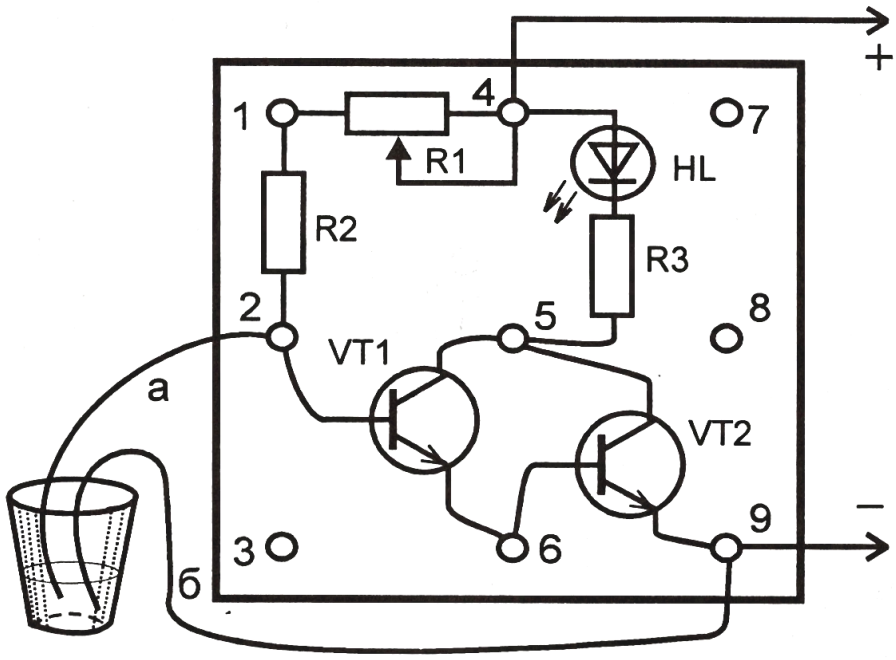

+
1
4
7
R1
HL
R2
R3
2
5
8
VT1
а
VT2
9
–
3
6
б

Рис. 15-11-2

Глава 16

Микрофон. Телефон

§16-1. МИКРОФОН - ЭТО ПРИБОР, ПРЕОБРАЗУЮЩИЙ ЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Нас окружают различные звуки: человеческая речь, музыка, шум ветра, раскаты грома, жужжание насекомых и т. д. Звуки создаются колеблющимися телами: линейкой, зажатой с одного конца, струной гитары, крыльями насекомых. Любой предмет, колеблющийся чаще, чем 16-20 раз в секунду, издает звук.

Устройство, предназначенное для преобразования звуковых колебаний в электрические, называется микрофоном. На рис. 16-1-1 показано его условное обозначение (а) и внешний вид (б).

Существует несколько видов микрофонов, отличающихся друг от друга по принципу действия (рис. 16-1-2): угольные (а), электродинамические (б), конденсаторные (в), электромагнитные (г), пьезоэлектрические (д) и другие.

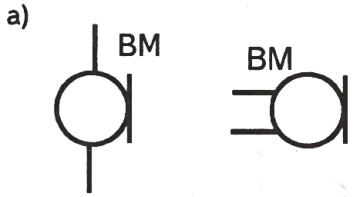


Рис. 16-1-1

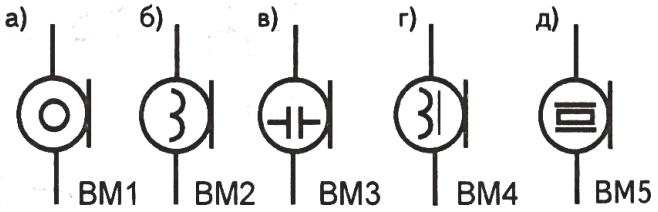
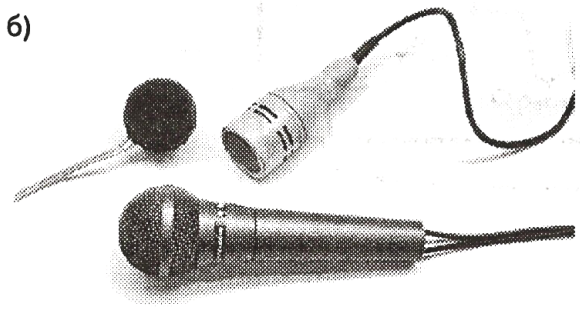


Рис. 16-1-2



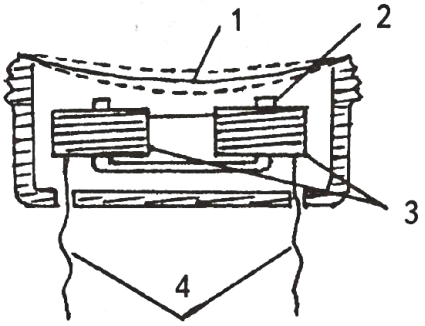


Рис. 16-1-3

Кратко остановимся на принципе работы электромагнитного микрофона.

Им может служить капсюль головного телефона, устройство которого показано на рис. 16-1-3. В нем находится стальная пластина - мембрана 1. Под ней дугообразный намагниченный стержень 2, на который насажены две (или одна) соединенные последовательно катушки 3 из большого числа витков тонкого эмалированного медного провода. Концы катушек посредством гибкого провода 4 выведены наружу капсюля.

Электромагнитный микрофон работает так. Под действием звуковых волн мембрана колеблется. При этом происходит изменение воздушного зазора между мембраной и полюсами (концами) намагниченного стержня и, как следствие, к появлению переменной электродвижущей силы на выводах катушки. Частота ЭДС зависит от частоты звуковых колебаний, ее амплитуда - от громкости звука.

Задание 16-1-1.

Ознакомьтесь с устройством и принципом работы электромагнитного микрофона.

1. Отверните крышку телефонного капсюля и найдите мембрану, стержень, катушку. Заверните крышку.

2. Включите выводы микрофона к вертикальному входу лабораторного осциллографа и, постукивая по его крышке, наблюдайте:

а) отклонение луча вверх-вниз при отключенной развертке;

б) звуковые колебания, преобразованные в электрические, при включенной развертке.

Объясните наблюдаемые явления.

3. Установите микрофон перед резонаторным ящиком камертона и наблюдайте синусоидальные колебания на экране (рис. 16-1-4).

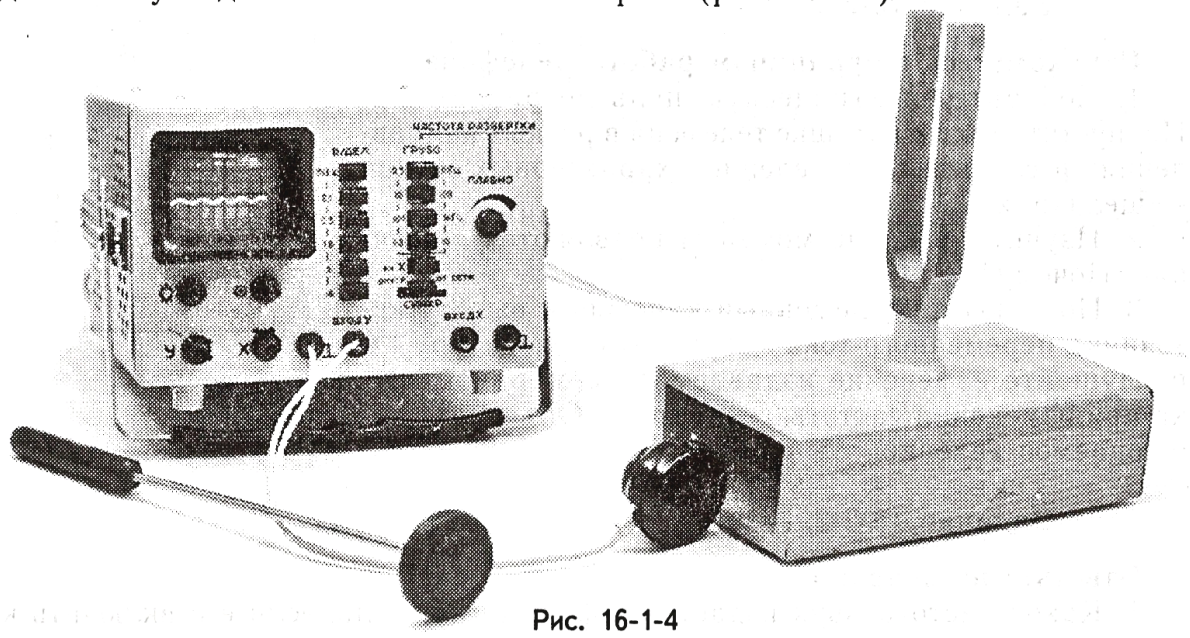


Рис. 16-1-4

§16-2. ТЕЛЕФОН - ЭТО ПРИБОР, ПРЕОБРАЗУЮЩИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В ЗВУКОВЫЕ

Условное обозначение и внешний вид телефона - прибора, преобразующего электрические колебания в звуковые, показаны на рис. 16-2-1, а, б.

Устройство, рассмотренное в §16-1 рис. 16-1-3, также играет роль электромагнитного телефона. Он работает так. Под действием постоянного магнита мембрана прогибается в середине (сплошная линия), не соприкасаясь со стержнем. Электрический ток, текущий по катушкам, в зависимости от направления может усилить намагниченность стержня или ослабить. При этом мембрана прогибается сильнее (нижняя пунктирная линия) или слабее (верхняя пунктирная линия), чем при отсутствии тока.

Если через катушки пропустить ток переменной силы и направления, то в такт изменениям тока мембрана будет совершать движения в ту или иную сторону, т. е. колебаться.

Колебания мембраны, переданные по воздуху, воспринимаются ухом как звук.

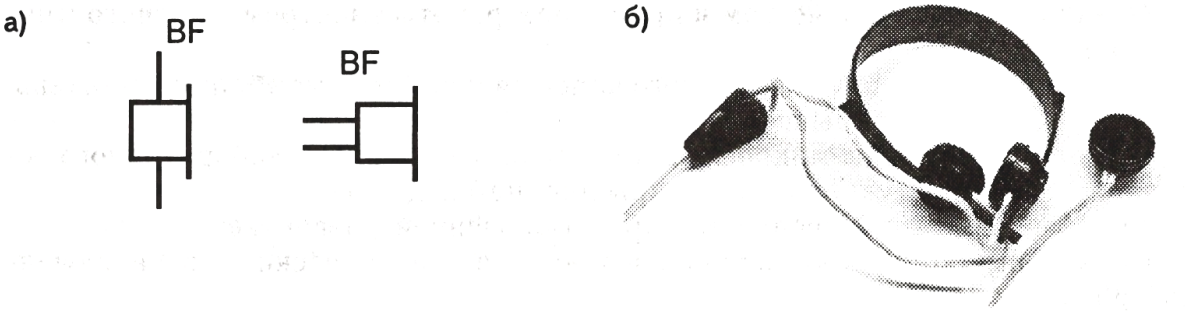


Рис. 16-2-1

Задание 16-2-1.

Ознакомьтесь с принципом работы телефона.

1. Соберите электрическую цепь по рис. 16-2-2. Пропустите ток по катушке телефона в разных направлениях и следите за появлением характерных звуков - «щелчков».

2. Изучите, в какие моменты появляются «щелчки». Почему?

3. Подключите телефонный капсюль к выходу источника переменного тока - звуковому генератору - и послушайте изменение издаваемого мембраной звука при изменении частоты генератора. Объясните наблюдаемое явление.

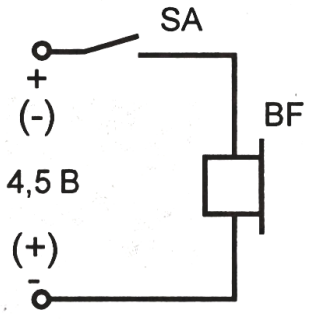


Рис. 16-2-2

Задание 16-2-2.

Ответьте на вопросы.

1. Какой частоты звук издает телефонный капсюль, если его включить к

источнику переменного сетевого напряжения промышленной частоты? Ваш ответ можете проверить, включив капсюль к источнику переменного тока промышленной частоты напряжением до 10 В.

2. Если в телефонном капсюле намагниченный подковообразный стержень заменить ненамагниченным, то мембрана при прохождении переменного тока колеблется с удвоенной частотой и искажает звук, делая его выше. Почему это происходит?

§16-3. СОЕДИНИВ ТЕЛЕФОН С МИКРОФОНОМ, МОЖНО ПОЛУЧИТЬ ПРОСТЕЙШЕЕ ПЕРЕГОВОРНОЕ УСТРОЙСТВО

Если два телефонных капсюля соединить так, как показано на рис. 16-3-1, то получится простейшее переговорное устройство. Один из капсюлей будет служить микрофоном, другой - телефоном. Электрический ток, порожденный микрофоном вследствие колебания мембраны под действием звука, протекая по катушке телефона, вызывает колебание его мембраны.

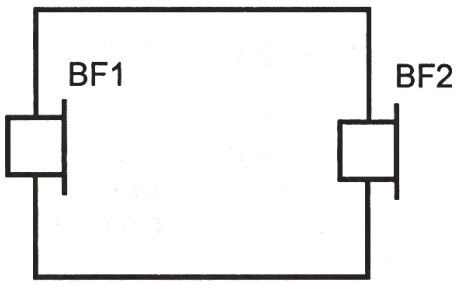


Рис. 16-3-1

Задание 16-3-1.

Испытайте в работе простейшее переговорное устройство.

1. Соедините согласно рис. 16-3-1 два телефонных капсюля двужильным проводом длиной 3-4 м.

2. Постукивайте пальцем по крышке капсюля, принятого за микрофон. При этом в телефоне слышатся отчетливые звуки. Объясните их происхождение.

Помните: какой из капсюлей считать за микрофон, а какой за телефон, не имеет значения.

3. Расположитесь один из вас с одним капсюлем, другой с другим в разных местах (лучше в разных комнатах) так, чтобы не слышать друг друга, и переговаривайтесь между собой по принципу «прием-передача».

Глава 17

Транзистор как усилитель

§17-1. 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. 17-1-1, позволяет убедиться в усилительных свойствах транзистора. Здесь источником входного сигнала служит капсюль электромагнитного телефона *BM*, который при колебании мембраны под действием звуковых волн на входе усилителя (между точками 1 и 6) создает переменное напряжение звуковой частоты (рис. 17-1-2, а). Транзистор n - p - n -типа, с которым мы экспериментируем, открывается только положительными полупериодами входного сигнала. При этом во входной цепи возникает базовый ток $I_Б$ (рис. 17-1-2, б), который вызывает усиление пульсации коллекторного тока I_K и напряжения на нагрузке U_H (рис. 17-1-2, в, г). Нагрузкой усилителя является телефон *BF*, в наших опытах представляющий собой такой

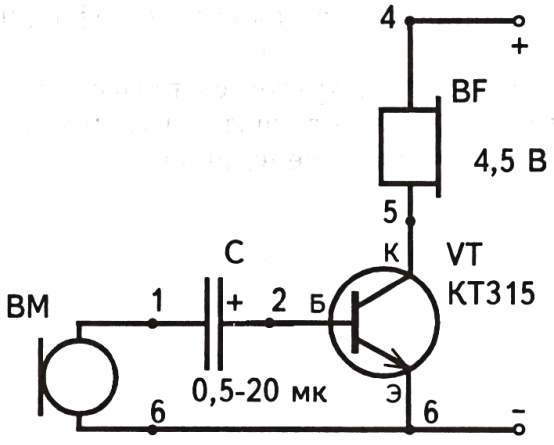


Рис. 17-1-1

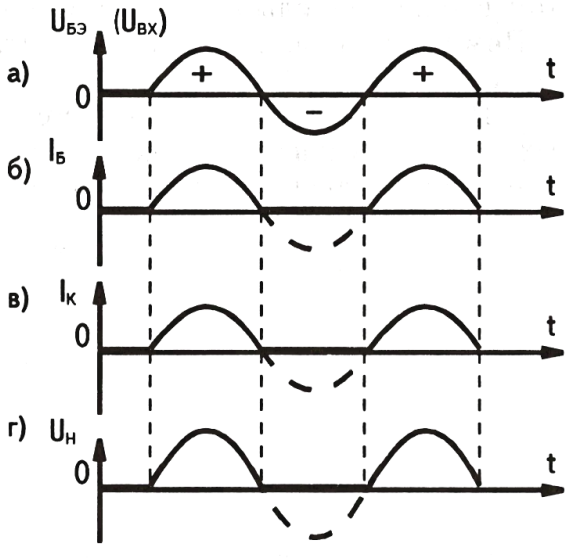


Рис. 17-1-2

же капсюль, что и микрофон ВМ.

Конденсатор *С* разделяет вход (базу) транзистора от источника сигнала *ВМ* по постоянному току. Без него база оказалась бы замкнутой с эмиттером через катушку электромагнитного микрофона, что привело бы к запиранию транзистора. Конденсатор, являясь препятствием для постоянного тока источника питания, оказывает емкостное сопротивление переменному току, вырабатываемому микрофоном. Для токов звуковой частоты (20 - 20000 Гц) в базовой цепи можно использовать конденсатор емкостью 0,1 - 20 мкФ.

Посмотрите на рис. 17-1-2. По нему видно, что 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 (рис. 17-1-3), где к вольт-амперной характеристике эмиттерного перехода $I_Б=f\,(U_{БЭ})$ (а) снизу к началу координат пристыкован (наложен) график входного сигнала $U_{ВХ}=f\,(t)$ (б), совместное действие которых дает форму базового тока $I_Б=f\,(t)$ (в). Этот ток в свою очередь в коллекторной цепи синхронно усиливается в $h_{21Э}$ раз.

Появление искажений в виде пульсаций, вносимых транзистором, объясняется тем, что входной сигнал проецируется на начальную, сильно искривленную часть прямой ветви ВАХ эмиттерного р - n - перехода. Если график входного сигнала сдвинуть направо настолько, чтобы он проецировался на прямолинейную часть входной ВАХ (рис. 17-1-4), то базовый ток, а вслед за ним и коллекторный ток в точности повторяют форму входного сигнала (вообще-то, при усилении искажения всегда имеют место, но мы ими пренебрегаем).

Этого мы добились тем, что так называемую рабочую точку *Т* транзистора (рис.17-1-4, а) сместили, подав на эмиттерный переход начальное напряжение смещения $U_{СМ}$, которое вызывает начальный ток покоя базы $I_{Б0}$ и в $h_{21Э}$ раз усиленный начальный ток покоя коллектора $I_{К0}$ (рис. 17-1-4, а, б, в).

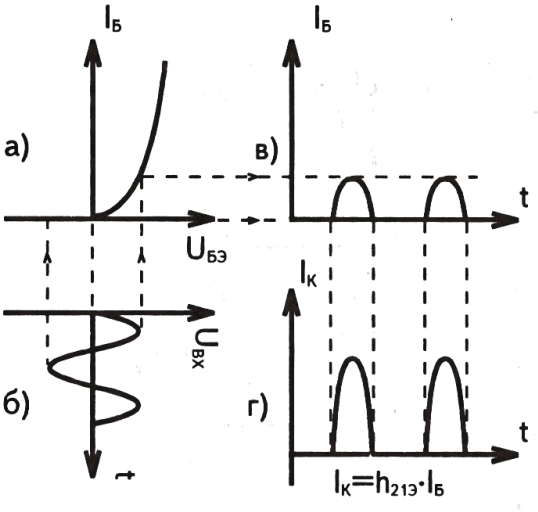


Рис. 17-1-3

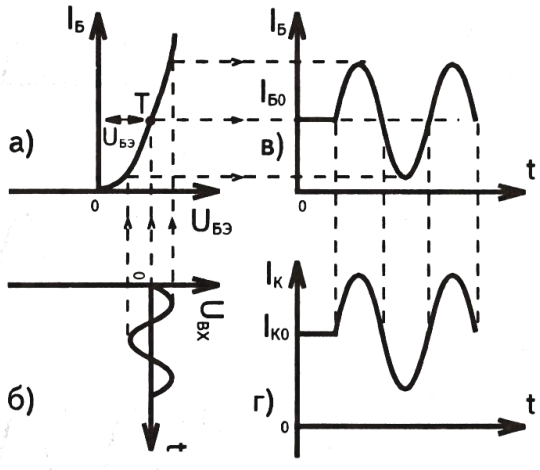


Рис. 17-1-4

§17-2. КАК НАСТРАИВАЕТСЯ УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД

Схематически напряжение смещения на базе обеспечивается несколькими способами. Один их них показан на рис. 17-2-1, где через цепочку резисторов *R1* и *R2* на базу подается небольшой положительный потенциал (для транзисторов p - n - p -типа - отрицательный) относительно эмиттера. Переменный резистор *R1* позволяет регулировать напряжение смещения U_{CM}, которое для германиевых транзисторов составляет 0,1-0,2 В, а для кремниевых - 0,5-0,7 В. Резистор *R2* защищает переход база-эмиттер от короткого замыкания с источником питания при нулевом значении сопротивления переменного резистора *R1*.

На рис. 17-2-2 приведены несколько графиков тока выходного сигнала, иллюстрирующих усиление транзистора в зависимости от напряжения смещения, подаваемого между базой и эмиттером.

а). Напряжение смещения на базу подано в обратной полярности («–» у n - p - n и «+» у p - n - p -транзи-

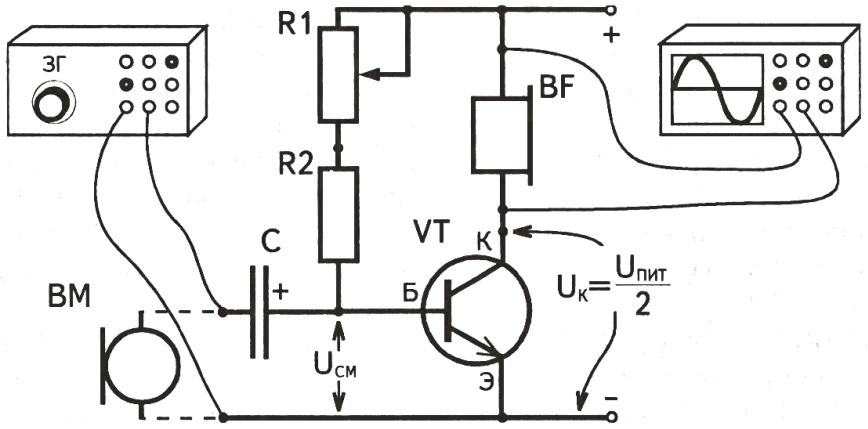


Рис. 17-2-1

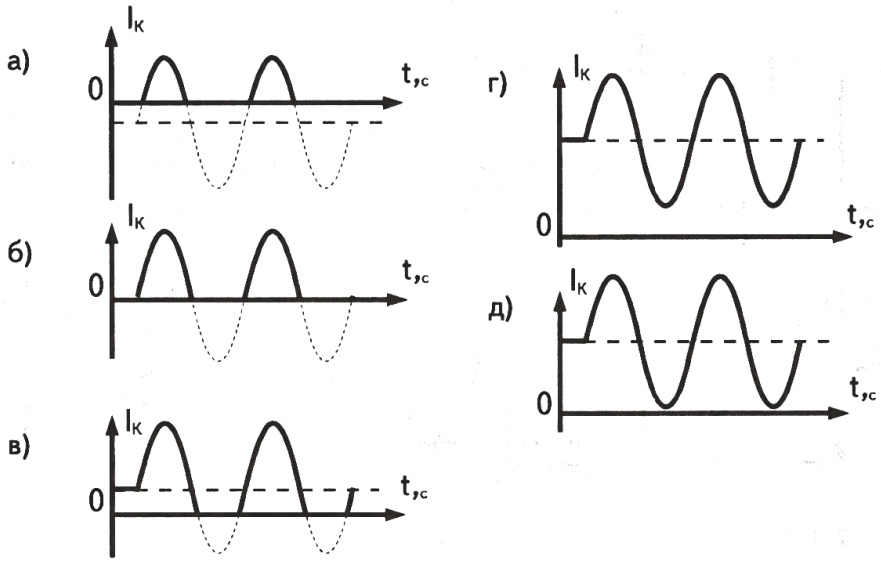


Рис. 17-2-2

стора); большая часть коллекторного тока отсекается.

б). Напряжение смещения на базе отсутствует, отсекается половина сигнала.

в). Напряжение смещения слишком мало, часть усиливаемого сигнала отсекается.

г). Напряжение смещения слишком большое, оно излишне открывает транзистор; в коллекторной цепи течет большой ток покоя, неэкономно расходуя энергию источника питания; возможно ограничение сигнала сверху, когда при максимальных значениях входного сигнала транзистор входит в режим насыщения.

д). Напряжение смещения подобрано удачно, подаваемый на вход транзистора сигнал усиливается без искажения при малом коллекторном токе покоя.

Усилительный каскад считается настроенным, если напряжение на коллекторе составляет половину питающего напряжения: $U_K = \frac{U_{пит}}{2}$ (см. рис. 17-2-1). Этого добиваются подбором базового резистора *R1*.

Задание 17-2-1.

Соберите и настройте усилительный каскад на одном транзисторе р - n - р -типа.

1. Соберите схему усилителя звуковой частоты (УЗЧ) по рис. 17-2-3, а и б. В качестве микрофона *BM* и телефона *BF* служат высокоомные капсюли от головного телефона ТОН-2.

Примечание. При питании усилителя от сетевого выпрямителя для сглаживания (стабилизации) пульсаций выпрямленного тока можно включить оксидный конденсатор *C2* большой емкости (показан пунктиром).

2. Увеличивая и уменьшая сопротивление переменного резистора *R1* в цепи базы, следите за тем, как меняется напряжение смещения на базе (показание вольтметра *PV1*) и напряжение на коллекторе (показание вольтметра *PV2*).

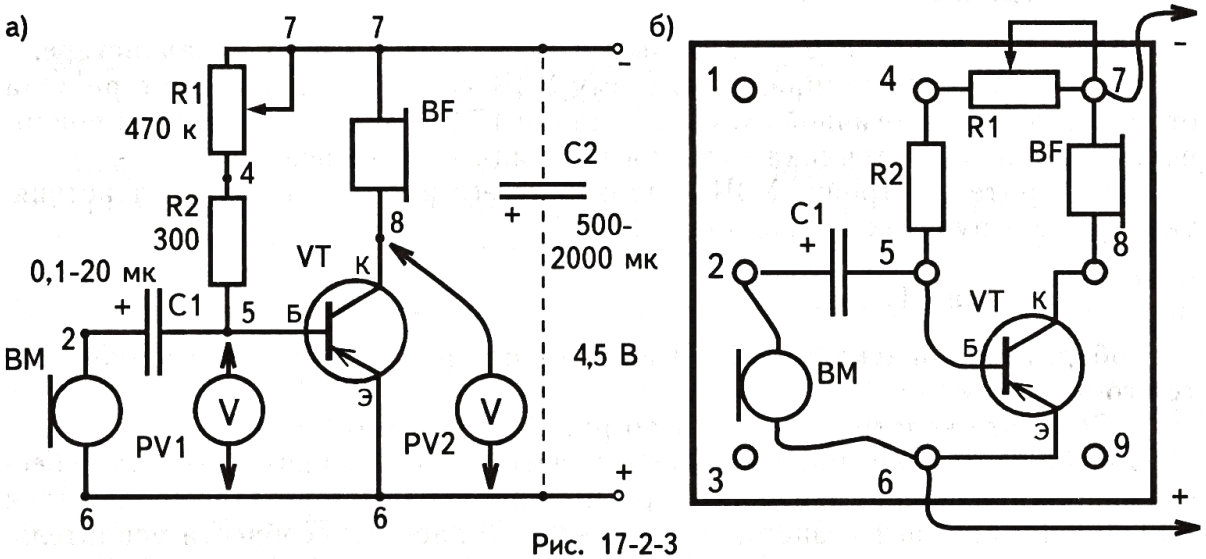


Рис. 17-2-3

3. Настройте усилительный каскад, добившись резистором *R1* того, чтобы напряжение между коллектором и эмиттером (показание вольтметра *PV2*) равнялось половине напряжения, даваемого источником тока: $\frac{U_{пит}}{2}$.

В дальнейшем не вращайте ручку резистора *R1*.

4. Говорите в микрофон и слушайте усиленные звуки в телефоне *BF*.

Задание 17-2-2.

Наблюдайте осциллограмму звуковых колебаний.

1. Соберите усилительный каскад по рис. 17-2-3, а и б задания 17-2-1 и настройте его.

2. Подключите параллельно к нагрузке УЗЧ (телефону *BF*, точки 7 и 8) вертикальный вход осциллографа и наблюдайте осциллограмму звуковых колебаний.

3. Включите вместо микрофона (точки 2 и 6) выход звукового генератора (*ЗГ*), настроенного на частоту 500-1000 Гц. Регулятором уровня *ЗГ* установите такую амплитуду сигнала, чтобы на экране осциллографа наблюдались неискаженные звуковые колебания.

4. Подключая щупы от входа осциллографа то к входу УЗЧ (точкам 2 и 6), то к его выходу (точкам 7 и 8), убедитесь в работе транзистора как усилителя.

5. Отключите цепочку резисторов *R1*, *R2* в цепи базы и наблюдайте осциллограмму сигналов, усиленных транзистором, работающим без напряжения смещения на эмиттерном переходе. Удостоверьтесь, что транзистор p - n - p - типа работает как выпрямитель, пропуская только отрицательные полупериоды электрических колебаний и одновременно усиливая их. Положительные полупериоды отсекаются эмиттерным переходом, работающим без смещения.

Задание 17-2-3.

Соберите и настройте усилительный каскад на n - p - n -транзисторе.

1. Начертите принципиальную схему УЗЧ на n - p - n -транзисторе. Она отличается от аналогичной схемы в задании 17-2-2 тем, что изменены полярность включения источника питания и оксидных конденсаторов.

2. Соберите, настройте УЗЧ и проверьте его работу, выполняя действия, указанные в пунктах 1-4 задания 17-2-2.

Задание 17-2-4.

Соберите однокаскадный УЗЧ на транзисторе n - p - n -типа и испытайте его в работе.

1. Соберите конструкцию УЗЧ по рис. 17-2-4, а и б.

В отличие от схем, приведенных в предыдущих заданиях, здесь для обеспечения напряжения смещения на p - n -переходе эмиттер-база используется только один базовый резистор *R*. Убедитесь в работоспособности усилителя.

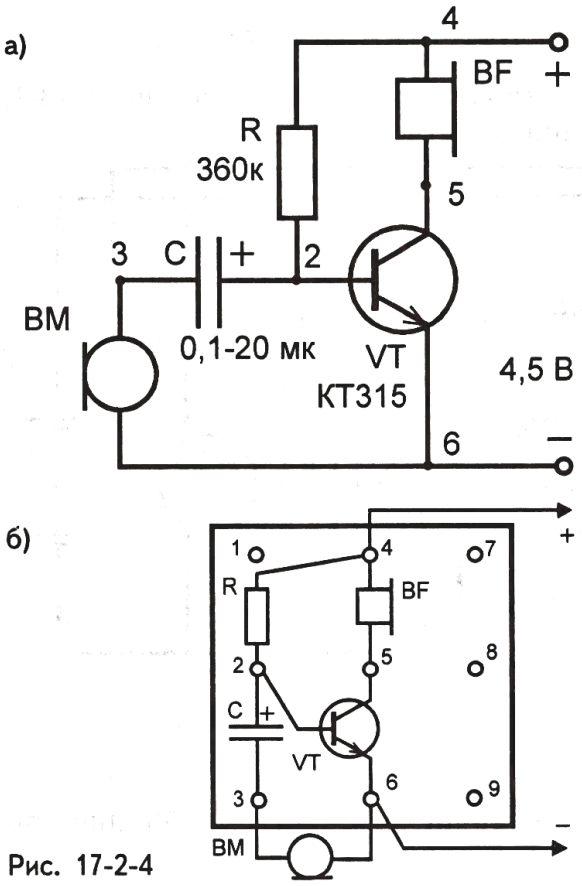


Рис. 17-2-4

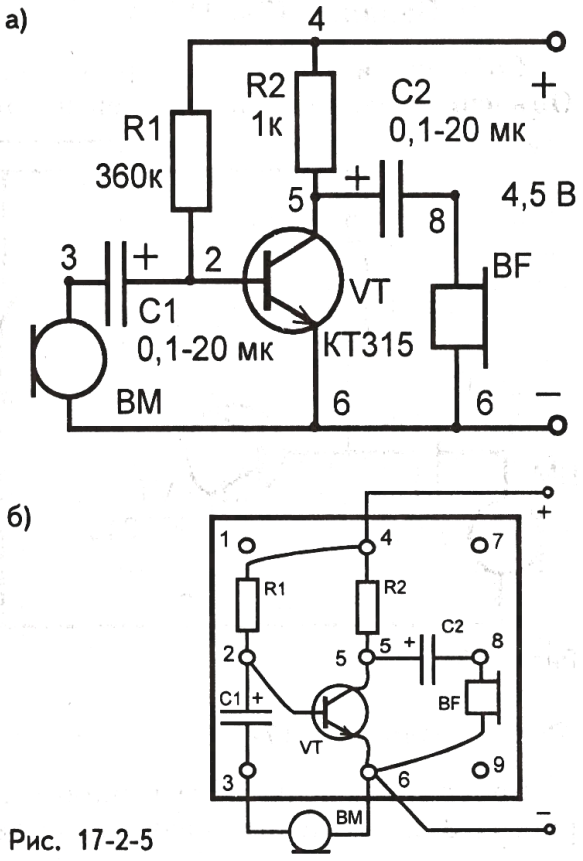


Рис. 17-2-5

2. Соберите конструкцию УЗЧ по рис. 17-2-5, а и б и проверьте ее в работе. Резистор *R2*, включенный в коллекторную цепь вместо телефона, служит нагрузкой усилительного каскада. Конденсатор *C2* предотвращает замыкание коллектора транзистора с отрицательным электродом источника питания через катушку телефона *BF*.

§17-3. СОЕДИНИВ ДВА УСИЛИТЕЛЯ МЕЖДУ СОБОЙ, МОЖНО ПЕРЕГОВАРИВАТЬСЯ

Простейшее переговорное устройство нами было собрано в § 16-3. Основным его недостатком является плохая слышимость. Это и понятно. Ведь в нем нет усилителя сигналов: мембрана телефона колеблется и издает звук за счет энергии, вырабатываемой микрофоном под действием звуковых волн.

Ниже приведены конструкции переговорных устройств, собранных на базе двух однокаскадных усилителей, соединенных между собой двухпроводной линией. Громкость связи вполне устраивает, и переговариваться друг с другом можно на расстоянии нескольких десятков метров. Электрические колебания, вырабатываемые микрофоном говорящего абонента, усиливаются транзистором его УЗЧ и по проводам связи подаются на свой телефон и на параллельно с ним соединенный телефон слушающего абонента.

Задание 17-3-1.

Соберите и испытайте переговорное устройство, собранное по рис. 17-3-1. **Объясните** назначение деталей и принцип работы.

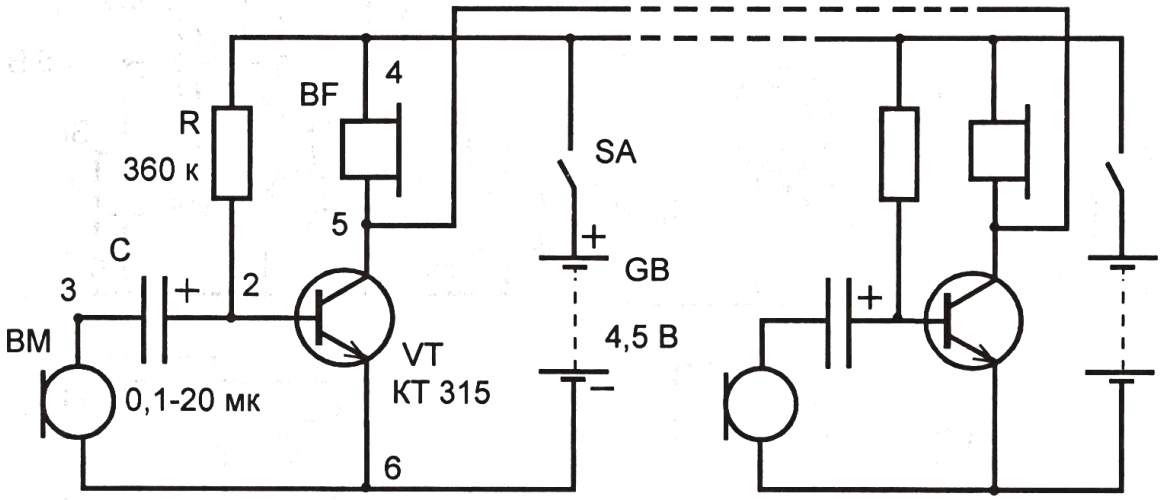


Рис. 17-3-1

Задание 17-3-2.

Соберите и испытайте в работе переговорное устройство, собранное по рис. 17-3-2. Объясните назначение деталей и принцип работы.

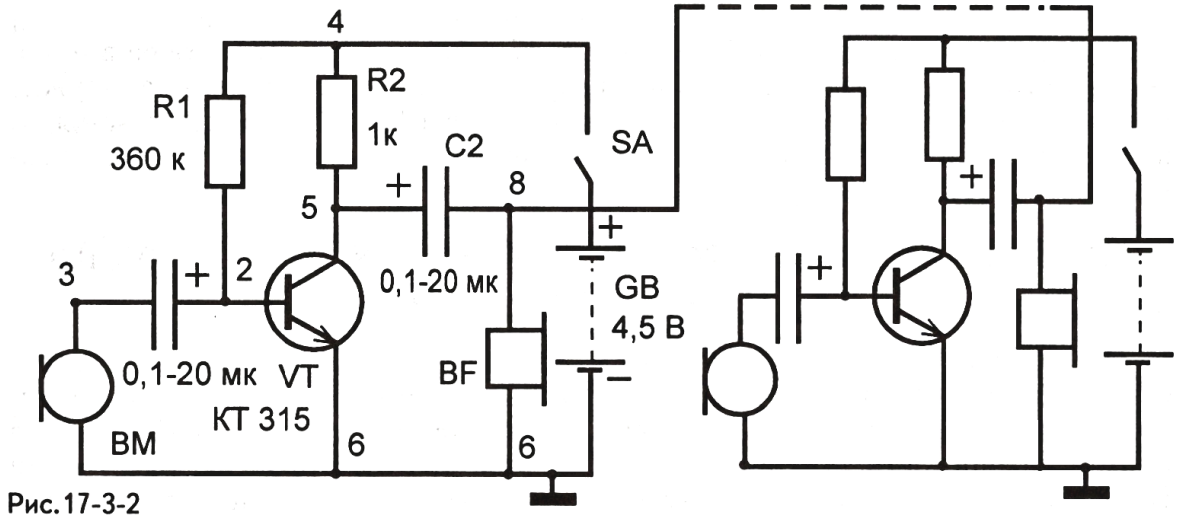


Рис.17-3-2

Примечание. При использовании рассмотренных переговорных устройств в полевых условиях (на улице) один из проводов связи можно заменить землей. Для этого возле каждого из абонентов нужно в землю воткнуть металлический стержень на глубину 20-30 см и соединить его с соответствующим выводом усилителя. Второй провод связи (первым теперь служит земля) должен быть изолированным.

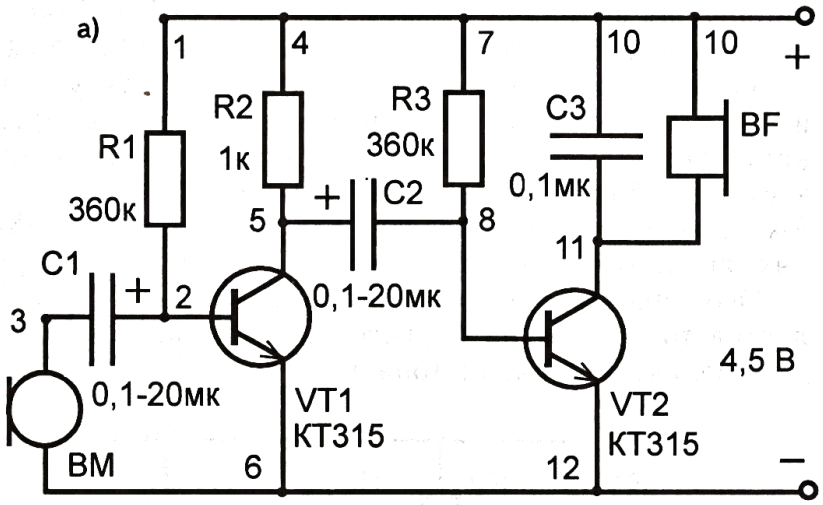
§17-4. ДВУХКАСКАДНЫЙ УЗЧ УСИЛИВАЕТ ЛУЧШЕ, ЧЕМ ОДНОКАСКАДНЫЙ

Транзистор усиливает слабые электрические сигналы в десятки и сотни раз. Например, в задании 17-4-1 показан двухкаскадный усилитель. Кратко рассмотрим назначение деталей и принцип работы. Резисторы *R1* и *R3*, расположенные в базовых цепях транзисторов, обеспечивают необходимые напряжения смещения на их эмиттерных переходах. Резистор *R2* служит нагрузкой первого усилительного каскада, телефон *BF* - второго. Конденсатор *C1* предотвращает замыкание базы транзистора *VT1* с его эмиттером через катушку микрофона *BM*. Конденсатор *C2* связывает каскады усиления по переменному току, так как хорошо пропускает его, и разделяет их по постоянному току, которого не пропускает. Поэтому такие конденсаторы называют переходными или разделительными конденсаторами связи. Конденсатор *C3* (его в схеме может и не быть), включенный параллельно телефону *BF*, блокирует его по высоким звуковым частотам. Дело в том, что телефон высокие звуковые частоты воспроизводит с искажениями. Здесь же они проходят через конденсатор *C3*, который лучше пропускает высокочастотные токи, чем катушка телефона.

Задание 17-4-1.

Соберите и испытайте в работе двухкаскадный усилитель звуковой частоты.

1. Соберите конструкцию по рис. 17-4-1, а и б.
2. Говорите в микрофон и слушайте в телефоне.
3. Объясните назначение всех деталей и принцип работы УЗЧ.



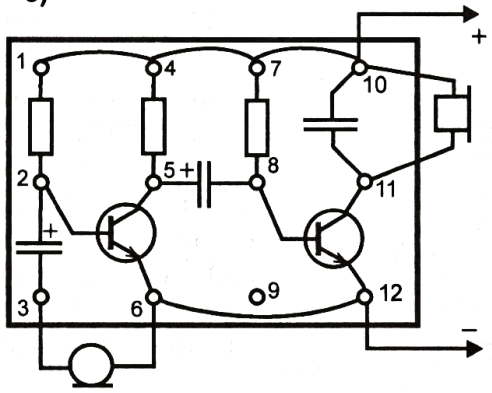


Рис. 17-4-1

Примечание.

Пружины 1, 4, 7, 10 и пружины 6, 12 макетной платы (рис. 17-4-1, б) в цепи питания соединены между собой оголенным медным проводом.

Глава 18

Мультивибратор

§18-1. МУЛЬТИВИБРАТОР - ЭТО ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО, ВЫРАБАТЫВАЮЩЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Нет такой области радиоэлектроники, автоматики, вычислительной техники, где бы не применялись электронные конструкции, называемые мультивибраторами. Схема мультивибратора показана на рис. 18-1-1. Она представляет собой как бы двухкаскадный усилитель. Резисторы *R2* и *R3* обеспечивают положительные напряжения смещения на базах транзисторов *VT1* и *VT2*, резисторы *R1* и *R4*, находящиеся в коллекторных цепях, являются их нагрузками.

Особенностью этого усилителя является то, что выход первого каскада (коллектора транзистора *VT1*) через конденсатор *C1* связан с входом (базой транзистора *VT2*) второго каскада, а выход второго каскада через конденсатор *C2* связан с входом первого каскада (базой транзистора *VT1*). Такое соединение обеспечивает между каскадами положительную обратную связь, вследствие чего усилитель превращается в генератор (производитель) электрических колебаний.

Транзисторы, на которых собран мультивибратор, работают в импульсном режиме. Они открываются и закрываются поочередно со сдвигом фаз 180°. Это означает, что когда один транзистор открыт, другой в это время закрыт и наоборот.

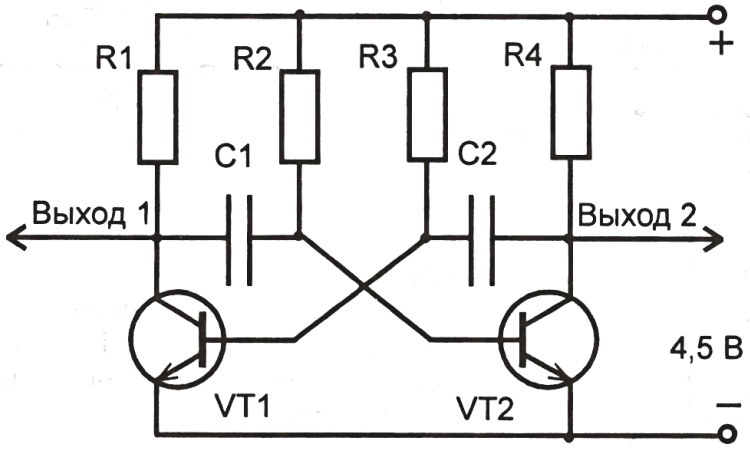
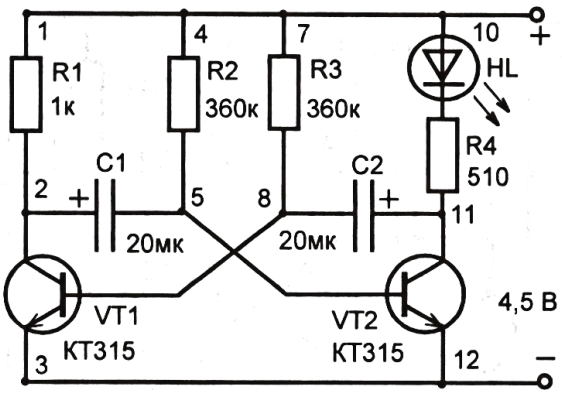


Рис. 18-1-1

Первый каскад усилителя, собранный на транзисторе *VT1*, называется первым плечом мультивибратора, второй каскад на транзисторе *VT2* - вторым плечом.

а)



б)

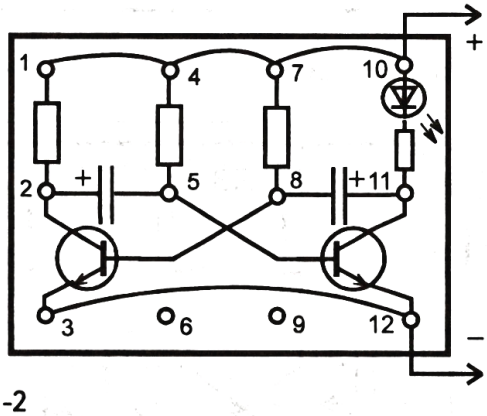


Рис. 18-1-2

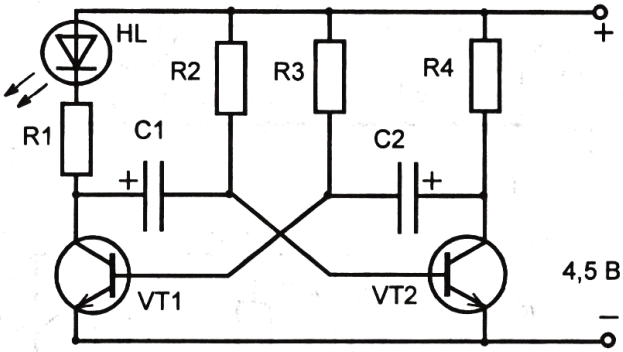


Рис. 18-1-3

Задание 18-1-1.

Убедитесь в том, что мультивибратор - это генератор электрических импульсов.

1. Соберите схему мультивибратора по рис. 18-1-2, а и б. Емкость оксидных конденсаторов *C1* и *C2* может быть от 5 до 500 мкФ. Обратите внимание на правильность включения их выводов.

2. Включите цепь питания и следите за свечением светодиода *HL*. Объясните наблюдаемое явление.

3. Поменяйте местами резистор *R1* и светодиод *HL* (рис. 18-1-3). Включите питание и дайте объяснение наблюдаемому явлению.

§18-2. КАК РАБОТАЕТ МУЛЬТИВИБРАТОР?

В момент включения питания транзисторы обоих плеч мультивибратора (рис. 18-2-1) открываются, так как на их базы через резисторы *R2* и *R3* подается положительное напряжение смещения. При этом через эмиттерный переход транзистора *VT1* и резистор *R4* начинает заряжаться конденсатор *C2* , а через эмиттерный переход транзистора *VT2* и резистор *R1* - конденсатор *C1*. На рис. 18-2-1 токи зарядки конденсаторов обозначены $I_{ЗАР.C1}$ и $I_{ЗАР.C2}$.

Обратите внимание, что отрица-

тельно заряжающиеся обкладки конденсаторов соединены с базами, вследствие чего транзисторы n - p - n - типа постепенно закрываются. Но вследствие разницы коэффициентов передачи тока $h_{21Э}$, номиналов резисторов и конденсаторов на базе одного из транзисторов достаточный для его запирания отрицательный потенциал оказывается раньше, чем на базе другого. Пусть это будет транзистор *VT1*. Он закроется, а второй транзистор *VT2* остается открытым. Это состояние показано на рис. 18-2-2.

Заряженный конденсатор *C2* начинает разряжаться через участок коллектор-эмиттер транзистора *VT2*. Его базовый ток продолжает заряжать конденсатор *C1*. По мере разрядки конденсатора *C2* отрицательное напряжение на базе закрытого транзистора *VT1* уменьшается, что приводит к его открытию. Заряженный конденсатор *C1*, действуя отрицательным потенциалом обкладки на базу транзистора *VT2*, приводит к его закрытию. Теперь транзисторы поменялись ролями: *VT1* открылся, *VT2* закрылся.

На рис. 18-2-3 видно, что конденсатор *C1* разряжается через участок коллектор - эмиттер открытого транзистора *VT1*, а конденсатор *C2* заряжается его базовым током. В дальнейшем этот процесс зарядки-разрядки конденсаторов (открывания - закрывания транзисторов) будет непрерывно продолжаться, в результате чего мультивибратор генерирует электрические колебания.

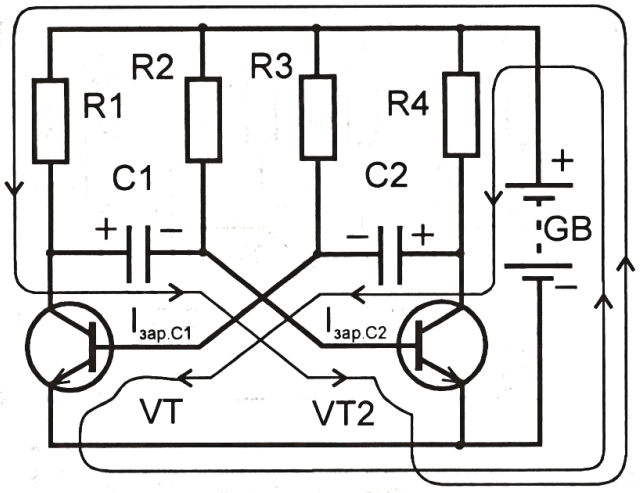


Рис. 18-2-1

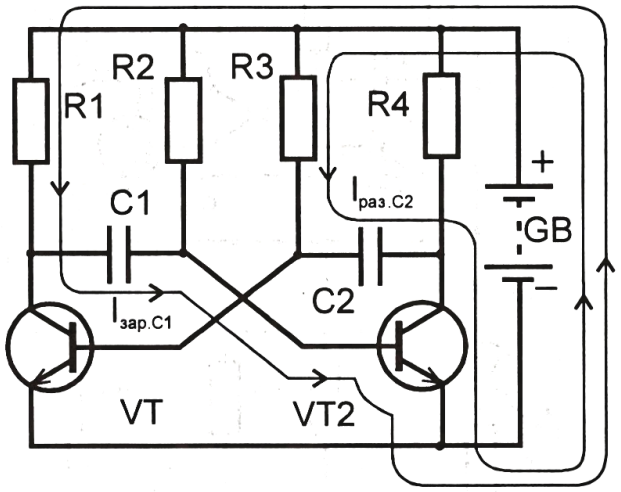


Рис. 18-2-2

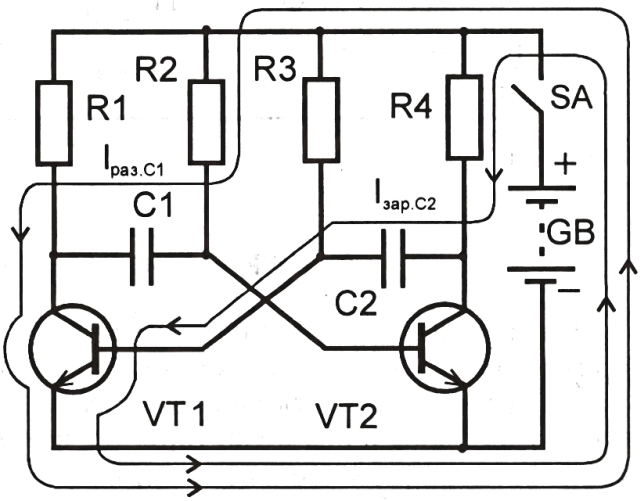
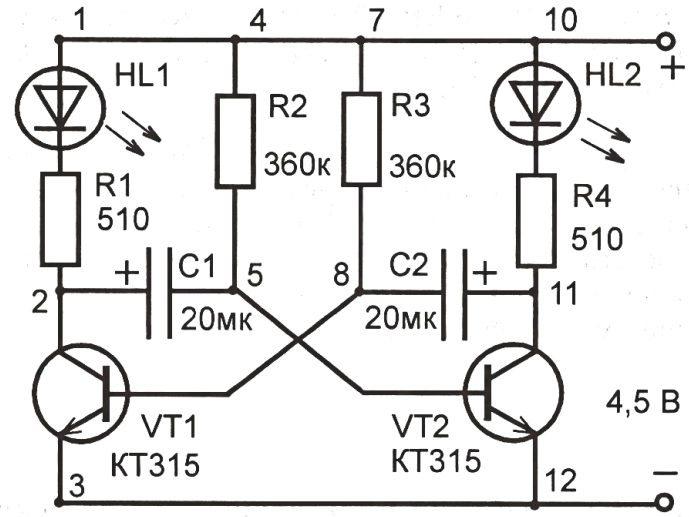


Рис. 18-2-3

а)



б)

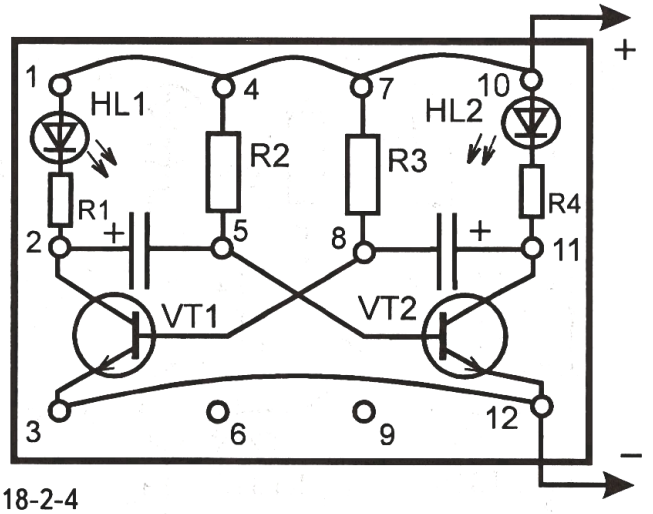


Рис. 18-2-4

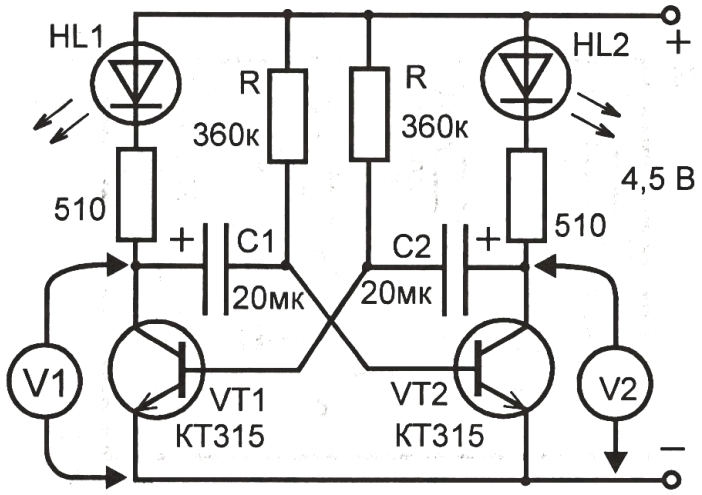


Рис. 18-2-5

Задание 18-2-1.

Наблюдайте процесс работы мультивибратора.

Соберите конструкцию по рис. 18-2-4, а и б и, включив питание, объясните наблюдаемое явление.

Задание 18-2-2.

Измерьте напряжения на выходах мультивибратора.

1. Соберите цепь по рис. 18-2-5.

2. К выходам мультивибратора (к коллекторам транзисторов) подключите вольтметры и следите за их показаниями во время работы конструкции.

3. Ответьте, чем отличаются напряжения на коллекторах относительно эмиттеров у открытого транзистора (светодиод в его коллекторной цепи горит) и у закрытого транзистора (светодиод не горит). Почему?

§18-3. ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ МУЛЬТИВИБРАТОРА ЗАВИСИТ ОТ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ И СОПРОТИВЛЕНИЯ БАЗОВЫХ РЕЗИСТОРОВ

Частота колебаний мультивибратора зависит от скорости процесса зарядки-разрядки конденсаторов. Это, в свою очередь, зависит от емкости конденсаторов связи и сопротивления базовых резисторов. Чем больше емкость конденсаторов или сопротивление базовых резисторов, тем меньше частота колебаний. И, наоборот, при уменьшении номиналов конденсаторов и резисторов частота колебаний повышается.

Задание 18-3-1.

Исследуйте зависимость частоты колебаний мультивибратора от емкости конденсаторов связи.

1. Соберите цепь по рис. 18-3-1, где в качестве конденсаторов *C1* и *C2* используйте оксидные конденсаторы емкостью от 0,01 мкФ до 500 мкФ, имеющиеся в вашем распоряжении.

Примечание. Если частота колебаний будет настолько высокой, что светодиод горит беспрерывно (моргания не заметны), то вместо него параллельно ему включите высокоомный телефонный капсюль, например, ТОН-2 (показан пунктиром). Теперь частоту колебаний можете контролировать по тональности издаваемого мембраной капсюля звука.

2. Сделайте вывод о том, как емкость конденсаторов влияет на частоту колебаний. Почему?

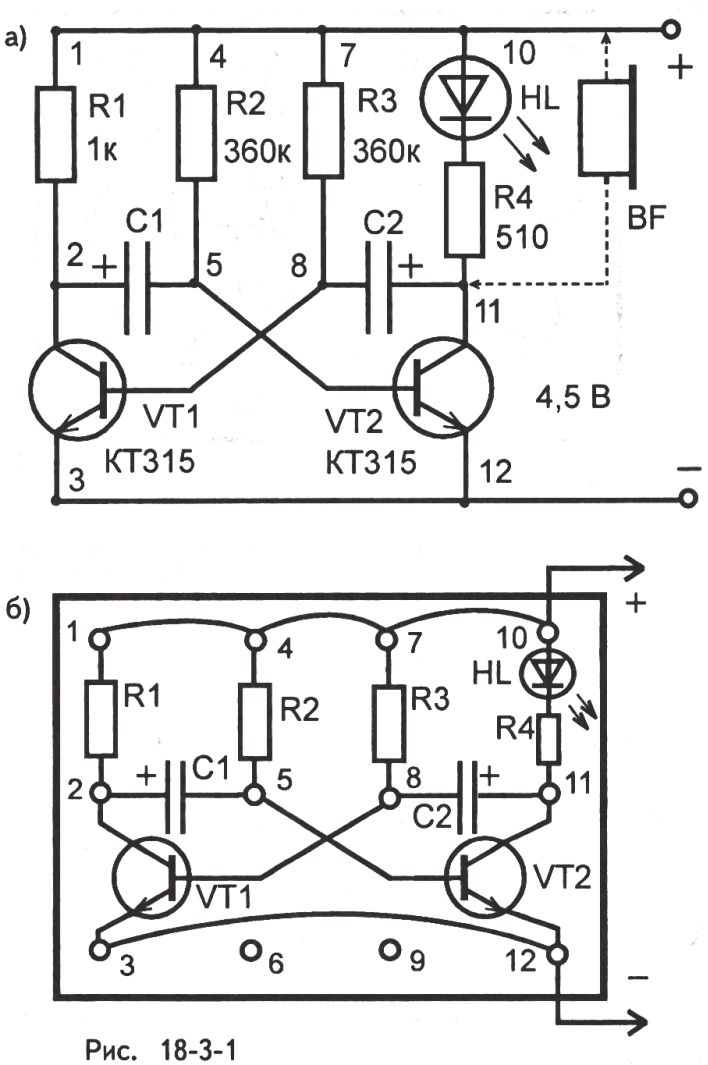
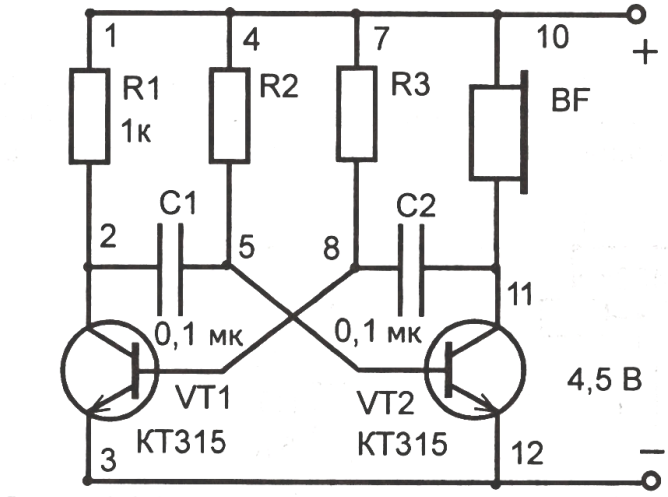


Рис. 18-3-1



Ри с 18-3-2

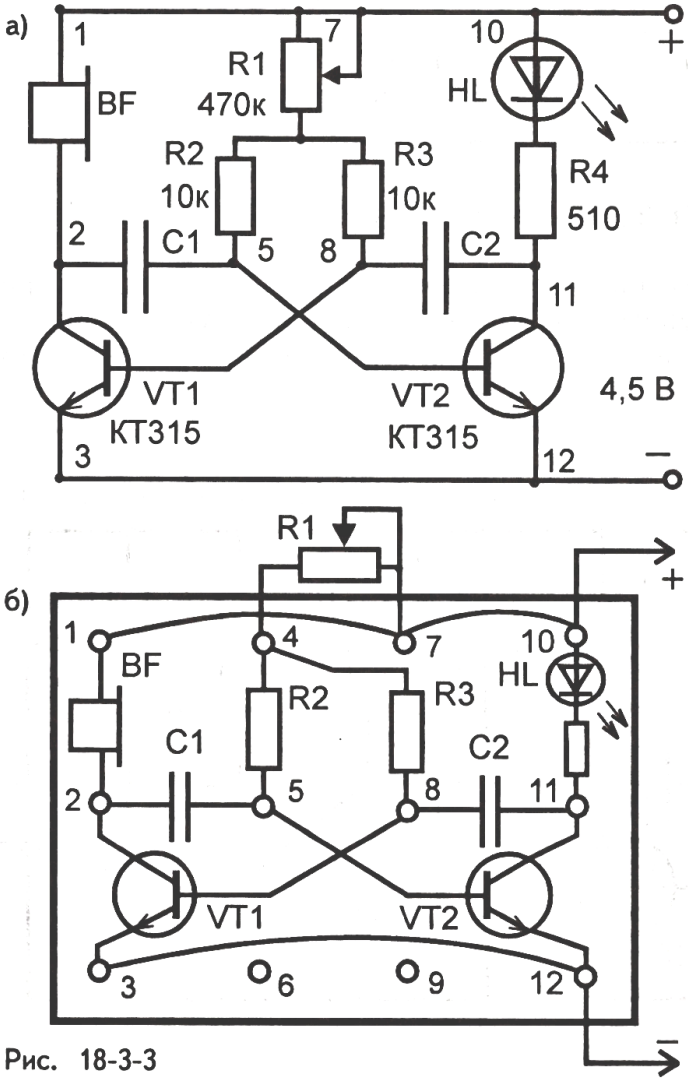


Рис. 18-3-3

Задание 18-3-2.

Исследуйте зависимость частоты колебаний мультивибратора от сопротивления базовых резисторов.

1. Соберите цепь по рис. 18-3-2, где в качестве резисторов *R2* и *R3* используйте резисторы сопротивлением от 10 кОм и больше.

2. Следите за изменением тональности звучания телефона при изменении сопротивления резисторов и сделайте вывод.

Задание 18-3-3.

Исследуйте работу мультивибратора с переменной частотой.

1. Соберите схему по рис. 18-3-3, где между плюсовым проводом питания и соединенными вместе базовыми резисторами *R2* и *R3* включите переменный резистор *R1*. В одно из плеч мультивибратора включите телефон *BF*, в другое - светодиод. Конденсаторы *C1* и *C2* могут быть любыми, в пределах от 0,01 мкФ до 500 мкФ.

2. Изменяя сопротивление базовых цепей переменным резистором *R1*, следите за изменением частоты колебаний мультивибратора и объясните наблюдаемое явление.

§18-5. МУЛЬТИВИБРАТОР - ЭТО ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Как мы уже говорили, транзисторы, составляющие плечи мультивибратора, работают в режиме переключения: когда один из транзисторов открыт, второй закрыт, и наоборот. У открытого транзистора в коллекторной цепи протекает максимальный ток, а напряжение на коллекторе относительно эмиттера минимальное. У закрытого транзистора ток через коллектор мал, а напряжение на нем наибольшее. В этом можно убедиться, собрав мультивибратор с частотой колебаний 0,1-1 Гц согласно рис. 18-5-1.

Мультивибратор генерирует электрические колебания, близкие к прямоугольной форме. Если оба плеча составлены из деталей с одинаковыми характеристиками, т. е. *R1=R4*, *R2=R3*, *C1=C2*, и транзисторы имеют равные коэффициенты усиления, то мультивибратор является симметричным. Это означает, что длительность импульсов тока (или напряжений) в плечах равна паузам между ними. На рис. 18-5-2 показаны графики тока в транзисторах *VT1* и *VT2*.

Используя разной емкости конденсаторы *C1* и *C2* и разного сопротивления базовые резисторы *R2* и *R3*, симметричный мультивибратор можно превратить в несимметричный, когда длительность импульсов тока и пауз между ними неодинакова (рис. 18-5-3).

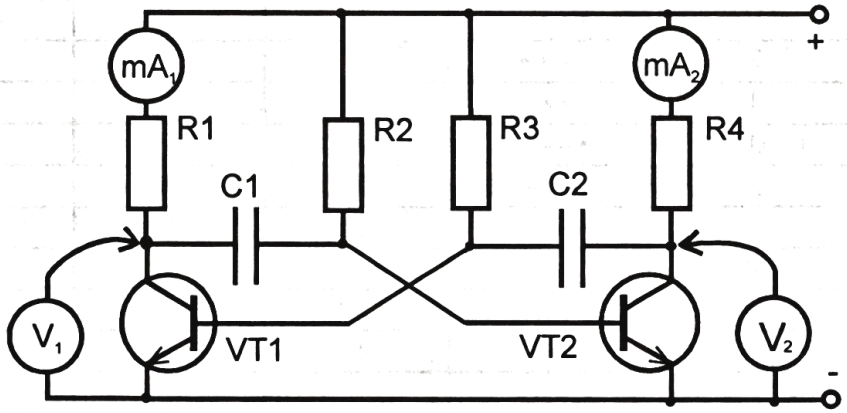


Рис. 18-5-1

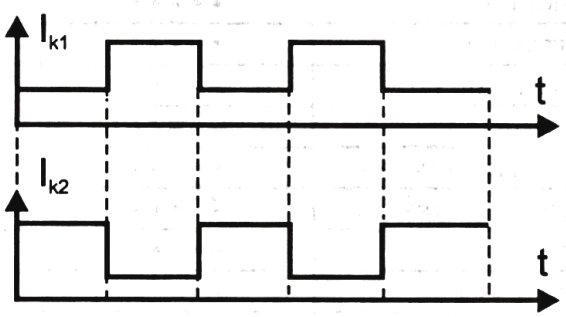


Рис. 18-5-2

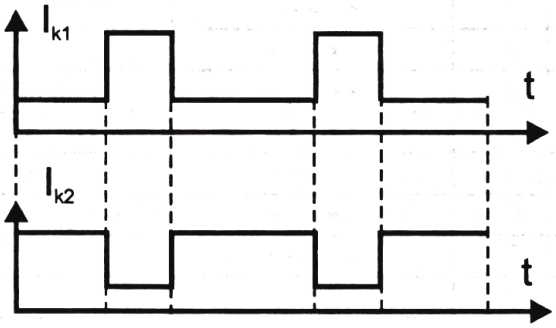


Рис. 18-5-3

Задание 18-5-1.

Изучите осциллограмму электрических колебаний мультивибратора.

1. Соберите симметричный мультивибратор, генерирующий частоту в пределах 100-1000 Гц (рис. 18-5-4).

2. Подключая вертикальный вход осциллографа к выходам 1 и 2 параллельно участкам эмиттер-коллектор или параллельно их коллекторным нагрузкам, наблюдайте осциллограмму колебаний.

3. Сделайте мультивибратор несимметричным, изменив сопротивление базового резистора *R2* или емкость конденсатора связи *C1*, и наблюдайте форму колебаний.

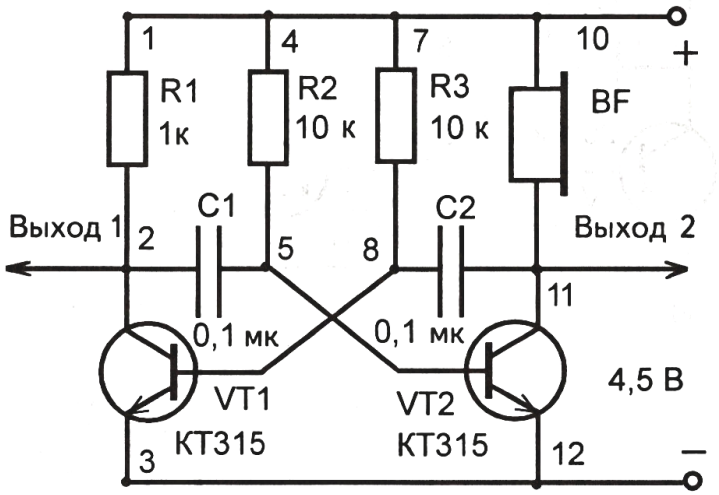


Рис. 18-5-4

4. Сравните осциллограммы колебаний несимметричного мультивибратора, снимаемые с выхода 1 и выхода 2. Чем они отличаются?

5. Восстановите симметричность мультивибратора и в цепь базовых резисторов включите переменный резистор (см. задание 18-3-3). Меняйте частоту генератора и наблюдайте его осциллограмму.

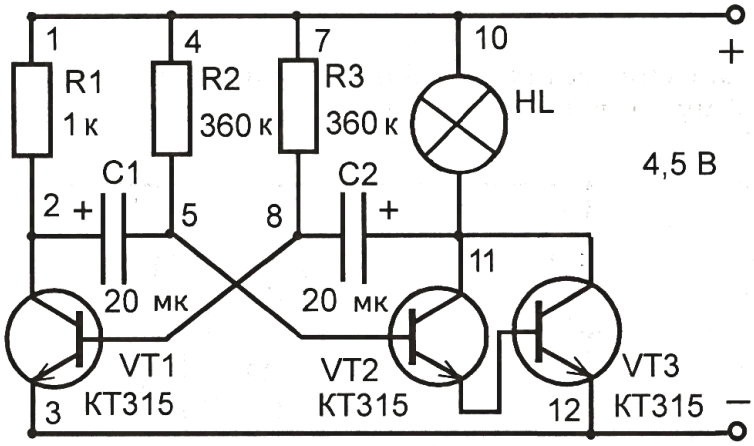
§18-6. МУЛЬТИВИБРАТОР С УСИЛИТЕЛЕМ.

Телефонный капсюль или светодиод, включаемые в одно из плеч мультивибратора по описанию в предыдущих параграфах, имея достаточно большое сопротивление, рассчитаны на потребление малого тока. Однако, если вместо них для усиления громкости звука или яркости свечения попробуем использовать динамическую головку (громкоговоритель) или миниатюрную лампу накаливания (например, МН 2,5 В x 0,15 А), то ожидаемого эффекта не будет: не хватит мощности генератора. Поэтому в мультивибраторах для усиления мощности колебаний используют третий транзистор.

Задание 18-6-1.

Изучите работу мультивибратора-мигалки на составном транзисторе.

1. Соберите мультивибратор по рис 18-6-1, а и б, где во втором плече использован составной транзистор (*VT2* и *VT3*). Нагрузкой этого плеча является низковольтная миниатюрная лампа накаливания *HL*, рассчитанная на напряжение 2,5 В (вместо нее можно использовать светодиод, включенный с учетом полярностей выводов). Емкость оксидных конденсаторов может быть от 5 мкФ до 500 мкФ.



а)

2. Наблюдайте за мультивибратором и объясните принцип его работы.

Примечание. Используя переменный резистор в цепи базовых резисторов, можете регулировать частоту морганий лампы.

б)

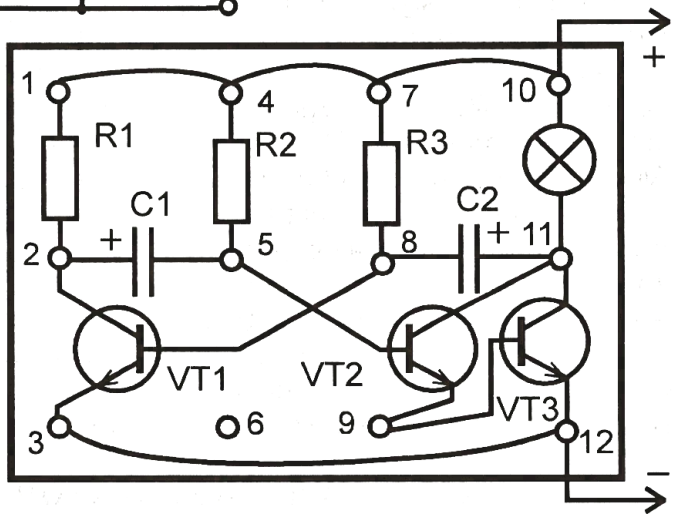


Рис. 18-6-1

Задание 18-6-2.

Изучите работу мультивибратора на составном транзисторе, исполняющего роль звукового генератора.

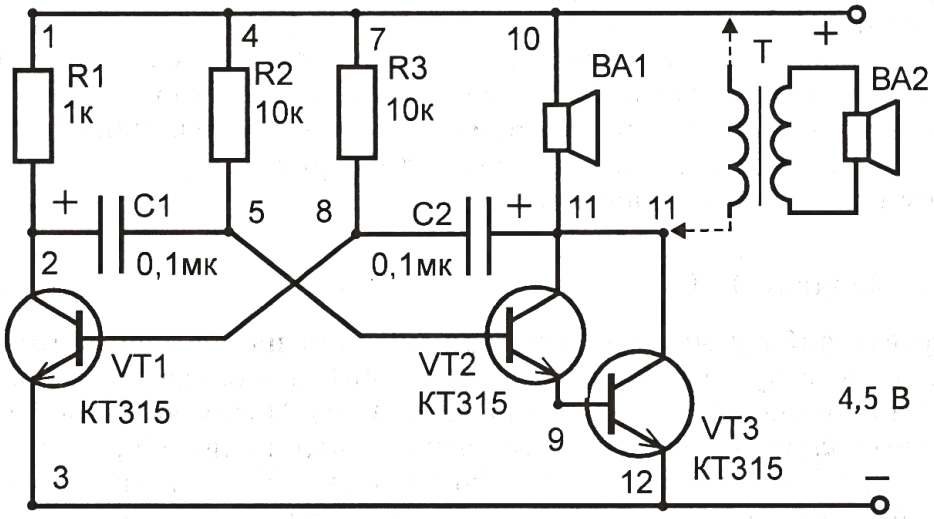


Рис. 18-6-2

1. Соберите мультивибратор по рис. 18-6-2, где во второе плечо включена громкоговорящая динамическая головка. Вместо нее можно использовать абонентский громкоговоритель, применяемый в квартирных радиоточках. Он включается во второе плечо через имеющийся внутри него согласующий трансформатор.

2. Убедитесь в работоспособности звукового генератора и подумайте о том, как его использовать для формирования громких сигналов азбуки Морзе или в качестве дверного звонка.

Задание 18-6-3.

Изучите работу мультивибратора с усилителем.

1. Соберите конструкцию, показанную на рис. 18-6-3, где мультивибратор составлен на транзисторах *VT1* и *VT2*. Транзистор *VT3* является усилителем мощности электрических колебаний, что позволяет включать в его коллекторную цепь вместо высокоомного телефонного капсюля низкоомные динамические головки непосредственно или через согласующий трансформатор.

2. Включите питание и объясните принцип работы генератора.

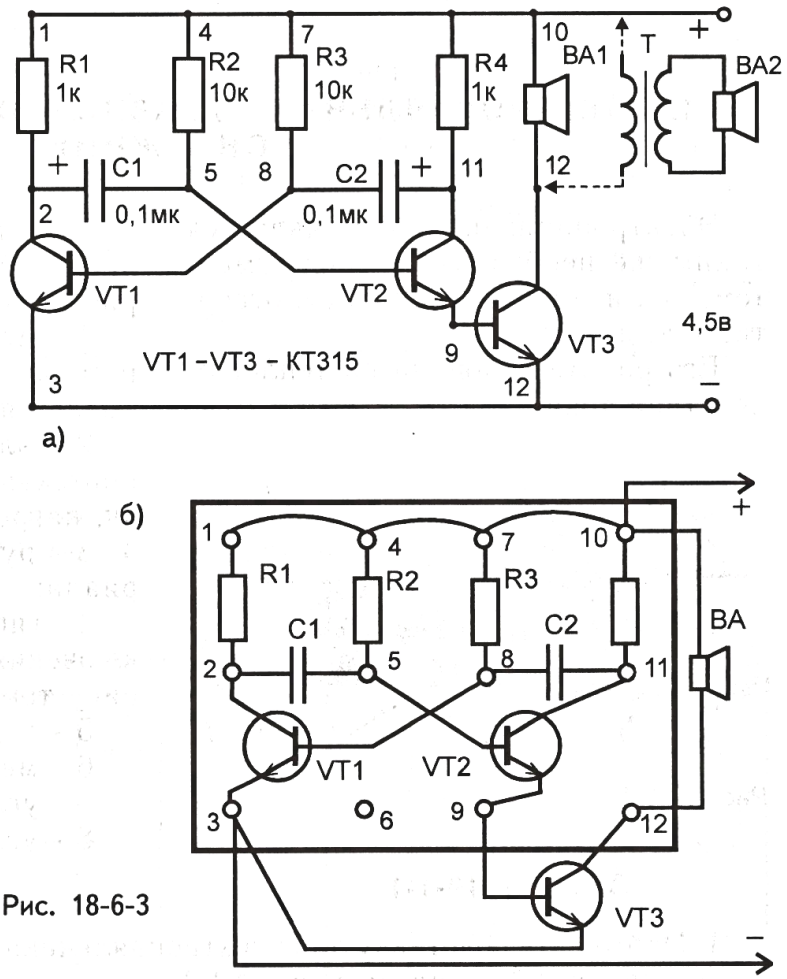


Рис. 18-6-3

Задание 18-6-4.

В задании 18-6-3 конденсаторы *C1* и *C2* замените оксидными, емкостью в пределах 5-500 мкФ. В коллекторную цепь транзистора *VT3* вместо динамической головки *BA* включите миниатюрную низковольтную лампу (МН 2,5 В x 0,15 А) или светодиод. Испытайте полученную мигалку в работе.

Глава 19

Электрическая пайка. Макетирование и монтаж радиоэлектронных конструкций

§19-1. ЭЛЕКТРОПАЯЛЬНИК - ГЛАВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНИКА

Электропаяльник в быту является таким же необходимым инструментом, как и молоток, ножницы, отвертка и т. д.

Его работа основана на тепловом действии тока.

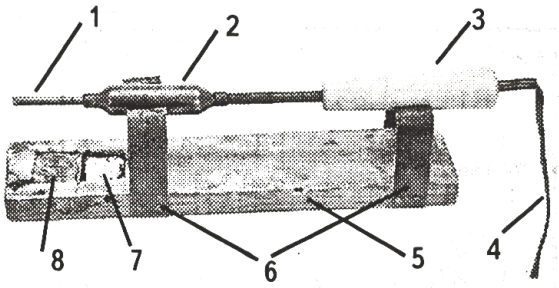


Рис. 19-1-1

Внешний вид паяльника с принадлежностями для пайки показан на рис. 19-1-1, где:

1 - медный стержень, конец которого заточен в виде «лопатки» 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.

Задание 19-1-1.

1. Изготовьте подставку для электропаяльника. Ее конструкция может быть такой, какая показана на рис. 19-1-1.

2. Возьмите электропаяльник и ознакомьтесь с его устройством.

§ 19-2. ПРИПОЙ - ЭТО СПЛАВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЙ ДЛЯ ПАЙКИ

Припои - это цветные металлы и сплавы, предназначенные для создания неразъемных соединений металлических частей путем пайки. Расплавленный припой смачивает поверхность спаиваемых металлов, прони-

кает 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 (твердые) с температурой плавления выше 450°С.

Легкоплавкие припои представляют собой сплавы из олова, сурьмы, кадмия, висмута и других металлов. Широкое распространение получили припои марок ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61, ПОСК-50-18, ПОСВ-33. В марках припоев буквы обозначают сокращенное название припоя, а цифры после букв указывают на процентное содержание в сплаве олова, кадмия или висмута.

При радиомонтажных работах наиболее часто применяют припой ПОС-40, имеющий температуру плавления 235°С.

С увеличением количества олова температура плавления припоя понижается. Если необходимо паять при пониженной температуре (100-110° С), используют припои, содержащие кадмий или висмут. Однако они обладают большой хрупкостью и создают менее прочный спай, чем оловянно-свинцовые.

Тугоплавкие припои, изготовленные на основе меди и серебра, марок ПМЦ-36, ПМЦ-38, ПСр-50, ПСр-70, имеют температуру плавления 850°С. Припои медно-цинковые обозначаются ПМЦ с указанием процентного содержания меди в припое. ПСр - припои на основе серебра с его процентным содержанием в припое.

Тугоплавкие припои служат для пайки конструкций, несущих повышенную механическую или тепловую нагрузку.

Задание 19-2-1.

По таблице 19-2-1 ознакомьтесь с легкоплавкими припоями. Определите их состав, температуру плавления и область применения.

Таблица 19-2-1

Наименование припоев и их марки	Состав, %							$T_{плав}$, °С	Применяется для пайки
	олово	свинец	кадмий	висмут	сурьма	медь	мышьяк		
Припой оловянно-свинцовый ПОС-30	30	68	-	-	2	-	-	310	электротехнической аппаратуры широкого применения
Припой оловянно-свинцовый ПОС-40	40	58	-	-	2	-	-	235	
Припой оловянно-свинцовый ПОС-61	61	38	-	-	1	-	-	190	монтажных и обмоточных проводов и радиоэлементов (резисторов, конденсаторов и т.д.)
Припой оловянно-свинцово-кадмиевый ПОСК-50-18	50	31,69	18	-	0,2	0,08	0,03	145	выводов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем
Припой оловянно-вый ПОСВ-33	34,4	33,3	-	33,3	-	-	-	130	

§19-3. 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 ее 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 припоев.

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 коррозийное 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.

§19-4. ПАЙКА - ЭТО СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПОСРЕДСТВОМ РАСПЛАВЛЕННОГО ПРИПОЯ.

Подготовка паяльника к работе.

В условиях школы паяльные работы производятся электрическим паяльником мощностью 50-75 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 и облудить.

Рабочая температура жала паяльника составляет 300-400° С. При недогреве паяльника припой превращается в кашеобразную массу. При перегреве припой не смачивает рабочую поверхность жала, а канифоль сгорает, выделяя густой дым.

Технология пайки.

Для прочного соединения спаиваемых деталей необходимо, чтобы жидкий припой их хорошо смачивал в месте пайки и, застыв, образовал прочное соединение металлов. Для этого рекомендуются следующие операции:

- тщательно очистить спаиваемые поверхности от грязи, изоляции, окислов напильником, мелкой наждачной бумагой или ножом (рис. 19-4-1);
- подогнать спаиваемые поверхности друг к другу;
- 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. 19-4-2).

Пайка получается прочной при использовании в качестве флюса раствора канифоли в глицерине или спирте; раствор наносят на спаиваемые поверхности кисточкой.

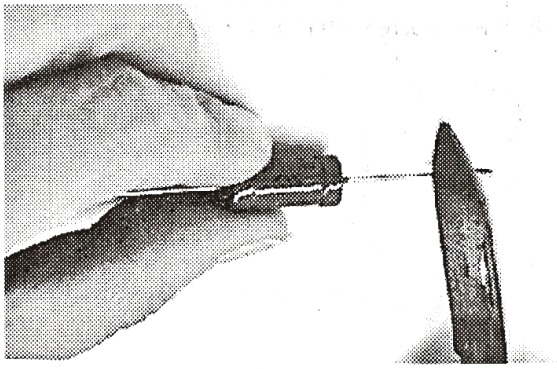


Рис. 19-4-1

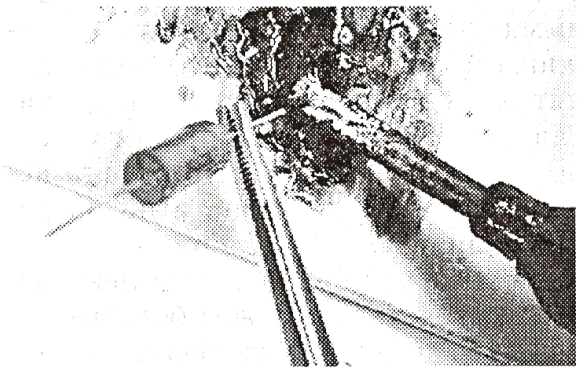


Рис. 19-4-2

§19-5. Соблюдение техники безопасности - прежде всего!

Запомните правила техники безопасности при работе с паяльником, которые надо соблюдать строго:

1) паяльник берут только за ручку, являющуюся одновременно электрическим и тепловым изолятором;

2) при выключении и включении паяльника вилку берут только за изолированную часть;

3) 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;

4) детали припаиваются и отпаиваются осторожно, плавно, без рывков;

5) паяльник берут в руки только на период пайки, и после выполнения нужных действий сразу же кладут на специальную изолированную подставку с металлическими опорами;

6) после окончания работы паяльник выключают;

7) так как припой и флюс токсичны, электромонтажные работы с использованием паяльника производят в хорошо проветриваемом помещении. После окончания работы рабочее место и руки тщательно моют теплой водой с мылом;

8) если электромонтажные работы с пайкой происходят в домашних условиях, то к ним нельзя допускать малолетних детей, так как горячий паяльник, припой и флюс могут стать причиной серьезных травм.

§19-6. 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 7-9 пружин, а на последних занятиях - 10-12 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, например, блоки питания, усилители, радиоприемники, цветомузыкальные устройства и т. д., 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.

1 способ. Монтажная плата может быть изготовлена из фольгированного стеклотекстолита путем удаления ненужных частей медной фольги травлением или вырезанием. На рис. 19-6-1, а показана макетная плата, состоящая из двух непрерывных шин 1, предназначенных для подключения цепи питания, и пронумерованных опорных площадок 2 между ними. Шины и площадки облужены. На рис. 19-6-1, б показана изготовленная таким же способом более сложная плата, предназначенная для макетирования многоэлементных схем.

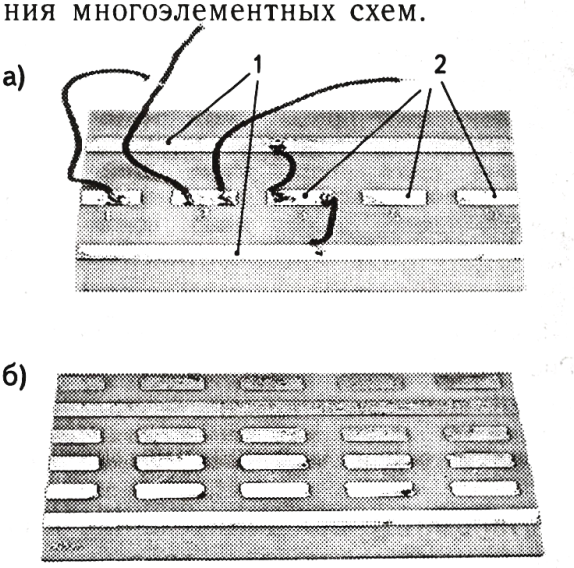


Рис. 19-6-1

2 способ. У вышерассмотренных плат при перегревании во время пайки участки фольги склонны к отслаиванию. Поэтому они требуют осторожного обращения. Этого недостатка лишена самодельная плата (рис.19-6-2, а). Она состоит из жесткого диэлектрика - картона, фанеры, текстолита и т. д. В пластине 1 делают отверстия 2, в которые вставляют залуженные медные провода диаметром около 1 мм. Концы проводов на обратной стороне пластины загибают навстречу друг другу длиной до 10 мм (рис. 19-6-2, б). Длинные провода 3, протянутые по краям платы, образуют шины для подключения питания, короткие провода 4 между ними - опорные площадки.

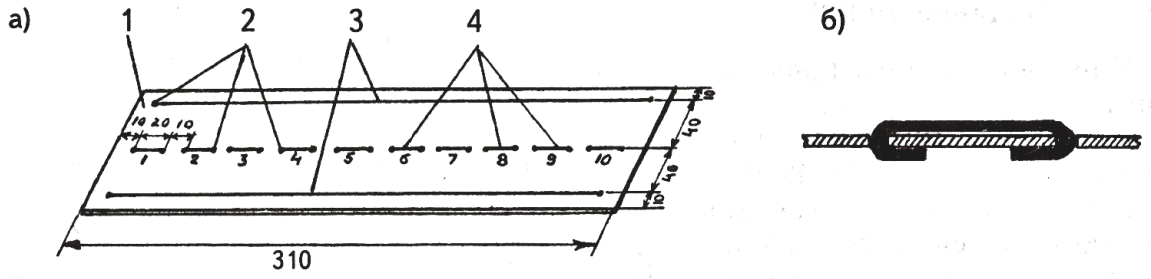


Рис. 19-6-2

На рис. 19-6-3, а и б приведена электрическая схема мультивибратора и ее макетирование 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 рис. 19-6-5 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.

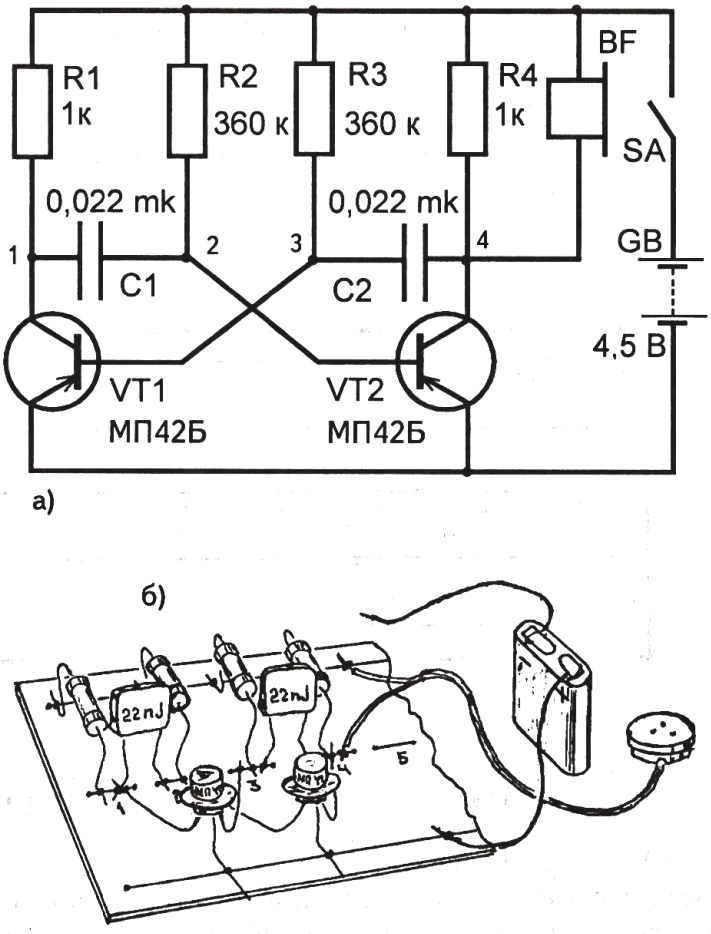


Рис. 19-6-3

Задание 19-6-1.

Изготовьте вышеописанную макетную плату для паяльных работ (рис. 19-6-2).

Задание 19-6-2.

Припаяйте медные провода к макетной плате (рис. 19-6-4).

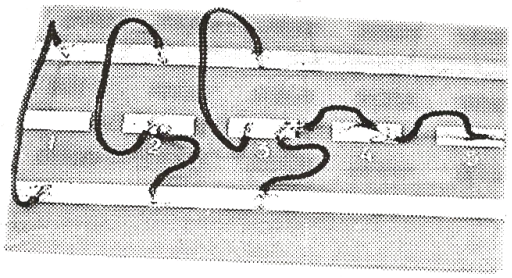


Рис. 19-6-4

1. Включите электрический паяльник в сеть напряжением 36-42 В.

2. Пока паяльник нагревается, с помощью ножа 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, припоя и, соблюдая условия качественной пайки, залудите концы данных вам проводников, т.е. покройте их тонким слоем припоя.

4. Припаивайте проводники к шинам и опорным площадкам платы и отпаивайте их.

Задание 19-6-3.

По аналогии с заданием 19-6-1, согласно рис. 19-6-5, изготовьте плату для макетирования радиоэлектронных конструкций навесным способом.

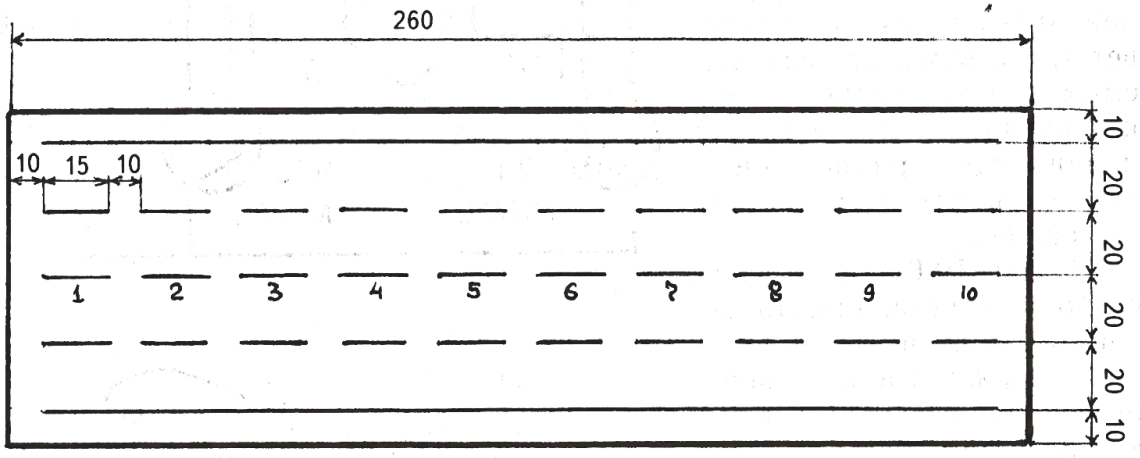


Рис. 19-6-5

§19-7. ОТ МАКЕТИРОВАНИЯ К ПЕЧАТНОМУ МОНТАЖУ

Основную массу конструкций мы будем собирать на макетной плате, исследовать их работу и разбирать, чтобы эти же детали использовать в других заданиях. Но мы часто будем вам предлагать схемы различных электронных устройств для повседневного пользования: переговорные устройства, усилители, радиоприемники, и т. д. Поэтому расскажем о способах их монтажа.

Самым распространенным и надежным является так называемый печатный монтаж, где проводники заменены тонкими полосками меди, нанесенными на электроизоляционную плату. Для изготовления печатных плат используют фольгированный ге-

тинакс, текстолит, стеклотекстолит. Изготовление печатной платы - очень ответственная часть конструирования электронной аппаратуры. Качество печатной платы занимает не последнее место в работе конструкции.

Прежде чем приступить к изготовлению печатной платы, нужно сделать ее рисунок. Для этого на чистом листе бумаги в соответствии с принципиальной схемой (в качестве примера возьмем схему двухкаскадного УЗЧ, рис. 19-7-3, а) отмечают (лучше карандашом) контуры деталей и точки под отверстия для их выводов. 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 ее назначения. Например, для карманных радиоприемников в целях уменьшения габаритов детали располагают плотнее.

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. 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 г/см^3 (150г хлорного железа на 200 см^3 воды), налитый в неметаллическую посуду (стекло, пластмасса и др.). Плату располагают вертикально или горизонтально фольгой вниз так, чтобы она не касалась дна. Это можно сделать, вставив в просверленные по углам платы отверстия спички (рис. 19-7-1).



Рис. 19-7-1

Время травления определяется концентрацией раствора и его температурой: в свежеприготовленном растворе при комнатной температуре процесс длится около часа, а при температуре около 50°С - 15 мин. После травления плату промывают теплой водой, сушат и покрывают тонким слоем флюса (15%-ный раствор канифоли в спирте или ацетоне); участки фольги в местах отверстий облуживают так, чтобы сами отверстия остались свободными.

При отсутствии хлорного железа травление можно производить в растворе медного купороса и поваренной соли. Для этого растворяют в 500 мл горячей (примерно 70-80° С) воды четыре столовые ложки поваренной

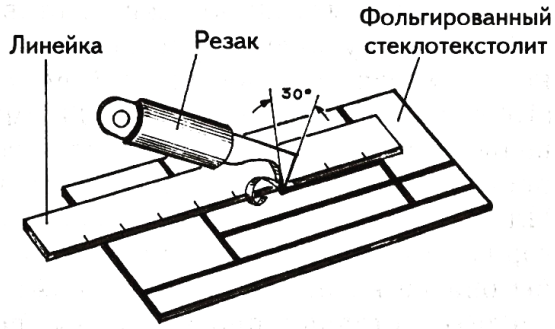


Рис. 19-7-2

соли и две ложки растолченного в порошок медного купороса и получают темно-зеленый раствор, достаточный для стравливания 200 см^2 поверхности медной фольги. При комнатной температуре время травления составляет несколько часов.

Также есть механический способ изготовления печатной платы без травления, путем снятия фольги остро отточенным кончиком ножа или скальпеля. Но лучше всего пользоваться самодельным резаком из ножовочного полотна (рис. 19-7-2), которым срезают изоляционные канавки шириной 0,8...1,2 мм, формируя

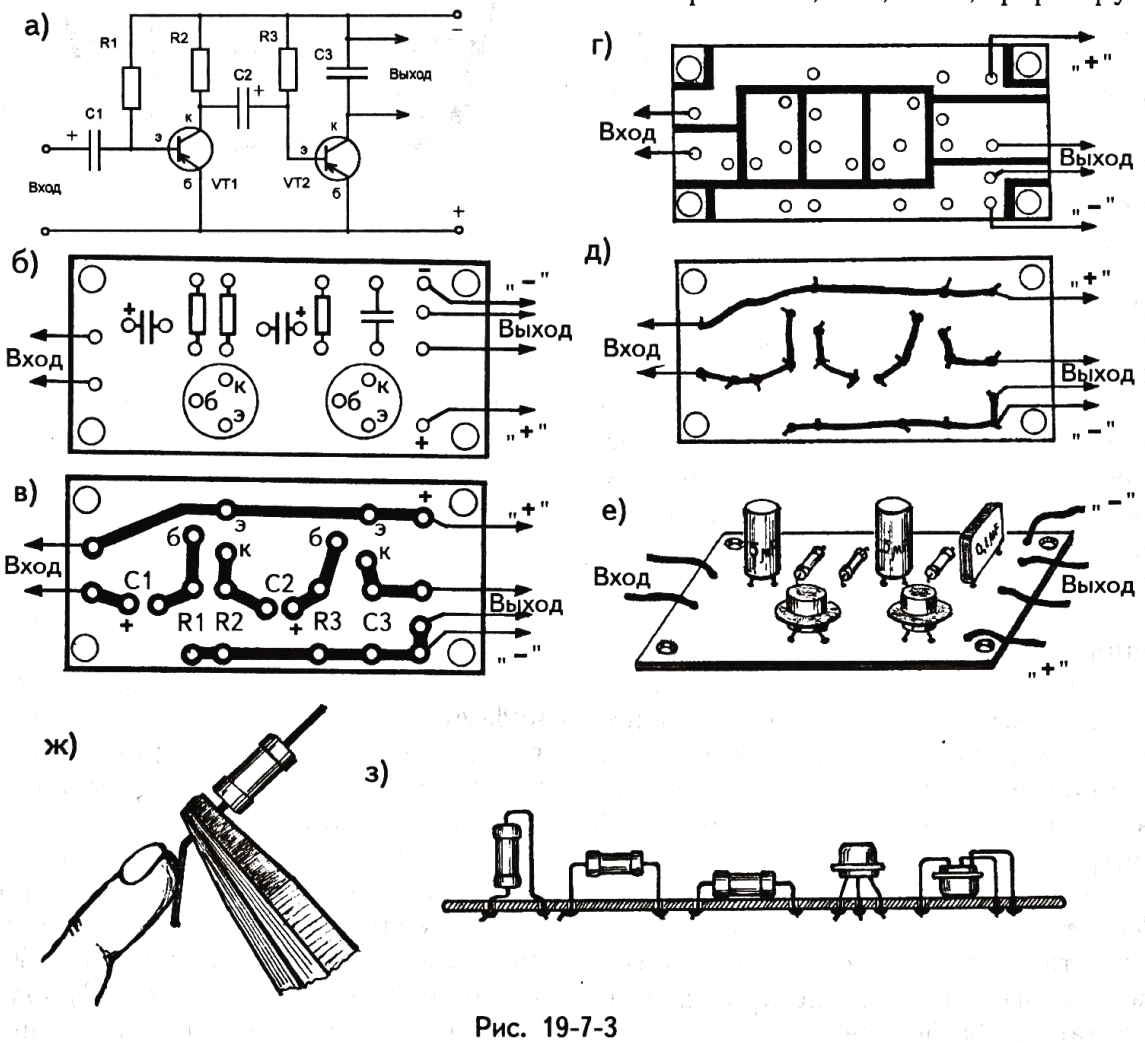


Рис. 19-7-3

участки, ограниченные прямыми линиями.

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.

На рис. 19-7-3 показаны: а) принципиальная схема УЗЧ; б) схема расположения деталей на плате; в) печатная плата, изготовленная травлением; г) печатная плата, изготовленная вырезанием; д) монтаж деталей на изоляционном материале проводниками; е) вид печатной платы со стороны деталей; ж, з) способы монтажа деталей на печатной плате.

Совет. Рейсфедер можно изготовить из стеклянной трубки внутренним диаметром 2...3 мм. С этой целью ее нагревают над пламенем спиртовки. Как только трубка размягчится, оттягивают ее 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.

Глава 20

Конструирование радиоэлектронных устройств

Ниже приведем несколько конкретных радиоэлектронных устройств, которые вы сможете собрать и использовать в школе или дома.

Надеемся, что отсутствие точно таких же деталей, какие предлагаются в последующих схемах, не сможет удержать вас от экспериментирования и конструирования. Если вы внимательно и добросовестно изучили вышеописанный материал данного пособия, то знаете о том, что каждый усилительный каскад, каждая конкретная схема требуют тщательной настройки, как схему, данную на транзисторах p - n - p - типа, переделать на n - p - n - транзисторы, что номиналы применяемых резисторов и конденсаторов можно менять в широких пределах.

Смелее за работу! Только что-то делая, можно чему-то научиться!

§ 20-1. ПЕРЕГОВОРНОЕ УСТРОЙСТВО ПО ПРИНЦИПУ «ПРИЕМ-ПЕРЕДАЧА» НА ОДНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Предлагаем собрать переговорное устройство на базе однотранзисторного УЗЧ (рис. 20-1-1, эта схема рассматривалась в § 17-2).

Переменный ток звуковой частоты, порождаемый микрофоном *BM1*, проходит через конденсатор *C1*, усиливается транзистором и через конденсатор *C2* поступает в телефон *BF1*. Резистор *R1* создает положительное напряжение смещения на базе транзистора для его работы в качестве усилителя. Резистор *R2*, включенный в коллекторную цепь транзистора, служит его нагрузкой. Он заменяет собой телефон в схемах УЗЧ, собранных по рисункам 17-2-3 и 17-2-4 .

Конденсатор *C1* предотвращает замыкание базы транзистора с отрицательной шиной источника питания через катушку микрофона *BM1*, конденсатор *C2* - замыкание коллектора транзистора через катушку телефона *BF1*.

Обратите внимание на то, что данная конструкция УЗЧ отличается от предыдущих тем, что нижние выводы микрофона и телефона соединены между собой через отрицательную шину источника питания. Отсюда следует, что микрофон и телефон можно менять ролями (они представляют собой капсюли телефона ТОН-2). Для этого достаточно поменять местами их верхние по рисунку выводы. Это можно сделать при помощи двой-

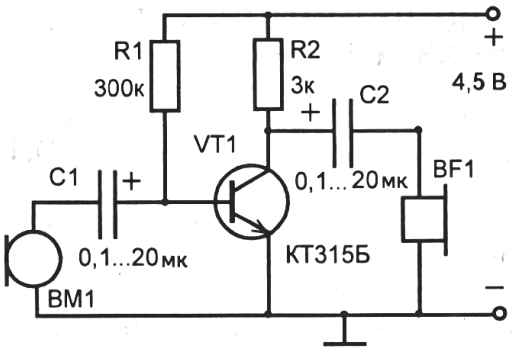


Рис. 20-1-1

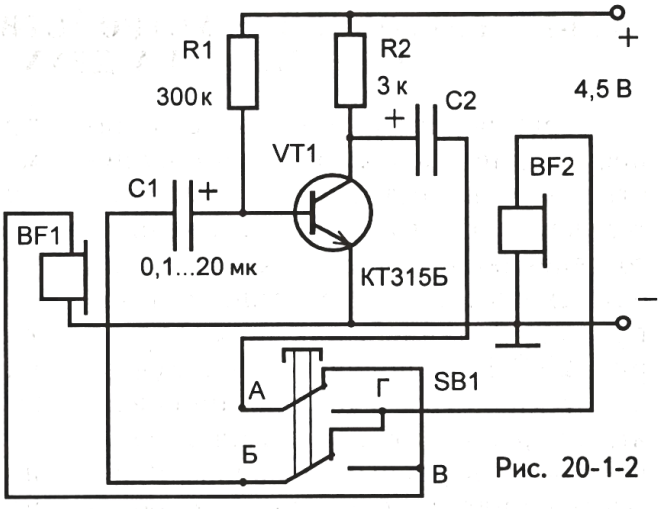


Рис. 20-1-2

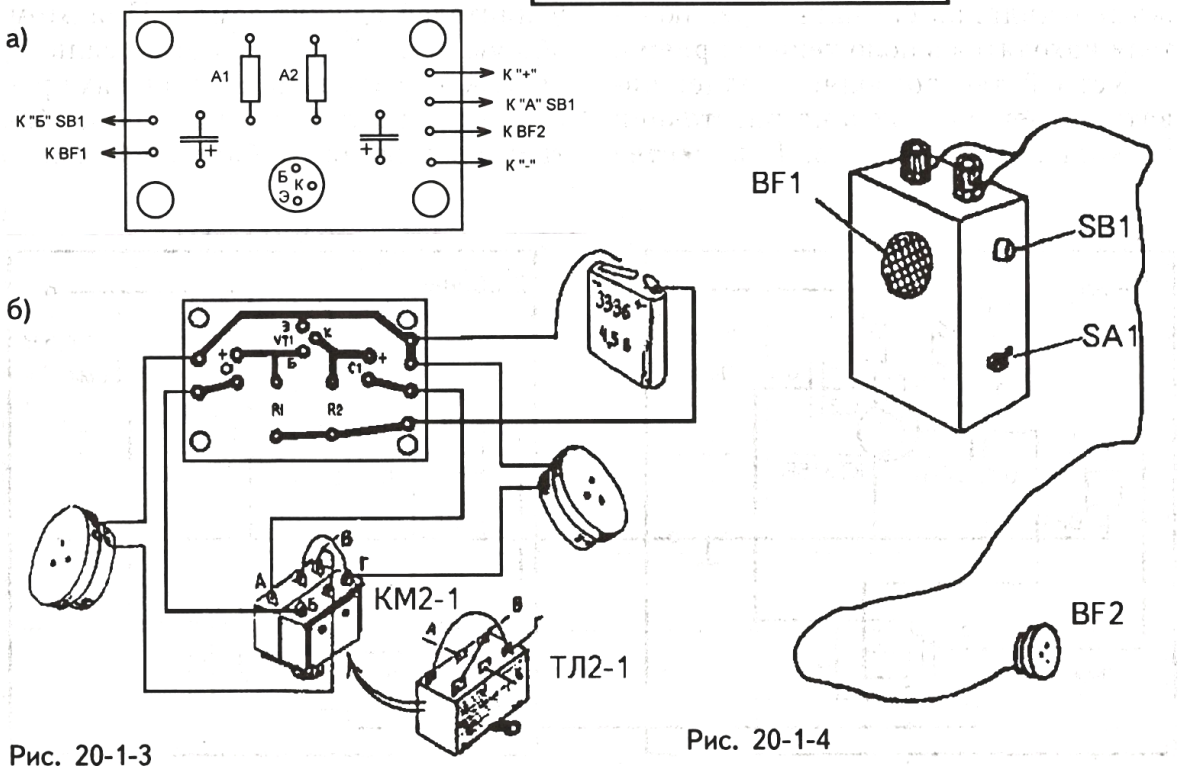


Рис. 20-1-3

Рис. 20-1-4

ного переключателя (кнопочного или тумблерного). В результате этого получится переговорное устройство, работающее по принципу «прием-передача».

Схема такого устройства показана на рис. 20-1-2.

Проследите по схеме, как капсюли *BF1* и *BF2* меняются ролями при нажатии кнопки *SB1* (или переключателя ручки тумблера).

На рис. 20-1-3, а, б даны схема расположения деталей, рисунок печатной платы и схема соединения коммутирующего устройства.

На рис. 20-1-4 показан возможный вариант внешнего вида собранного переговорного устройства.

§20-2. ПЕРЕГОВОРНОЕ УСТРОЙСТВО ПО ПРИНЦИПУ «ПРИЕМ-ПЕРЕДАЧА» НА ДВУХ ТРАНЗИСТОРАХ

Переговорное устройство, собранное на рис. 20-1-2, обладает существенным недостатком: рассчитано только на одного абонента, имеющего переключатель. Если собрать два одинаковых УЗЧ и соединить двухпроводной линией, как показано на рис. 20-2-1, то получится переговорное устройство, где два абонента, имея переключатели режима работы, находятся в равных условиях. В режиме ожидания сигнала переключатели находятся в положении «прием».

Устройство позволяет поддерживать уверенную связь на расстоянии нескольких сот метров. В качестве провода связи можно использовать медные провода марок ПЭВ, ПЭЛ диаметром 0,3...0,5 мм.

При использовании переговорного устройства в полевых условиях (в саду, поле, лесу) можно обойтись только одним проводом, соединяющим средние выводы переключателей (т. Б).

В качестве второго провода, соединяющего общие (минусовые) шины усилителей служит земля. При этом общую шину " ⊥ " каждого усилителя нужно заземлить, соединив их проводом с металлическим штырем, вбитым в землю на глубину 20-40 см.

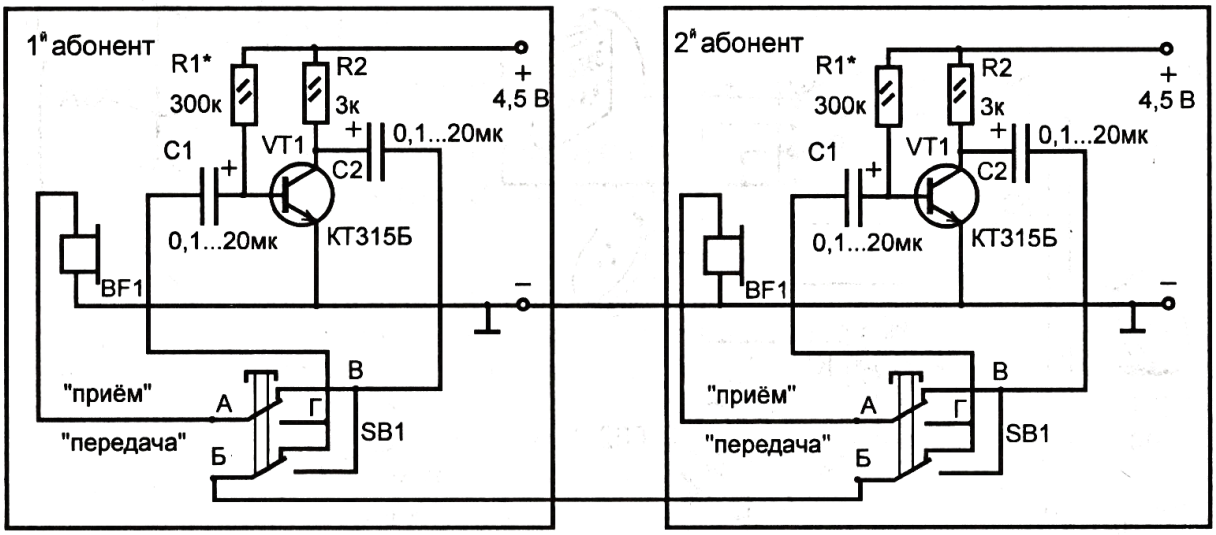


Рис. 20-2-1

§20-3. ТЕЛЕФОННАЯ СВЯЗЬ С ВЫЗОВОМ АБОНЕНТА

На этом занятии вновь возвращаются к переговорным устройствам, но более совершенным. Каждый кружковец собирает с товарищем, пользуясь своим набором, усилитель звуковой частоты на двух транзисторах и соединяет его двухпроводной линией, как показано на рисунке 20-3-1.

В результате получают телефонный аппарат, достоинством которого является отсутствие переключателя на режимы «Прием» и «Передача». Здесь телефонный капсюль первого абонента подключен параллельно к телефонному капсюлю второго абонента, и каждый слышит самого себя и своего товарища.

В прежних переговорных устройствах надо было договариваться о начале связи. В данном же случае этого делать не надо, так как в схеме предусмотрена возможность вызова абонента на связь. Это второе достоинство аппарата. Чтобы пригласить второго абонента на связь, нужно включить питание и нажать на кнопку вызова *SB1*. В обоих капсюлях раздается звуковой сигнал. В этом случае УЗЧ превращается в мультивибратор, генерирующий звуки.

На рисунке 20-3-2 предлагается конструкция переговорного устройства, в котором каждый абонент в своем телефонном капсюле слышит только другого абонента, а самого себя не слышит. Это достигнуто применением диодов, которые, как известно, обладают только односторонней проводимостью.

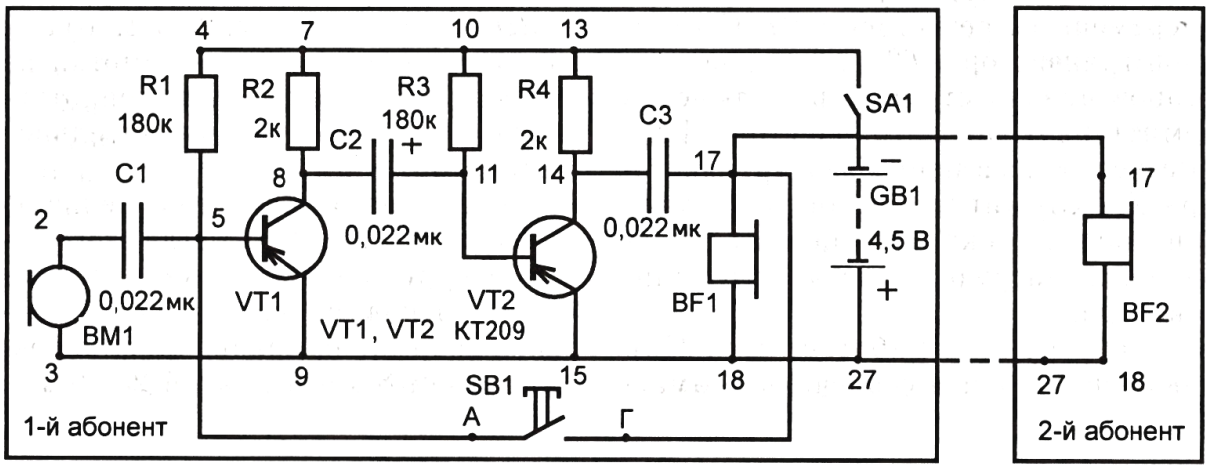


Рис. 20-3-1

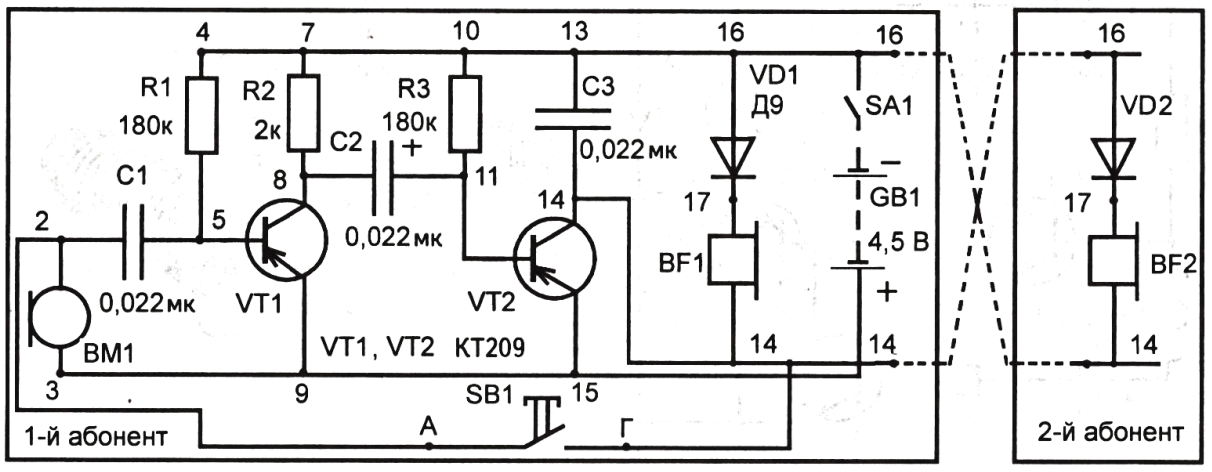


Рис. 20-3-2

§ 20-4. ИНДИКАТОР ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

Известный опыт **М.Фарадея** по обнаружению индукционного тока в замкнутом контуре (катушке) при помещении его в переменное магнитное поле можно видоизменить, используя вместо стрелочного гальванометра электронный индикатор, схема которого дана на рис. 20-4-1, а.

Датчиком является катушка индуктивности *L1*, намотанная на железном сердечнике, которая через оксидный конденсатор *C1* подключена к усилительному каскаду, выполненному на транзисторе *VT1*. Режим работы усилителя устанавливается переменным резистором *R1*. Составной транзистор *VT2-VT3* из транзисторов разной структуры включен в эмиттерную цепь транзистора *VT1*. Резистор *R3* в цепи базы транзистора *VT2* служит для ограничения максимального тока в лампе *HL1*, являющейся нагрузкой составного транзистора.

Конструкция работает так. При движении вблизи сердечника намагниченного предмета индукционный ток, появившийся в катушке, усиливается транзистором *VT1* и открывает составной транзистор *VT2-VT3*, и лампа *HL1* на мгновение вспыхивает. Чем больше предмет и сильнее его намагниченность, тем ярче вспышка лампы.

Хорошо настроенный индикатор реагирует даже на намагниченное лезвие, скрепку и канцелярскую кнопку.

В качестве катушки *L1* можно использовать катушку с сердечником от старых электромагнитных реле РЭС-6, РЭС-9, РЭС-22 (рис. 20-4-1, б) или других, сопротивлением обмотки не менее 200 Ом. Чем больше сопротивление обмотки, тем чувствительнее индикатор.

Можно изготовить самодельную катушку (рис. 20-4-1,в). Для этого берут ферритовый стержень марки 600НН (используется в магнитных антеннах карманных радиоприемников) диаметром 8 мм и длиной 25-30 мм.

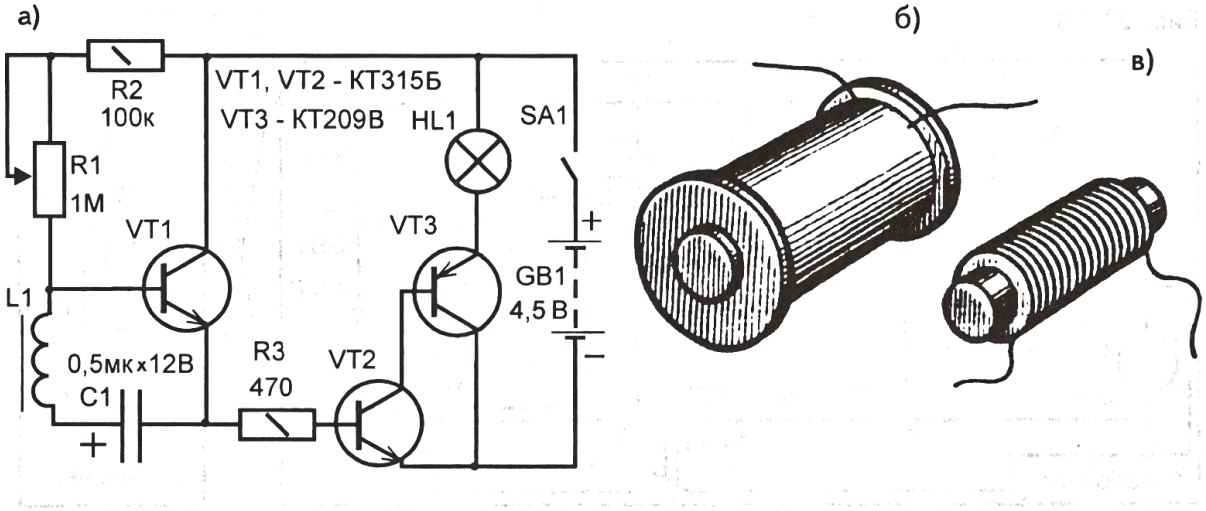


Рис. 20-4-1

На него по всей длине наматывают внавал 300 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,25-0,3 мм. Оксидный конденсатор *C1* и резисторы *R1 - R3* любого типа. Сигнальная лампа HL1 - МН 3,5 В ×0,15А или МН 2,5 В ×0,15А.

§ 20-5. ИНДИКАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

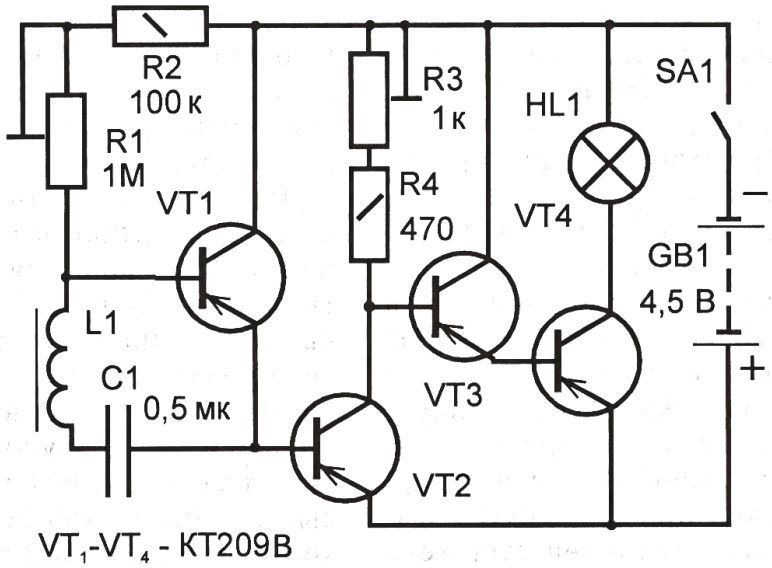
Известно, что вокруг проводника с током существует магнитное поле, а вокруг проводника с переменным током - переменное магнитное поле, точнее электромагнитное поле. Простое электронное устройство, схема которого приведена на рис. 20-5-1, позволяет обнаружить это поле, образующееся вблизи проводников с достаточной индуктивностью, например, катушек, трансформаторов, электропаяльников, включенных в бытовую электрическую сеть с частотой тока 50 Гц.

Данное устройство работает по тому же принципу, что и рассмотренный в § 20-4 индикатор индукционного тока. Режим работы транзисторов *VT1* и *VT2* подбирается подстроечным резистором *R1*. Усилитель мощности на транзисторах *VT3* и *VT4*, нагруженный на лампу *HL1*, настраивается подстроечным резистором *R3*.

В исходном состоянии транзисторы *VT1* и *VT2* открыты и находятся в насыщении. Транзисторы *VT3* и *VT4* открыты незначительно (база транзистора *VT3* через открытый транзистор *VT2* замкнута с эмиттером транзистора *VT4*), и лампа *HL1* едва светится.

При поднесении катушки *L1* к источнику электромагнитного поля, например, работающему паяльнику, в ней индуцируется переменный ток и усиливается транзисторами *VT1* и *VT2*. Положительные полупериоды индуцированного тока закрывают эти транзисторы, увеличивая сопротивления их участков коллектор-эмиттер, что приводит к открыванию транзисторов *VT3* и *VT4*. В результате этого ток через лампу увеличивается, вызывая ее свечение.

Первые два транзистора могут



VT_1-VT_4 - КТ209В

Рис. 20-5-1

быть серии КТ209 со статическим коэффициентом передачи тока 15...25, *VT3* - того же типа, но с коэффициентом передачи 50...60. С таким же коэффициентом передачи следует подобрать и транзистор *VT4*. Постоянные и подстроечные резисторы любого типа. Датчик и сигнальная лампа - такие же, что и в предыдущей конструкции, конденсатор - бумажный, например МБМ.

§ 20-6. ЭЛЕКТРОННЫЙ «КЛАД» И КЛАДОИСКАТЕЛЬ

Воспользовавшись принципом индуктивной связи, можно построить интересное устройство для проведения соревнований по поиску «кладов» - замаскированных в земле или помещении миниатюрных передатчиков, работающих на звуковой частоте.

Каждый такой «клад» (рис. 20-6-1) представляет собой мультивибратор, работающий на частоте примерно 1000 Гц. В эмиттерную цепь транзистора *VT2* мультивибратора включен усилитель мощности на транзисторе *VT3* с катушкой индуктивности *L1* в качестве нагрузки. Вокруг нее образуется электромагнитное поле звуковой частоты.

Это поле улавливает датчик приемника (рис. 20-6-2) - катушка *L1*. Колебания звуковой частоты с нее подаются на каскад усиления на транзисторе *VT1*. Прослушивается усилительный сигнал через головные телефоны *BF1*. Чувствительность приемника такова, что звук «клада» слышен на расстоянии 1-2 метра между катушками индуктивности.

Транзисторы мультивибратора и приемника могут быть серии КТ209 с возможно большим коэффициентом передачи тока. Катушка «клада» намотана на каркас внутренним диаметром 8 и длиной 30 мм и содержит 800 витков провода ПЭВ-1 0,1. Внутрь каркаса вставлен стержень таких же габаритов из феррита 400НН (можно 600НН). Катушка приемника содержит 3000 витков провода ПЭВ-1 0,12, намотанных на стержень диаметром 8 и длиной 80...100 мм из феррита 400НН. Источник питания - батарея 3336, но «клад» может работать и от одного элемента 373, 343.

Детали «клада» монтируют на плате (рис. 20-6-3), которую вместе с источником питания крепят внутри корпуса возможно меньших габаритов. Там же размещают катушку индуктивности. Выключатель укрепляют на боковой стенке - пользуются им непосредственно перед маскировкой «клада» и после его обнаружения.

Детали приемника, кроме катушки индуктивности, кнопочного выключателя и головных телефонов, монтируют также в небольшом корпусе и укрепляют его вблизи одного из концов деревянной рейки примерно метровой длины.

Рядом с корпусом на рейке устанавливают выключатель, а на противоположном конце рейки крепят катушку (рис. 20-6-4). Головные телефоны следует подключать либо подпайкой проводников от них к соответствующим точкам приемника, либо через разъем и вилку. Нужно заметить, что головные телефоны могут быть как высокоомные, типа ТОН-2, так и низкоомные, например, миниатюрные ТМ-2А. С первыми из них получает-

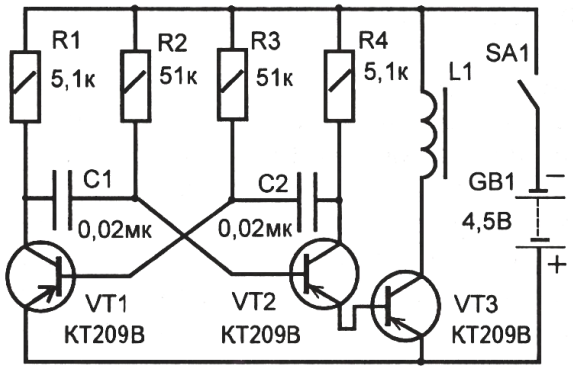


Рис. 20-6-1

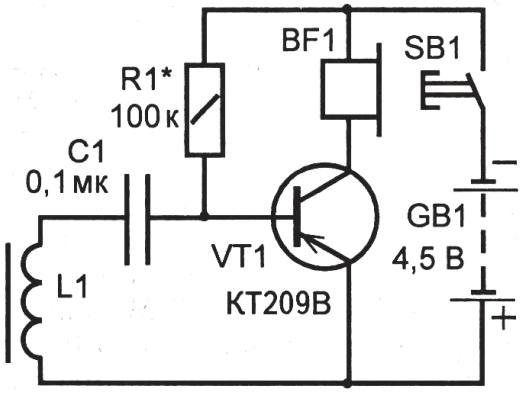


Рис. 20-6-2

ся большая чувствительность, но меньшая громкость, со вторыми - наоборот, большая громкость, но меньшая чувствительность.

При проверке работы устройства подбором резистора *R1* в приемнике добиваются максимальной громкости звука.

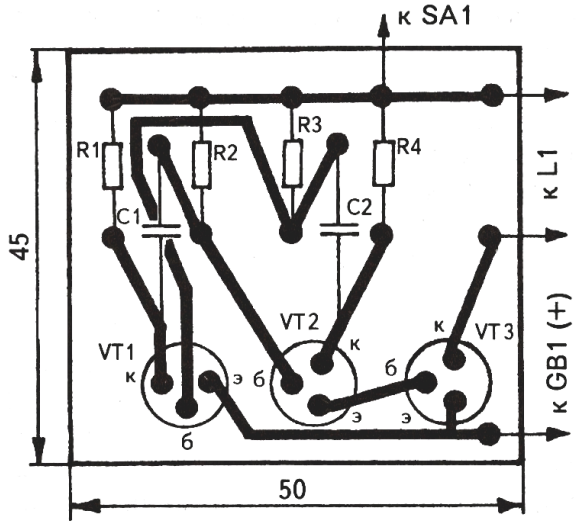


Рис. 20-6-3

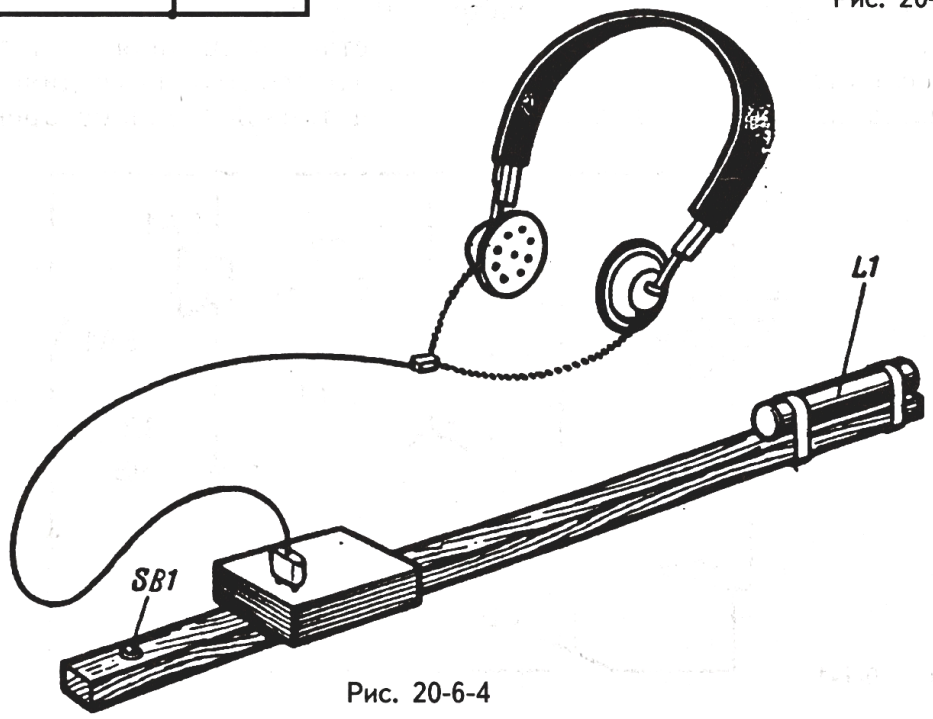


Рис. 20-6-4

§ 20-7. ПРЕРЫВИСТАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СИРЕНА

Генератор прерывистой электронной сирены собран на транзисторах разной структуры *VT1* и *VT2* (рис. 20-7-1) по схеме несимметричного мультивибратора. Тональность звука зависит от емкости конденсатора *C2*, который обеспечивает положительную обратную связь между коллектором транзистора *VT2* и базой транзистора *VT1*.

При замыкании цепи питания выключателем *SA1* мультивибратор находится в ждущем режиме и звука не генерирует. При нажатии кнопки *SB1* через резистор *R1* начинает заряжаться конденсатор *C1*, постепенно увеличивая напряжение смещения на базе транзистора *VT1*. При некотором его значении транзистор открывается и в динамической головке *BA1* появляется звук, тональность которого будет плавно изменяться по мере зарядки конденсатора *C1*. Это длится 3 - 5 секунд и зависит от номиналов конденсатора *C1* и резистора *R1*.

После отпускания кнопки конденсатор начинает разряжаться через резисторы *R2*, *R3* и эмиттерный переход транзистора *VT1*, изменяя тональность звука. При уменьшении напряжения смещения между базой и эмиттером транзистора *VT1* до определенного значения звучание головки прекращается и мультивибратор возвращается в исходное ждущее состояние.

Продолжительность звучания сирены при разрядке зависит от номиналов конденсатора *C1*, резисторов *R2*, *R3*, сопротивления эмиттерного перехода транзистора *VT1* и составляет 3 - 5 секунд.

В конструкции можно использовать другие маломощные кремниевые или германиевые транзисторы соответствующей структуры с возможно большим коэффициентом передачи тока, резисторы *R1-R3* и оксидный конденсатор *C1* любого типа, конденсатор *C2* - бумажный (МБМ), динамическую головку мощностью 0,1-1 Вт сопротивлением катушки 6-10 Ом. Источник питания представляет две последовательно соединенные батареи типа 3336 или батарею «Крона».

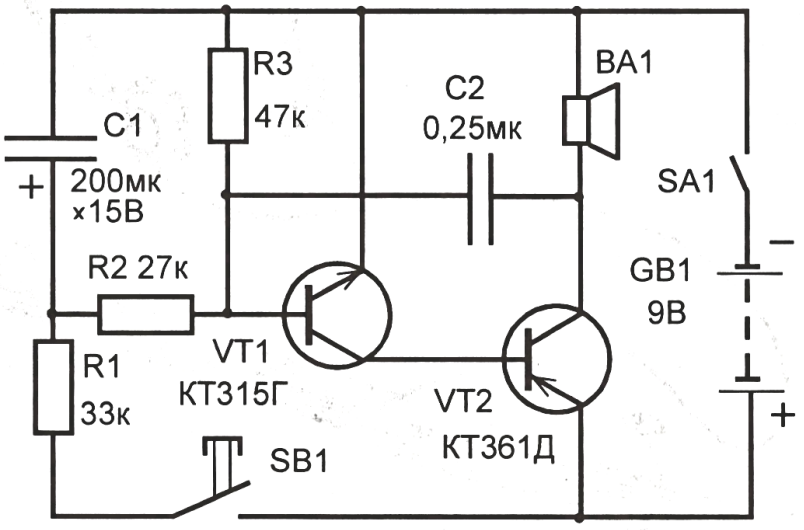


Рис. 20-7-1

§ 20-8. ДВУХТОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ СИРЕНА

Схема конструкции представлена на рис. 20-8-1. Она состоит из двух мультивибраторов, каждый из которых работает на своей частоте. Частота колебаний первого симметричного мультивибратора, выполненного на транзисторах *VT1*, *VT2*, составляет около 0,5 Гц. Второй несимметричный мультивибратор, собранный на транзисторах *VT3* и *VT4* разных типов проводимости, работает на более высокой частоте и формирует тональность звука.

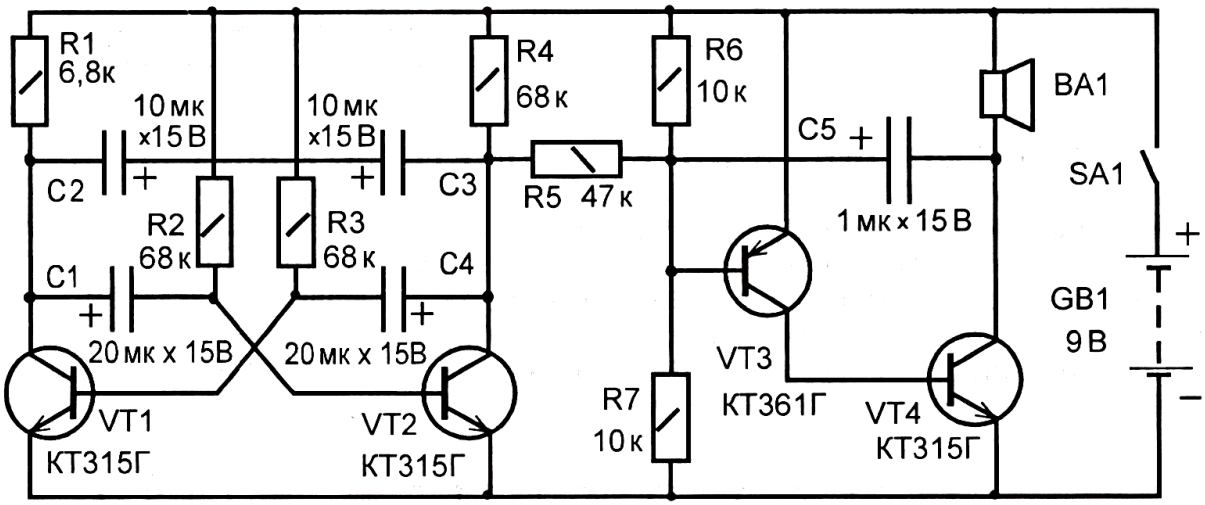


Рис. 20-8-1

Совместное действие двух генераторов, соединенных между собой резистором *R5*, имитирует двухтональную сирену. Происходит это так. Транзисторы в плечах мультивибратора работают в импульсном режиме. Поэтому на коллекторе транзистора *VT2* напряжение либо есть (транзистор закрыт), либо нет (транзистор открыт). По схеме видно, что колеблющееся напряжение через резистор *R5* прилагается к базе транзистора *VT3* второго генератора, вызывая изменение частоты его колебаний (тональности звучания). В результате этого в такт колебаниям первого мультивибратора происходит изменение тональности звучания динамической головки *BA1*, являющейся нагрузкой второго мультивибратора.

Приятный тон звучания регулируется подбором деталей. От емкости конденсатора *C5* зависит высота звука, от сопротивления резистора *R5* - диапазон изменения тональности, продолжительность звука той или иной тональности - от емкости конденсаторов *C1* и *C4*. Конденсаторы *C2*, *C3* (их в схеме может не быть) позволяют избавиться от искажений звука влиянием второго генератора на работу первого. Вместо него можно поставить неполярный (неоксидный) конденсатор емкостью около 5 мкФ. Но они имеют весьма крупные размеры. Однако при включении последовательно друг с другом двух полярных (оксидных) конденсаторов одноименными электродами, получается один неполярный конденсатор, имеющий общую емкость вдвое меньше,

чем емкость каждого из них.

Возможный вариант печатной платы электронной сирены показан на рис. 20-8-2.

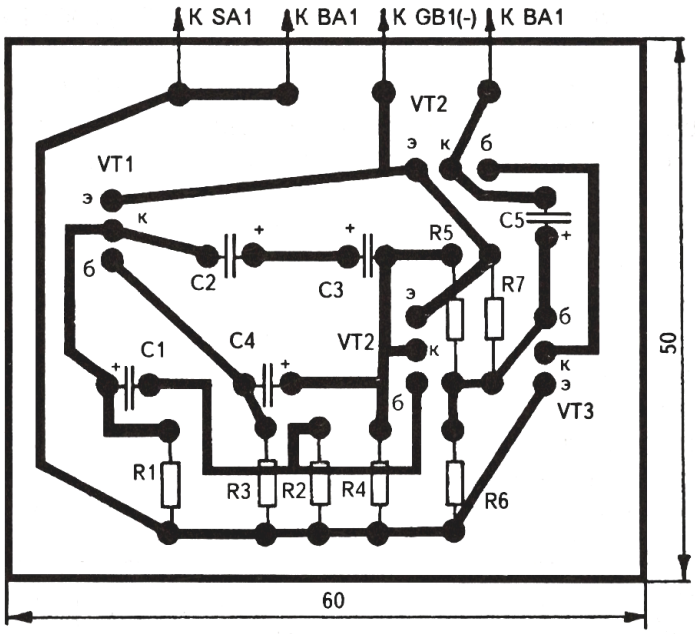
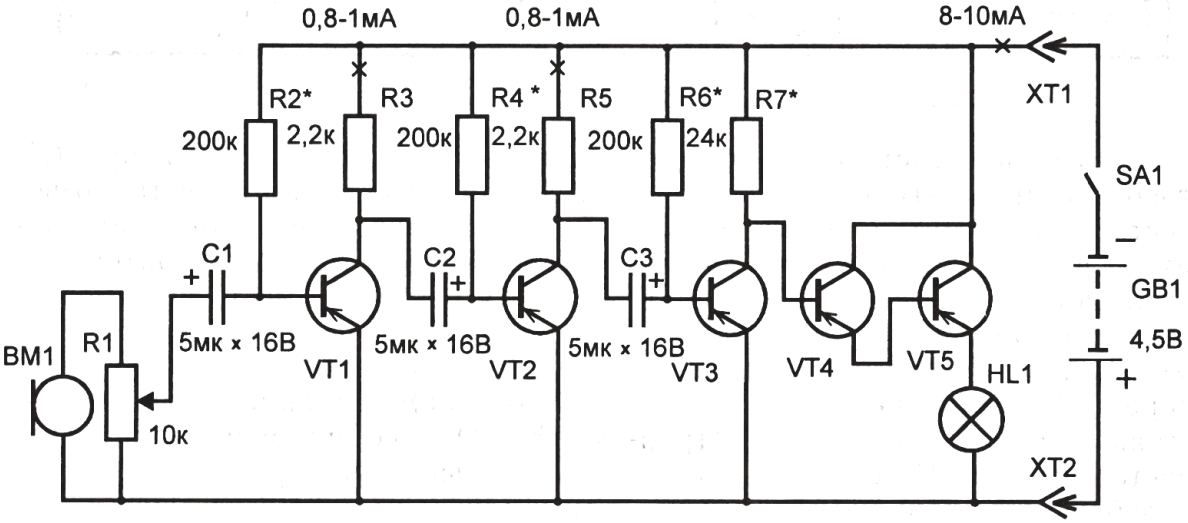


Рис. 20-8-2

§ 20-9. ЭЛЕКТРОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Интерферометр звуковых волн, принципиальная схема которого показана на рисунке 20-9-1, представляет собой четырехкаскадный усилитель, собранный на транзисторах *VT1-VT5*. Первые три каскада усилителя аналогичны друг другу и собраны по схеме с общим эмиттером.

Оптимальный режим усиления этих каскадов подбирается резисто-



VT1-VT4 - КТ209В, VT5 - П213, П214, HL1 - МН2,5 х 0,15А

Рис. 20-9-1

рами *R2*, *R4*, и *R6*, обеспечивающими отрицательные напряжения смещения на базах соответствующих транзисторов. Конденсатор *C1* разделяет вход первого каскада, а конденсаторы *C2* и *C3* - каскады усилителя по постоянному току.

Выходной каскад состоит из составного транзистора *VT4-VT5*, включается по схеме эмиттерного повторителя, имеет непосредственную связь с предыдущим каскадом. Режим его работы подбирается резистором *R7*. Его значение зависит от применяемых транзисторов и лампы *HL1*. От этого резистора зависит сила тока покоя усилителя, которая при отсутствии входного сигнала должна составлять 8-10 мА.

В схеме для регулирования уровня входного сигнала применен переменный резистор *R1*. Роль микрофона играет капсюль телефона ТОН-2.

Перед демонстрацией устройства переменным резистором *R1* подбирают такой уровень входного сигнала, чтобы лампа *HL1* надежно загоралась при появлении звуковых сигналов.

Хорошо настроенный усилитель обладает большой чувствительностью. В пределах классной комнаты он реагирует на звуковые сигналы с любого расстояния.

Блок интерферометра звуковых волн питается от батареи элементов 4,5 В.

Чертеж печатной платы усилителя показан на рисунке 20-9-2.

Демонстрацию интерференции звуковых волн проводят следующим образом. К выходу звукового генератора подключают две громкоговорящие динамические головки на подставке (или две акустические колонки) и располагают их на расстоянии 1 м друг от друга на демонстрационном столе (рис. 20-9-3). Частота генератора может быть в пределах 400-800 Гц. При этом в классном помещении от динамиков распространяются когерентные звуковые волны, которые

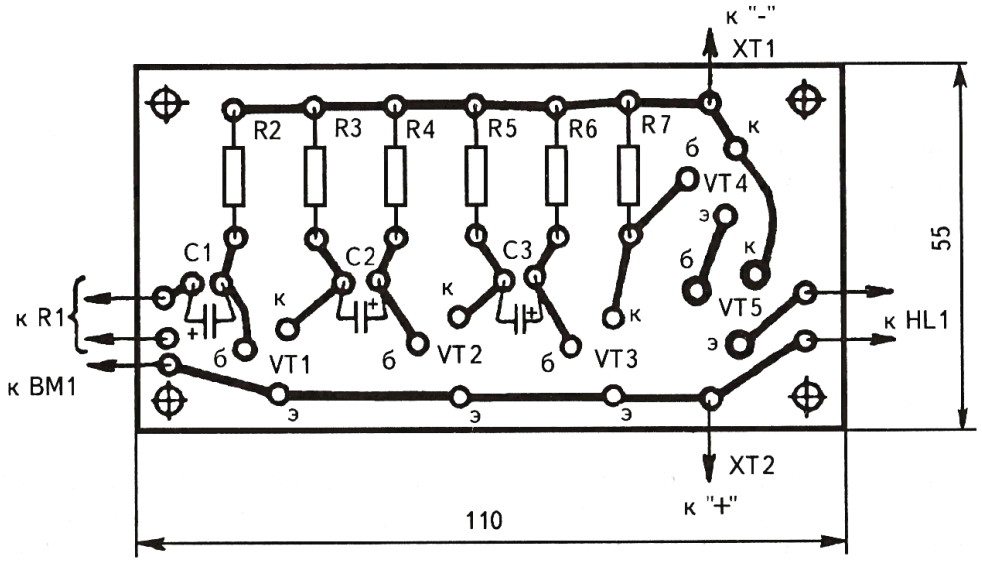


Рис. 20-9-2

накладываясь друг на друга, приводят к интерференции.

Если с вышеописанным электронным интерферометром перемещаться по классу перед динамиками, то можно обнаружить, что в некоторых местах лампа интерферометра загорается ярко, а в некоторых гаснет. Этот факт свидетельствует о максимумах и минимумах слышимости, возникающих в результате явления интерференции когерентных звуковых волн.

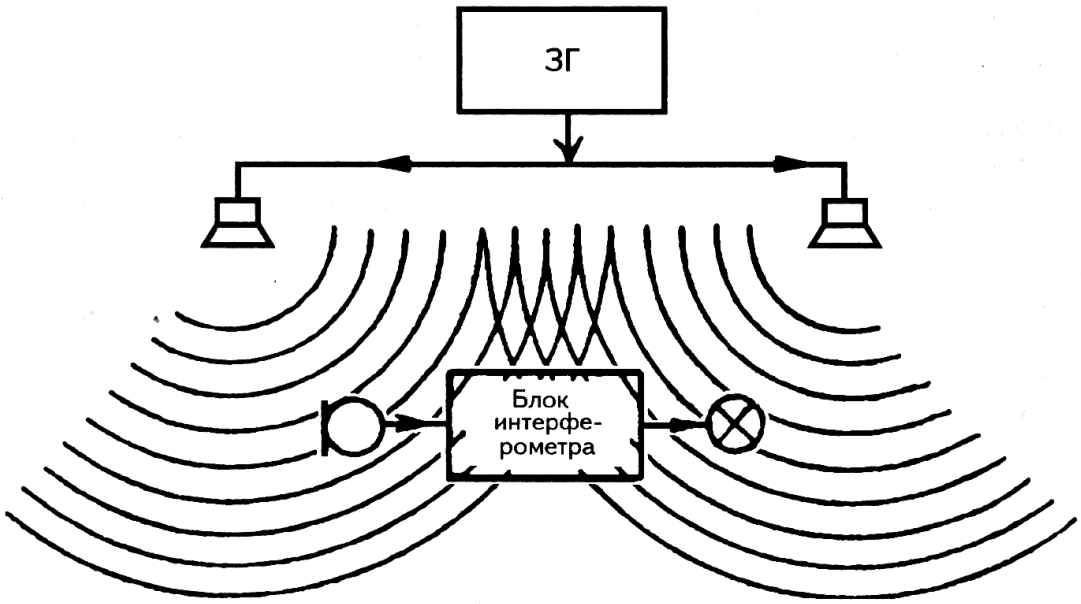


Рис. 20-9-3

Глава 21

Учителю

§ 21-1. ПРИМЕРЫ СОСТАВЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ПРОВЕРКИ УСВОЕНИЯ ИЗУЧЕННОГО МАТЕРИАЛА

Мы предлагаем исследовать содержимое "черных ящиков" и установить их электрические схемы, используя только предлагаемое оборудование. Схемы "черных ящиков" можно составить из деталей описанного в данной книге комплекта "Экспериментальные задания по электродинамике", используя макетную плату с пружинными контактами.

Варианты решения заданий даны в § 21-2.

Задание 1 (8 кл.). Что находится в "черном ящике" (рис. 21-1-1), который имеет выводы A и B?

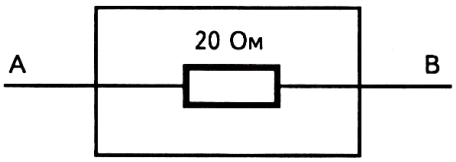


Рис. 21-1-1

Оборудование: амперметр, вольтметр, макетная плата, источник питания 4 - 6 В, соединительные провода - 6 шт.

Задание 2 (8 кл.). Установите электрическую схему "черного ящика" (рис. 21-1-2).

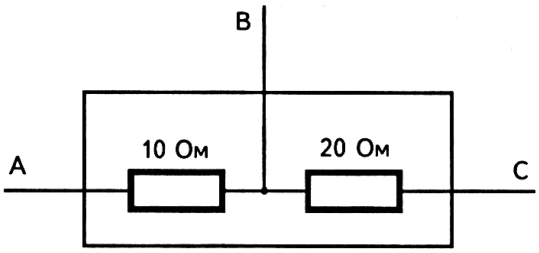


Рис. 21-1-2

Оборудование: амперметр, вольтметр, макетная плата, источник питания 4 - 6 В, соединительные провода - 6 шт.

Задание 3 (8 кл., 10 кл.). Над крышей "черного ящика" (рис. 21-1-3), который имеет три вывода, выступают цоколи трех миниатюрных ламп накаливания (МН 6,3 В х 0,3 А). Определите, как соединены лампы между собой.

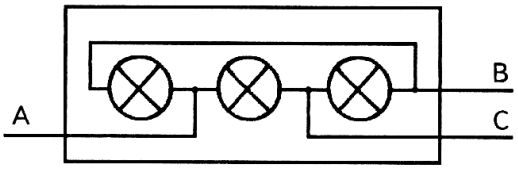


Рис. 21-1-3

Оборудование: источник питания 4 - 6 В.

Задание 4 (8 кл., 10 кл.). Над крышей "черного ящика" (рис. 21-1-4), который имеет три вывода, выступают цоколи трех миниатюрных ламп накаливания (МН 6,3 В х 0,3 А). Определите, как соединены лампы между собой.

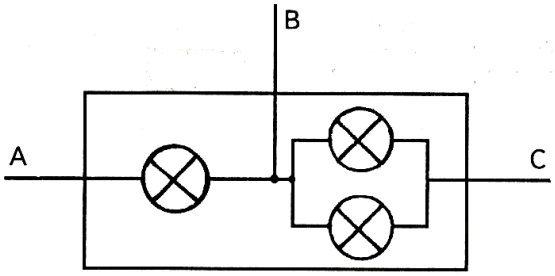


Рис. 21-1-4

Оборудование: источник питания 4 - 6 В.

Задание 5 (8 кл., 10 кл.). Над крышей "черного ящика" (рис. 21-1-5), который имеет три вывода, выступают цоколи трех минатюрных ламп накаливания (МН 6,3 В х 0,3 А). Определите, как соединены лампы между собой.

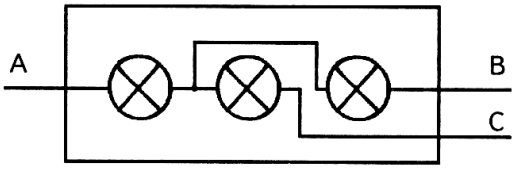


Рис. 21-1-5

Оборудование: батарея элементов 4,5 В.

Задание 6 (8 кл., 10 кл.). В "черном ящике" (рис. 21-1-6) находятся три резистора с одинаковыми сопротивлениями.

Как они соединены между собой?

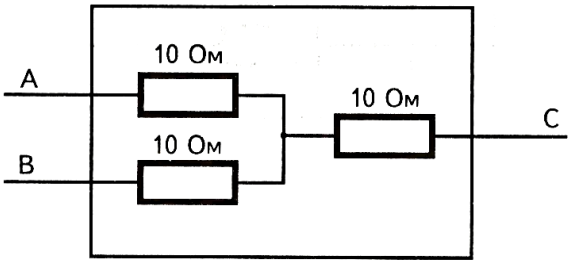


Рис. 21-1-6

Оборудование: источник питания 4 - 6 В, вольтметр 6 В.

Задание 7 (8 кл., 10 кл.). В "черном ящике" (рис. 21-1-7) находятся две лампы МН 6,3 В х 0,3 А и переменный резистор. Цоколи ламп и ручка движка резистора выступают над крышей ящика. Определите схему соединения.

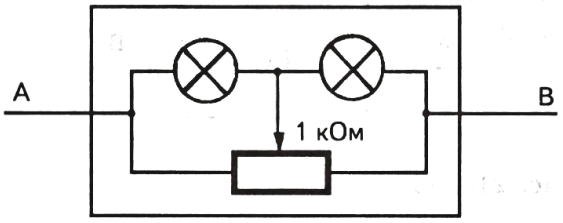


Рис. 21-1-7

Оборудование: источник питания 4 - 6 В.

Задание 8 (10 кл.). Определите, что находится в "черном ящике" (рис. 21-1-8).

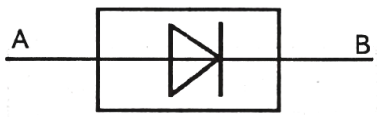


Рис. 21-1-8

Оборудование: миллиамперметр 5/50 мА, медная и цинковая (алюминиевая) пластины размерами 2 х 2 см, кусочек бумаги, соединительный провод - 3 шт.

Задание 9 (10 кл.). Установите электрическую схему "черного ящика" (рис. 21-1-9).

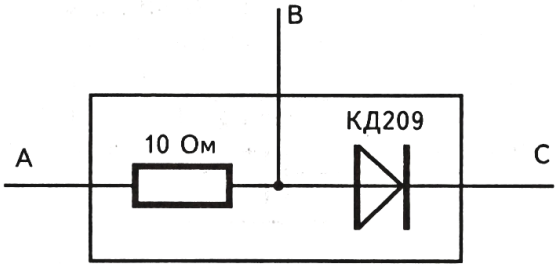


Рис. 21-1-9

Оборудование: лампа накаливания МН 6,3 В х 0,3 А, источник постоянного тока 4 - 6 В, макетная плата, соединительные провода - 2 шт.

Задание 10 (10 кл). Определите, какие радиоэлементы находятся в "черном ящике" (рис. 21-1-10), из какого материала они сделаны и как соединены между собой.

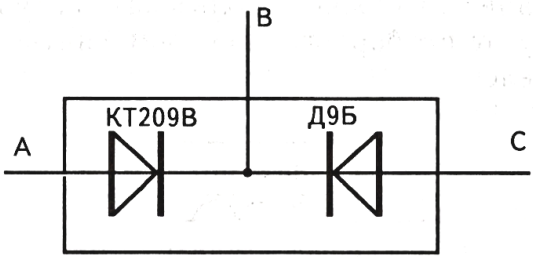


Рис. 21-1-10

Оборудование: источник питания 1,5 В (элемент), переменный резистор1 кОм, вольтметр 6 В, миллиамперметр 50 мА, макетная плата, соединительные провода - 6 шт.

Задание 11 (10 кл.). Установите, какая радиодеталь находится в "черном ящике" (рис. 21-1-11).

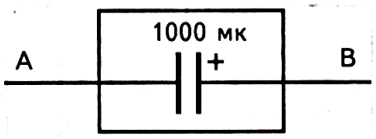


Рис. 21-1-11

Оборудование: источник постоянного тока 4 - 6 В, светодиод с ограничительным резистором (можно заменить вольтметром).

Задание 12 (11 кл.). Определите, какая радиотехническая деталь находится в "черном ящике" (рис. 21-1-12) и вычислите характерную ей физическую величину.
Примечание: в данном задании и задании 14 можно использовать катушку от разборного электромагнитного реле.

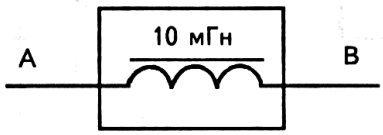


Рис. 21-1-12

Оборудование: звуковой генератор, миллиамперметр переменного тока, вольтметр переменного тока (можно заменить осциллографом), макетная плата, соединительные провода.

Задание 13 (11 кл.). Установите, какая радиотехническая деталь находится в "черном ящике" (рис. 21-1-13) и определите присущую ей физическую величину.

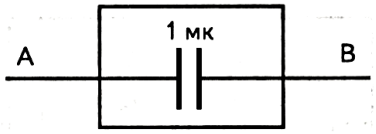


Рис. 21-1-13

Оборудование: звуковой генератор, осциллограф с масштабной сеткой на экране, миллиамперметр переменного тока, макетная плата, соединительные провода.

Задание 14 (11 кл.). Установите электрическую схему "черного ящика" (рис. 21-1-14) и определите физические величины, характерные всей цепи и отдельным ее участкам.

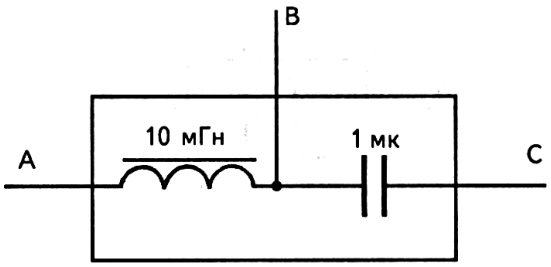


Рис. 21-1-14

Оборудование: звуковой генератор (лучше с цифровой индикацией частоты), вольтметр переменного тока, миллиамперметр переменного тока, макетная плата, соединительные провода.

§ 21-2. ВОЗМОЖНЫЕ СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖИМОГО "ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ"

Задание 1. Для установления содержимого ящика собираем электрическую цепь по рис. 21-2-1, где по показаниям приборов на основании закона Ома для участка цепи определяем сопротивление между выводами A и B. Полученный результат 20 Ом говорит о том, что в ящике находится резистор.

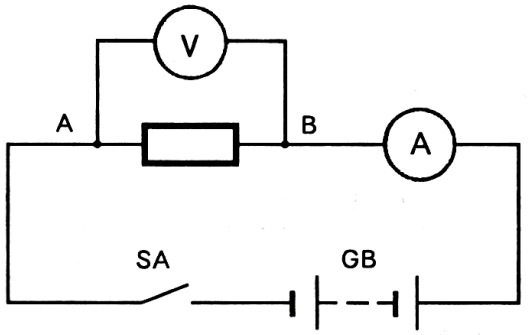


Рис. 21-2-1

Задание 2. Включая вместо участка R_X (рис. 21-2-2) выводы AB, BC, AC, определяем сопротивления участков.

Обращаем внимание на то, что $R_{AC} = R_{AB} + R_{BC}$. Причем оба участка примыкают к выводу B. Эти факты позволяют установить схему соединений элементов ящика.

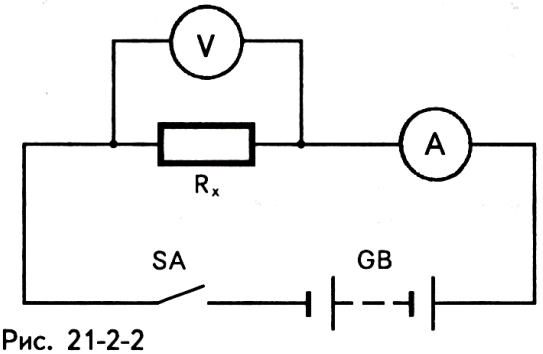


Рис. 21-2-2

Задание 3. Для исследования содержимого ящика к выводам AB, BC, AC поочередно включаем источник питания. В каждом случае одна лампа горит ярко, а две другие горят тускло. Причем, каждый раз это разные лампы. Из этого следует, что лампы соединены по схеме «треугольника», к вершинам которого подключены выводы.

Задание 4. Подключая поочередно выводы ящика попарно к источнику питания, приходим к выводу о том, что электрическая цепь состоит из участков AB (одна лампа) и BC (две лампы), которые образуют общий участок AC. Причем, вывод B является общим для обоих участков.

Задание 5. При подключении источника питания к любым двум выводам горят две лампы. Это возможно тогда, когда они соединены "звездой". Чтобы удостовериться в этом, включаем один электрод источника питания к любому выводу ящика, а другой электрод - к двум другим объединенным выводам.

Задание 6. Схему ящика устанавливаем по сравнению напряжений между выводами A, B, C при разных

комбинациях включения источника питания. Один из вариантов включения питания и распределение напряжений между выводами показано на рис. 21-2-3.

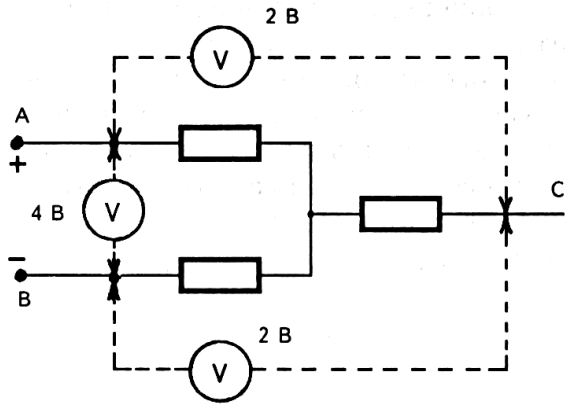


Рис. 21-2-3

Задание 7. Следя за изменением яркости ламп при вращении ручки переменного резистора в ту или иную сторону после включения питания, определяем схему соединения.

Задание 8. Проложив пропитанную слюной бумагу между цинковой и медной пластинами, изготавливаем источник тока. Подключая его к миллиамперметру, убеждаемся, что медная пластина элемента служит положительным электродом. Теперь, присоединяя в разной полярности к выводам "черного ящика" цепочку, собранную из источника питания и миллиамперметра, приходим к выводу о том, что исследуемый прибор является диодом.

Задание 9. Включая к выводам ящика цепочку, состоящую из источника тока и лампы, в разной полярности (рис. 21-2-4), определяем, что его электрическая схема состоит из участка небольшим сопротивлением, соизмеримым с сопротивлением лампы, и диода, обладающего односторонней проводимостью.

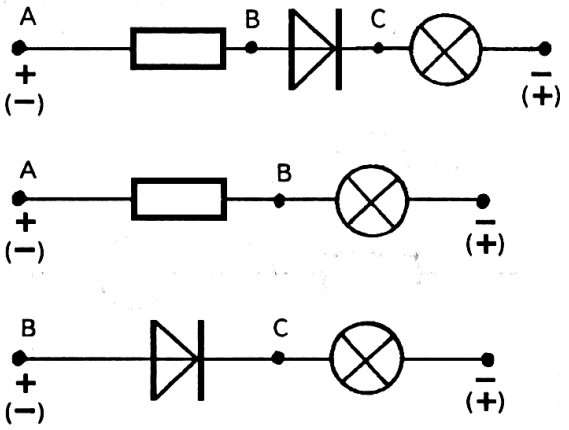


Рис. 21-2-4

Причем анод диода соединен с резистором и выводом В. Чтобы удостовериться в справедливости догадки, можно собрать еще несколько схем по рис. 21-2-5.

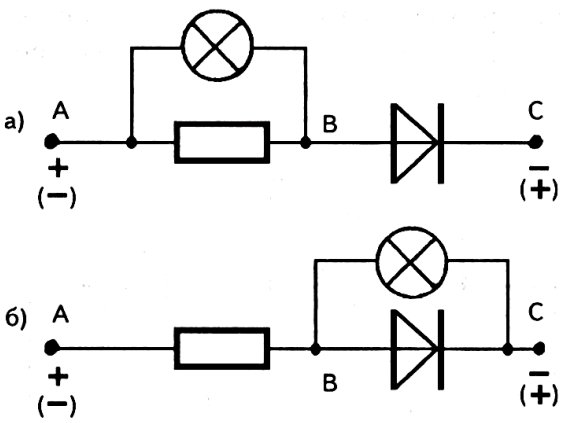


Рис. 21-2-5

Задание 10. Используя прилагаемое оборудование, выясняем, что в ящике находятся два диода, катоды которых соединены с выводом В. Чтобы определить материалы, из которых они сделаны, собрав по рис. 21-2-6 установку, снимаем их вольт-амперные характеристики (рис. 21-2-7).

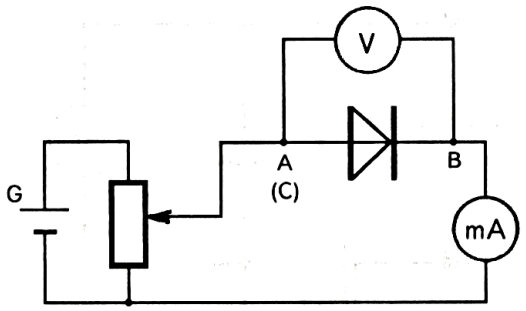


Рис. 21-2-6

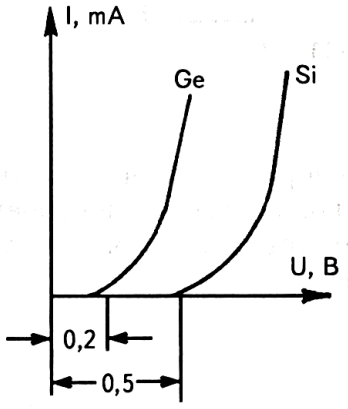


Рис. 21-2-7

По "ступенькам" в нижней части графика узнаем, что один диод сделан из германия (он открывается при напряжении 0,2 В), а другой - из кремния (разность потенциалов запирающего слоя составляет 0,5 В).

Задание 11. В том, что "черном ящике" находится конденсатор - накопитель электрической энергии, можно убедиться, наблюдая процесс его зарядки (рис. 21-2-8) при включении цепи и процесса разрядки при отключении от источника питания (рис. 21-2-9).

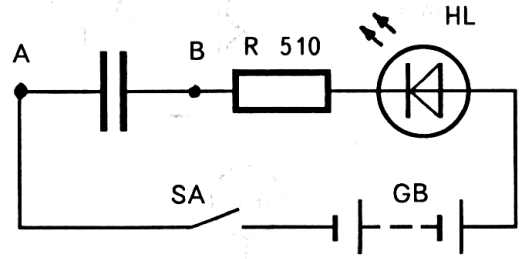


Рис. 21-2-8

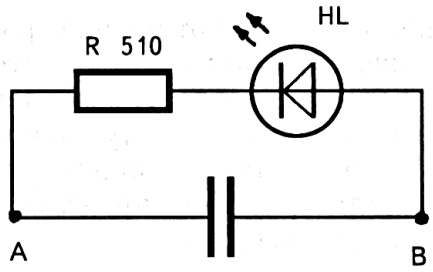


Рис. 21-2-9

Задание 12. Установка, собранная по рис. 21-2-10, позволяет изучить зависимость сопротивления ящика переменному току от его частоты.

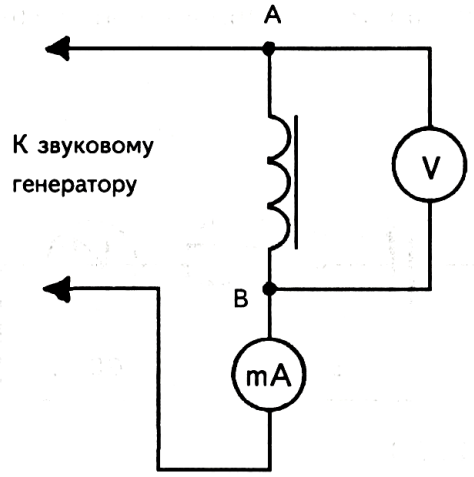


Рис. 21-2-10

Задание 13. По установке, собранной по рис. 21-1-11, определяем, что сопротивление исследуемого прибора уменьшается с увеличением частоты тока, даваемого звуковым генератором.

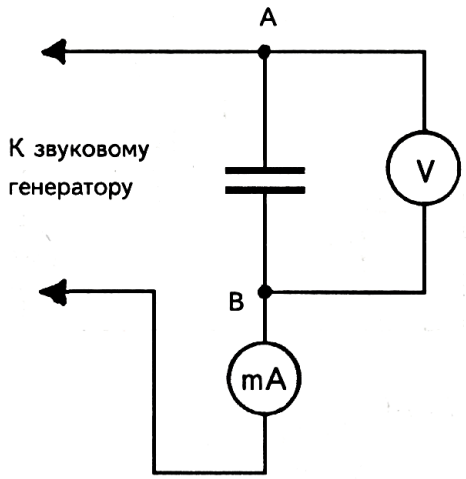


Рис. 21-2-11

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 определяем индуктивность катушки:

$$\begin{cases} X_L = \dfrac{U}{I} \\ X_L = 2\pi\nu L \end{cases} \qquad L = \frac{U}{I2\pi\nu}$$

Это говорит о том, что в ящике находится конденсатор, электроемкость которого определяется следующим образом:

$$\begin{cases} X_C = \dfrac{U}{I} \\ X_L = \dfrac{1}{2\pi\nu C} \end{cases} \qquad C = \frac{I}{2\pi\nu U}$$

Задание 14. Для определения содержимого ящика по установке, собранной по рис. 21-2-12, исследуем зависимость силы тока между выводами AB, BC, AC при постоянном выходном напряжении звукового генератора, которое контролируется по масштабной сетке осциллографа.

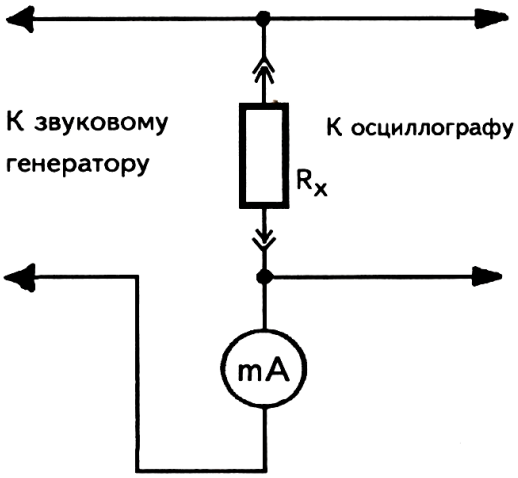


Рис. 21-2-12

По полученным данным строим графики $I = f(\nu)$ (рис. 21-2-13) и убеждаемся, что участок AB представляет собой катушку, BC - конденсатор, AC - последовательный колебательный контур с явно выраженной резонансной частотой, при которой участок AC обладает наименьшим сопротивлением.

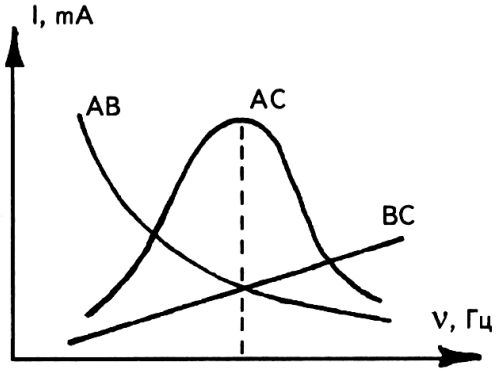


Рис. 21-2-13

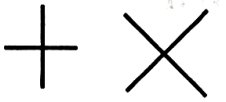
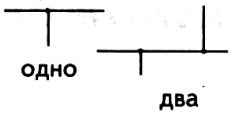
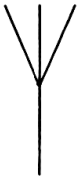
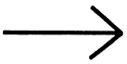
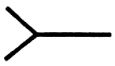
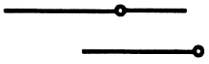
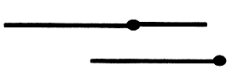
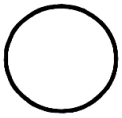
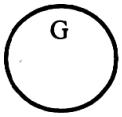
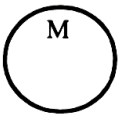
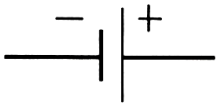
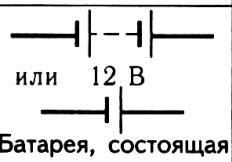
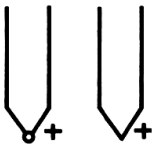
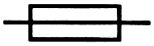
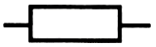
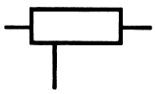
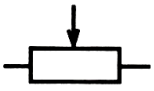
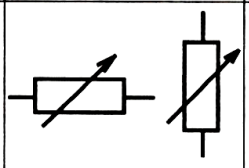
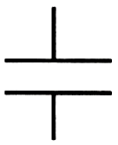
Способы определения индуктивности катушки и емкости конденсатора понятны из заданий 12 и 13. Значение напряжения определяется по масштабной сетке осциллографа.

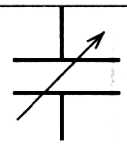
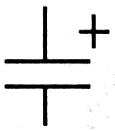
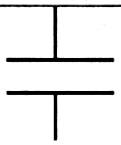
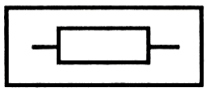
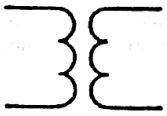
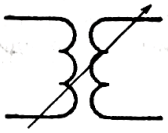
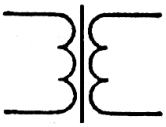
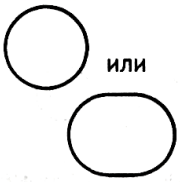
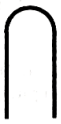
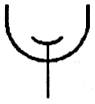
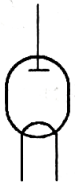
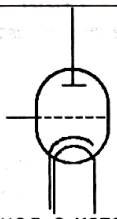
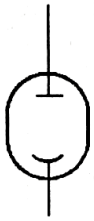
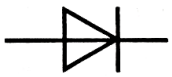
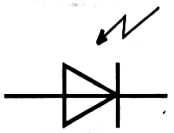
Для заметок

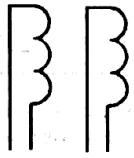
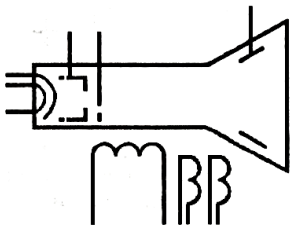
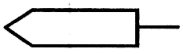
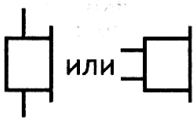
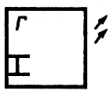
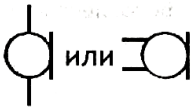
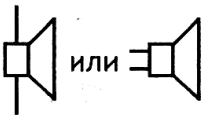
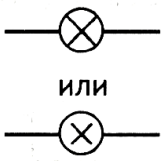
Для заметок

Приложения

Условные графические обозначения в электрорадиосхемах

Линия электрической связи (провод, кабель)	 Графическое пересечение двух проводов, электрически несоединенных	 Линия электрической связи с ответвлениями	 Соединение с корпусом	 Заземление
 Антенна	 Контакт замыкающий, выключатель	 Контакт разъемного соединения (штырь)	 Контакт разъемного соединения (гнездо)	 Соединение контактное разъемное
 Контакт разборного соединения (зажим)	 Контакт неразборного соединения	 общее обозначение	 генератор	 двигатель
		Машина электрическая		
 Гальванический элемент, (знаки полярности допускается не указывать)	 Батарея, состоящая из гальванических элементов (число должно указывать напряжение батареи)	 Термопара (термоэлемент)	 Предохранитель плавкий	 Резистор постоянный
 Резистор постоянный с отводом	 Регулирование (общее обозначение)	 Резистор переменный	 Резистор переменный (допускаемое изображение)	 Конденсатор постоянной емкости

 Конденсатор переменной емкости	 Конденсатор электролитический полярный	 Конденсатор электролитический неполярный	 Электронагреватель сопротивления (электроплитка, утюг и т.п.)	 Обмотка трансформатора, дросселя
 Трансформатор без магнито-провода с постоянной связью	 Трансформатор без магнито-провода с переменной связью	Магнитодиэлек-трический магнитопровод	Ферромагнитный магнитопровод	 Трансформатор с ферромагнитным магнитопроводом
 Катушка индуктивности (дроссель)	 Дроссель с ферромагнитным магнитопроводом	 Баллон электронного прибора	 Анод электронной лампы	 Анод рентгеновской трубки
 Катод прямого накала	Катод косвенного накала с подогревателем	Сетка	 Катод фотоэлектронный	 Диод прямого накала
 Диод косвенного накала	 Триод с катодом косвенного накала	 Фотоэлемент электронный	 Диод полупроводниковый	 Фотодиод полупроводниковый
 Транзистор типа n-p-n	 Транзистор типа p-n-p	 Электромагнитная система фокусировки электронно-лучевого прибора	Фокусирующий электрод (анод электронной пушки)	 Управляющий электрод

 в одном направлении  в двух взаимно перпендикулярных направлениях Катушка электромагнитного отклонения электронно-лучевых приборов		 Трубка осциллографическая с электромагнитной фокусировкой и электромагнитным отклонением в двух взаимно перпендикулярных направлениях		
 Звонок электрический	 Гальванометр	 Миллиамперметр	 Вольтметр	 Омметр
 Головка акустическая	 Амперметр	 Микроамперметр	 Милливольтметр	 Мегаомметр
 Частотомер	 Осциллограф	 Телефон	 Постоянный ток	 Счетчик ватт-часов
 Лазер	 Микрофон	 Переменный ток	 Лампа дуговая	 Громкоговоритель
 Электрическая лампа накаливания	Примечание. Отдельным составным частям (элементам) электрических цепей присвоены следующие буквенные обозначения: **R** — резисторы; **C** — конденсаторы; **L** — катушки индуктивности; **M** — двигатели; **T** — трансформаторы; **B** — преобразователи неэлектрических величин в электрические (термопары, фотоэлементы, громкоговорители, микрофоны, звукосниматели); **G** — источники питания (электрохимические, термоэлектрические); **GB** — батареи (аккумуляторные); **K** — реле; **P** — приборы и измерительные устройства; **PA** — амперметры; **PV** — вольтметры; **S** — выключатели, кнопки, переключатели; **W** — антенны; **V** — электровакуумные и полупроводниковые приборы; **F** — предохранители; **H** — лампы накаливания; **X** — разъемные соединения.			

Диод, вещество	$I_{ВЫПР.МАХ}$, мА	$U_{ОБР.МАХ}$, В	Диод, вещество	$I_{ВЫПР.МАХ}$, мА	$U_{ОБР.МАХ}$, В
ТОЧЕЧНЫЕ, УНИВЕРСАЛЬНЫЕ					
Д2Б,Ge	16	10	Д9Г,Ge	80	30
Д2В,Ge	25	30	Д9Д,Ge	80	30
Д2Г,Ge	16	50	Д9Е,Ge	54	50
Д2Д,Ge	16	50	Д9Ж,Ge	38	100
Д2Е,Ge	16	100	Д9И,Ge	80	120
Д2Ж,Ge	8	150	Д9К,Ge	80	60
Д2И,Ge	16	100	Д9Л,Ge	38	100
Д9А,Ge	65	10	Д9М,Ge	80	30
Д9Б,Ge	105	10	Д18,Ge	16	50
Д9В,Ge	54	30	Д20,Ge	16	100
СПЛАВНЫЕ, ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ					
Д7А,Ge	300	50	Д226Б,Si	300	400
Д7Б,Ge	300	100	Д226В,Si	300	300
Д7В,Ge	300	150	Д226Г,Si	300	200
Д7Г,Ge	300	200	Д226Д,Si	300	100
Д7Д,Ge	300	300	Д242,Si	10000	100
Д7Е,Ge	300	350	Д242Б,Si	5000	100
Д7Ж,Ge	300	400	Д243,Si	10000	200
Д202,Si	400	100	Д243Б,Si	5000	200
Д203,Si	400	200	Д245,Si	10000	300
Д204,Si	400	300	Д246,Si	10000	400
Д205,Si	400	400	Д246Б,Si	5000	400
Д207,Si	100	200	Д247,Si	10000	500
Д208,Si	100	300	Д247Б,Si	5000	600
Д209,Si	100	400	Д302,Si	1000	200
Д210,Si	100	500	Д303,Si	3000	150
Д211,Si	100	600	Д304,Si	5000	100

Примечание.

Диоды серии Д9 маркируются точками или кольцами на корпусе: Д9Б - красными, Д9В - оранжевыми, Д9Г - желтыми, Д9Д - белыми, Д9Е - голубыми, Д9Ж - зелеными, Д9И - двумя желтыми, Д9К - двумя белыми, Д9Л - двумя зелеными, Д9М - двумя голубыми.

Положительный вывод обозначается красной точкой.

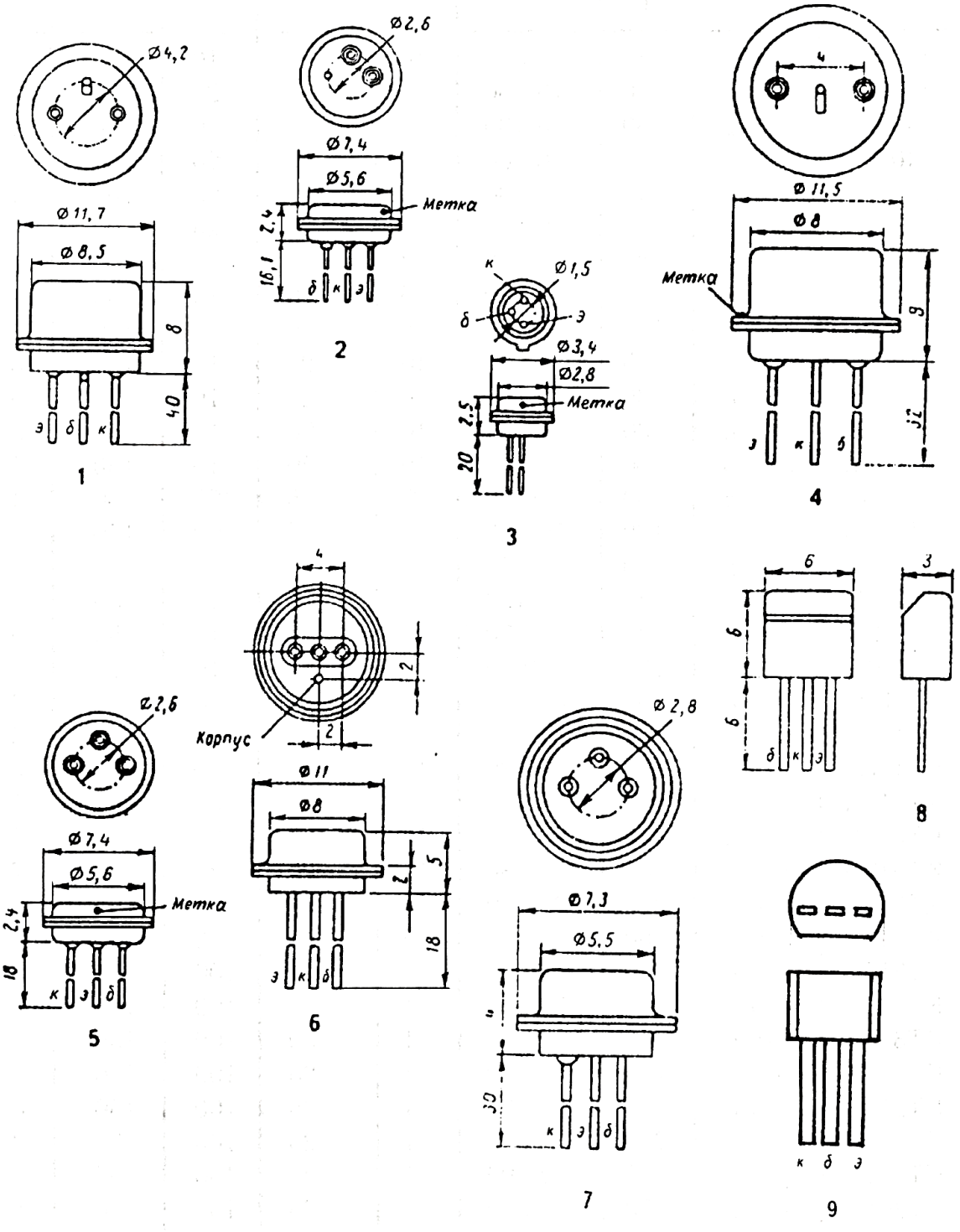
Низкочастотные транзисторы малой мощности

Прибор	Тип	$f_{гр}$, МГц	$h_{21э}$	$I_{кбо}$, мкА	$U_{кэ\ max}$, В	$I_{к\ max}$, мА	$Р_{к\ max}$, мВт	Рис.
МП25	p-n-p	0,2	13-25	75	40	300	200	1
МП25А	p-n-p	0,2	20-40	75	40	400	200	1
МП25Б	p-n-p	0,5	30-80	75	40	400	200	1
МП26	p-n-p	0,2	13-25	75	70	300	200	1
МП26А	p-n-p	0,2	20-50	75	70	400	200	1
МП26Б	p-n-p	0,5	30-80	75	70	400	200	1
П27	p-n-p	1,0	20-100	3	5	6	30	1
П27А	p-n-p	1,0	20-70	3	5	6	30	1
П28	p-n-p	5,0	20-200	3	5	6	30	1
МП35	n-p-n	0,5	5-25	30	15	20	150	1
МП36А	n-p-n	1,0	6-45	30	15	20	150	1
МП37	n-p-n	1,0	6-30	30	15	20	150	1
МП37А	n-p-n	1,0	6-30	30	30	20	150	1
МП37Б	n-p-n	1,0	8-50	30	30	20	150	1
МП38	n-p-n	2,0	8-55	30	15	20	150	1
МП38А	n-p-n	2,0	17-100	30	15	20	150	1
МП39	p-n-p	0,5	>12	15	10	20	150	1
МП39Б	p-n-p	0,5	20-60	15	10	20	150	1
МП40	p-n-p	1,0	20-40	15	10	20	150	1
МП40А	p-n-p	1,0	20-40	15	30	20	150	1
МП41	p-n-p	1,0	30-60	15	10	20	150	1
МП41А	p-n-p	1,0	50-100	15	10	20	150	1
МП42	p-n-p	1,0	20-35	25	15	150	200	1
МП42А	p-n-p	1,0	30-50	25	15	150	200	1
МП42Б	p-n-p	1,0	40-100	25	15	150	200	1
ГТ108А	p-n-p	0,5	20-50	10	10	50	75	2
ГТ108Б	p-n-p	1,0	35-80	10	10	50	75	2
ГТ109А	p-n-p	1,0	20-50	5	6	20	30	3
КТ209А	p-n-p	5,0	45		15	300	200	9
КТ209Б	p-n-p	5,0	80		15	300	200	9
КТ209В	p-n-p	5,0	150		15	300	200	9
МП112	n-p-n	0,5	15-45	3	10	20	150	1
МП113	n-p-n	1,0	15-45	3	10	20	150	1
МП114	p-n-p	0,1	>9	10	60	10	150	1
МП115	p-n-p	0,1	9-45	10	30	10	150	1

Высокочастотные транзисторы малой мощности

Прибор	Тип	$f_{гр}$, МГц	$h_{21э}$	$I_{кбо}$, мкА	$U_{кэ\ max}$, В	$I_{к\ max}$, мА	Рк max, мВт	Рис.
П401	p-n-p	30	16-300	10	10	10	100	4
П402	p-n-p	50	16-250	5	10	20	100	4
П403	p-n-p	100	30-100	5	10	20	100	4
П403А	p-n-p	80	16-200	5	10	20	100	4
П416	p-n-p	40	20-80	3	12	25	100	4
П416А	p-n-p	60	60-125	3	12	25	100	4
П416Б	p-n-p	80	90-250	3	12	25	100	4
П422	p-n-p	50	30-100	5	10	10	100	4
П423	p-n-p	100	30-100	5	10	10	100	4
КТ301	n-p-n	30	20-60	10	20	10	150	5
КТ301А	n-p-n	30	40-120	10	20	10	150	5
КТ301Б	n-p-n	30	10-32	10	20	10	150	5
КТ301В	n-p-n	30	20-60	10	20	10	150	5
КТ308А	p-n-p	90	20-75	2	15	50	150	4
КТ308Б	p-n-p	120	50-120	2	15	50	150	4
ГТ309А	p-n-p	120	20-70	5	10	10	50	5
ГТ309Б	p-n-p	120	60-180	5	10	10	50	5
ГТ309В	p-n-p	80	20-70	5	10	10	50	5
ГТ310А	p-n-p	160	20-70	5	10	10	20	3
ГТ310Б	p-n-p	160	60-180	5	10	10	20	3
ГТ310В	p-n-p	120	20-70	5	10	10	20	3
ГТ311Е	n-p-n	250	15-80	10	12	50	150	6
КТ312А	n-p-n	80	10-100	10	20	30	150	7
КТ312Б	n-p-n	80	25-100	10	35	30	150	7
КТ312В	n-p-n	80	50-280	10	20	30	150	7
КТ313А	p-n-p	300	20-250	5	12	30	100	6
КТ313Б	p-n-p	450	20-250	5	12	30	100	6
КТ315А	n-p-n	250	20-90	1	20	100	150	8
КТ315Б	n-p-n	250	50-350	1	15	100	150	8
КТ315В	n-p-n	250	20-90	1	30	100	150	8
КТ315Г	n-p-n	250	50-350	1	25	100	150	8
КТ315Д	n-p-n	250	20-90	1	25	100	150	8
КТ315Е	n-p-n	250	50-350	1	25	100	150	8
КТ361А	p-n-p	250	20-90	1	25	100	150	8
КТ361Б	p-n-p	250	50-350	1	25	100	150	8

Конструкция (цоколевка) выводов транзисторов (к стр. 200, 201)



Литература

Борисов В.Г.
Юный радиолюбитель.
М.: Радио и связь, 1985.

Головин П.П.
Практическая электродинамика.
Ульяновск: Областное газетное издательство, 1994.

Головин П.П.
Лабораторные работы и практикум по электродинамике.
Ульяновск: Рекламно-издательский центр «Реклама», 1995.

Головин П.П.
Школьный физико-технический кружок.
М.: Просвещение, 1991.

Дик Ю.И. и др.
Физический практикум для классов с углубленным изучением физики.
М.: Просвещение, 1993.

Иванов Б.С.
Самоделки юного радиолюбителя.
М.: Издательство ДОСААФ СССР, 1988.

Содержание

Глава1

Введение 5

§ 1-1. 0 комплекте “Учимся радиоэлектронике” 5
§ 1-2. Система интернациональная (СИ) - международная система единиц 6
§ 1-3. Физические величины обозначаются буквами греческого и латинского алфавитов 8

Глава 2

Электрический разряд. Электризация тел 9

§ 2-1. При натирании многие вещества электризуются 9
§ 2-2. В природе существует два вида электричества 10
§ 2-3. Вокруг заряженных тел существует электрическое поле, а между зарядами действуют электрические силы 11
§ 2-4. Кулон - единица измерения электрического заряда. 12
§ 2-5. Электрон - частица с наименьшим зарядом. 12
§ 2-6. Атом - мельчайшая частица вещества 13
§ 2-7. Из атомов получаются ноны, а из ионов образуются молекулы . . . 13
§ 2-8. Как происходит электризация тел 14
§ 2-9. Что удерживает электроны вокруг ядра? 15

Глава 3

Электрический ток. Источники тока 16

§ 3-1. Электрический ток - это направленное движение заряженных частиц 16
§ 3-2. Электропроводность веществ зависит от наличия в них свободных зарядов 17
§ 3-3. В источниках тока заряды разделяются на положительные и отрицательные 19

§ 3-4. Химические источники тока самые простые, их можно сделать самому 20
§ 3-5. Элемент Лекланше - очень распространенный химический источник тока 23

Глава 4

Электродвижущая сила. Потенциал. Напряжение 24

§ 4-1. Электродвижущая сила - это способность источника тока создавать электрический ток 24
§ 4-2. Электрический потенциал - характеристика энергии электрического поля 25
§ 4-3. Нулевой потенциал - это потенциал Земли 26
§ 4-4. Напряжение - это разность потенциалов 26

Глава 5

Электрическая цепь. Сопротивление. Закон Ома. Измерение силы тока, напряжения, ЭДС 27

§ 5-1. Электрическая цепь - это путь движения электрических зарядов 27
§ 5-2. Электрическое сопротивление - это характеристика противодействия проводника движению зарядов 28
§ 5-3. Закон Ома для участка цепи показывает зависимость между током, напряжением и сопротивлением 29
§ 5-4. Закон Ома для полной цепи показывает зависимость силы тока от ЭДС источника и общего сопротивления 29
§ 5-5. Человек - проводник тока 31
§ 5-6. Короткое замыкание внешней цепи опасно для источника питания 31
§ 5-7. Амперметр - прибор для измерения силы тока, вольтметр - прибор для измерения напряжения 32
§ 5-8. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника питания 35

Глава 6

Резисторы 36

§ 6-1. Резисторы - это специальные приборы, оказывающие сопротивление электрическому току 36
§ 6-2. Переменный резистор служит для плавного регулирования

силы тока и напряжения 41
§ 6-3. Переменный резистор как делитель напряжения 43
§ 6-4. Вольт-амперная характеристика - это зависимость силы тока от напряжения 44

Глава 7

Последовательное, параллельное и смешанное соединения 47

§ 7-1. Последовательное соединение - это такая цепь, где ток поочередно обходит все участки 47
§ 7-2. Параллельное соединение - это такая цепь, где ток течет одновременно по всем участкам 52
§ 7-3. Последовательное соединение- делитель напряжения, параллельное соединение-делитель тока 57
§ 7-4. Смешанное соединение проводников - это комбинация последовательного и параллельного соединений 60
§ 7-5. Источники питания можно соединять последовательно, параллельно и смешанно 62

Глава 8

Электроизмерительные приборы: амперметр, вольтметр, омметр, авометр 64

§ 8.1. Шунт - это обходной путь для электрического тока 64
§ 8-2. Еще раз об измерительных приборах: амперметре и вольтметре 65
§ 8-3. Шунт расширяет предел измерения амперметра, добавочное сопротивление - вольтметра 67
§ 8-4. Омметр - прибор для измерения сопротивления 69
§ 8-5. Немного о постоянном и переменном токе 71
§ 8-6. Авометр - это комбинированный прибор, предназначенный для измерения силы тока, напряжения и сопротивления 72
§ 8-7. Авометр как омметр 72
§ 8-8. Авометр как вольтметр 74
§ 8-9. Авометр как миллиамперметр 75

Глава 9

Работа и мощность электрического тока 76

§ 9-1. Электрический ток, протекая по проводникам, совершает работу . .76
§ 9-2. Мощность электрического тока - это работа тока,

выполненная за единицу времени 76
§ 9-3. Резисторы тоже обладают мощностью 77
§ 9-4. Ток, протекая по проводникам, нагревает их 78
§ 9-5. Предохранители защищают электроприборы от перегрузки 79

Глава 10

Электрическая емкость. Конденсаторы 80

§ 10-1. Конденсатор - это устройство, предназначенное для накопления и сохранения электрического заряда 80
§ 10-2. Электроемкость - это величина, характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд 80
§ 10-3. Конденсаторы бывают постоянной емкости, переменные и подстроечные 81
§ 10-4. Обозначение емкости конденсаторов на принципиальных схемах 82
§ 10-5. Кодирование конденсаторов 82
§ 10-6. Конденсатор - накопитель электрической энергии 83
§ 10-7. Определение емкости конденсатора 85
§ 10-8. Конденсаторы, как резисторы, можно соединить параллельно и последовательно 86

Глава 11

Полупроводники. Р-п-переход. Диоды 88

§ 11-1. Полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками 88
§ 11-2. Добавив в чистый полупроводник примеси, получают полупроводники n- и p- типов 89
§ 11-3. Полупроводники нашли широкое применение 90
§ 11-4. Диод - это полупроводниковый прибор, проводящий ток только в одном направлении 90
§ 11-5. Почему р-п-переход обладает односторонней проводимостью? ...92
§ 11-6. Вольт-амперная характеристика диода - это зависимость силы тока в нем от напряжения 94

Глава 12

Переменный электрический ток. Трансформатор. Осциллограф. Звуковой генератор 96

§ 12-1. У переменного тока периодически изменяются сила и направление 96
§ 12-2. Период, частота и амплитуда - основные

характеристики переменного тока 97
§ 12-3. Трансформатор - это преобразователь силы тока и напряжения 98
§ 12-4. Трансформатор, повышая напряжение, понижает силу тока, и наоборот 99
§ 12-5. Осциллограф - это универсальный прибор, позволяющий видеть электрические колебания 99
§ 12-6. Электронный луч управляет электрическим полем 100
§ 12-7. Звуковой генератор вырабатывает переменный ток звуковой частоты 103

Глава 13

Выпрямление переменного тока 105

§ 13-1. Переменный ток выпрямляется диодом 105
§ 13-2. Однополупериодное выпрямление переменного тока 105
§ 13-3. Лабораторный источник питания - двухполупериодный выпрямитель 107
§ 13-4. Двухполупериодное выпрямление переменного тока четырьмя диодами 110
§ 13-5. Конденсатор сглаживает пульсации выпрямленного тока 111

Глава 14

Активное, индуктивное и емкостное сопротивления. Колебательный контур. Резонанс 113

§ 14-1. Резистор (активное сопротивление) проводит постоянный и переменный токи 113
§ 14-2. Катушка индуктивности - важный элемент радиотехнической цепи 114
§ 14-3. Самоиндукция - это явление возникновения ЭДС индукции в катушке при изменении тока в ней 116
§ 14-4. Катушка (индуктивное сопротивление) переменный ток проводит плохо 117
§ 14-5. Конденсатор (емкостное сопротивление) переменный ток проводит хорошо 120
§ 14-6. Закон Ома для цепи переменного тока 121
§ 14-7. В последовательном колебательном контуре при резонансе сила тока резко увеличивается 124
§ 14-8. В параллельном колебательном контуре при резонансе сила тока резко уменьшается 125
§ 14-9. В цепи переменного тока активное, индуктивное и емкостное сопротивления ведут себя по-разному 127

Глава 15

Транзисторы. Импульсный режим работы транзистора 130

§ 15-1. Транзистор - это трехэлектродный полупроводниковый прибор 130
§ 15-2. Как маркируются транзисторы 131
§ 15-3. Проверка исправности переходов транзисторов 132
§ 15-4. Транзисторы разных структур отличаются полярностью питания 135
§ 15-5. Базовый ток управляет коллекторным током 135
§ 15-6. Эмиттерный переход - управляющий переход транзистора 137
§ 15-7. Базовый резистор управляет токами в транзисторе 138
§ 15-8. Транзистор включается в цепь тремя способами 139
§ 15-9. Коэффициент усиления транзистора 139
§ 15-10. Импульсный режим работы транзистора 142
§ 15-11. Составной транзистор обладает большим коэффициентом усиления 146

Глава 16

Микрофон. Телефон 148

§ 16-1. Микрофон - это прибор, преобразующий звуковые колебания в электрические 148
§ 16-2. Телефон - это прибор, преобразующий электрические колебания в звуковые 150
§ 16-3. Соединив телефон с микрофоном, можно получить простейшее переговорное устройство 151

Глава 17

Транзистор как усилитель 152

§ 17-1. Работа транзистора в режиме усиления 152
§ 17-2. Как настраивается усилительный каскад 154
§ 17-3. Соединив два усилителя между собой, можно переговариваться 157
§ 17-4. Двухкаскадный УЗЧ усиливает лучше, чем однокаскадный 159

Глава 18

Мультивибратор 160

§ 18-1. Мультивибратор - это электронное устройство, вырабатывающее

электрические колебания 160
§ 18-2. Как работает мультивибратор 161
§ 18-3. Частота колебаний мультивибратора зависит от емкости конденсаторов и сопротивления базовых резисторов 164
§ 18-4. Генератор телеграфной азбуки Морзе 166
§ 18-5. Мультивибратор - это генератор электрических колебаний прямоугольной формы 168
§ 18-6. Мультивибратор с усилителем 169

Глава 19

Электрическая пайка. Макетирование и монтаж радиоэлектронных конструкций 172

§ 19-1. Электропаяльник - главный инструмент электромонтажника ... 172
§ 19-2. Припой - это сплав цветных металлов, предназначенный для пайки 172
§ 19-3. Флюс - это вещество, защищающее спаиваемые поверхности от окисления 174
§ 19-4. Пайка - это способ соединения проводников посредством расплавленного припоя 174
§ 19-5. Соблюдение техники безопасности - прежде всего 175
§ 19-6. Макетирование радиоэлектронных конструкций способом электрической пайки 176
§ 19-7. От макетирования к печатному монтажу 178

Глава 20

Конструирование радиоэлектронных узлов 182

§ 20-1. Переговорное устройство по принципу “прием-передача” на одном транзисторе 182
§ 20-2. Переговорное устройство по принципу “прием-передача” на двух транзисторах 184
§ 20-3. Телефонная связь с вызовом абонента 184
§ 20-4. Индикатор индукционного тока 186
§ 20-5. Индикатор электромагнитного поля 187
§ 20-6. Электронный “клад” и кладоискатель 188
§ 20-7. Прерывистая электронная сирена 190
§ 20-8. Двухтональная электронная сирена 191
§ 20-9. Электронный интерферометр звуковых волн 192

Глава 21

Учителю 195

§ 21-1. Примеры составления контрольных заданий для проверки усвоениея изученного материала 195
§ 21-2. Возможные способы исследования содержимого "черных ящиков" 199

Для заметок 204

Приложения 205

Литература 213

Содержание 214

П.П.Головин. Учимся радиоэлектронике. Экспериментальные задания по электродинамике. Книга для учащихся.

Предлагаемое пособие предназначено для самостоятельного изучения основ радиоэлектроники учащимися средних и старших возрастов дома, на уроках, факультативных и кружковых занятиях. Книга предлагает учителям физики практические задания по электродинамике для учащихся 8-11 классов общеобразовательных школ. Она - составная часть комплекта "Экспериментальные задания по электродинамике".

Рекомендовано Главным управлением развития общего среднего образования Министерства общего среднего и профессионального образования Российской Федерации для использования при обучении физике в общеобразовательных учреждениях (№ 650/11 от 07.05.96 г.).

Включено в Федеральный комплект учебно-методического обеспечения.

Петр Петрович Головин

Учимся радиоэлектронике

Экспериментальные
задания
по электродинамике

Книга издана в авторской редакции

Художественно-технический редактор
Н.Василькин

Компьютерное обеспечение издания
И.Винник

Подписано в печать 27.03.99.
Формат 70*90 1/16.
Печать офсетная.
Усл. п.л. 16,38. Уч.-изд. л. 20,96.
Тираж 10000 экз. Зак № 837.

Издательство РИЦ "Реклама"
432063, Россия, г. Ульяновск,
пер. Комсомольский, д. 3

Отпечатано с готовых диапозитивов

ГУП "Облтипография "Печатный двор"
432049, Россия, г. Ульяновск,
ул. Пушкарева, д. 27