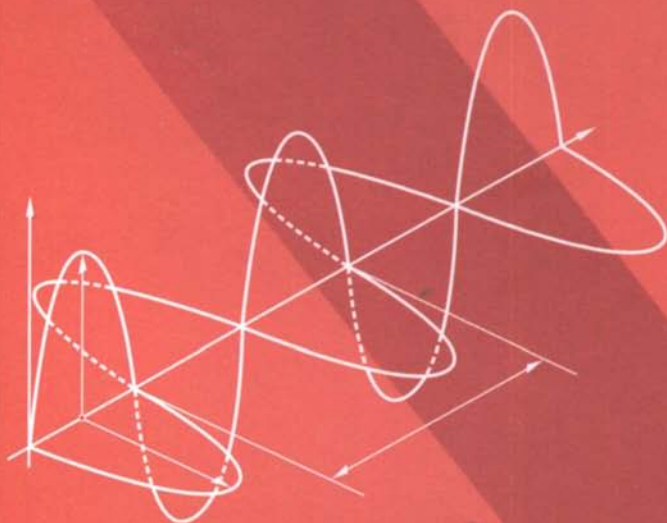


Лабораторные работы

в школе и дома

7/11

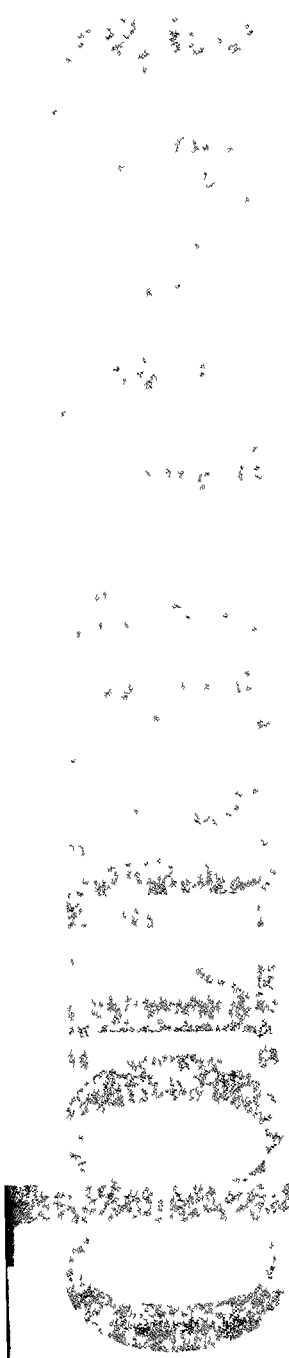


В. Ф. Шилов

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА



ПРОСВЕЩЕНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО



Лабораторные работы

в школе и дома

В. Ф. Шилов

# ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Москва  
«Просвещение»  
2006

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72  
Ш59

**Шилов В. Ф.**

**Ш59** Лабораторные работы в школе и дома : электродинамика: кн. для учащихся / В. Ф. Шилов. — М. : Просвещение, 2006. — 110 с. : ил. — ISBN 5-09-014559.

Пособие предназначено для учащихся основной и средней школы и ориентировано на учебники, рекомендованные Министерством образования и науки.

Система лабораторных работ по электродинамике с использованием современных приборов и устройств выстроена по принципу от простого к сложному. Полученные результаты предлагается сопоставить с теоретическими данными и представить в математической, графической и табличной формах.

**УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72**

**ISBN 5-09-014559-8**

© Издательство «Просвещение», 2006  
© Художественное оформление.  
Издательство «Просвещение», 2006  
Все права защищены

## **Предисловие**

---

Пособие предназначено для учащихся основной и средней школы, оно ориентировано на учебники по физике, рекомендованные Министерством образования и науки РФ.

Предлагаемая система лабораторных работ по электродинамике ориентирована на использование самых современных приборов и устройств, она выстроена по принципу «от простого к сложному», начиная от конструирования конденсатора, заканчивая конструированием и исследованием принципа действия радиоприемника.

Полученные результаты при постановке лабораторных опытов в классной или домашней обстановке предлагается проанализировать и сопоставить с теоретическими сведениями, а также представить их в семантической, математической, графической, табличной и других формах.

Систематическое выполнение предлагаемых лабораторных работ, порой независимо от учебного процесса по физике, позволит вам вначале освоить законы этой науки на уровне практического применения, а затем основать дело подобно тому, как это сделал основатель всемирно известной радиоэлектронной фирмы «Грюндиг». Эта фирма началась с построения собственными силами детекторного радиоприемника 12-летним немецким мальчиком после Первой мировой войны.

Грюндиг изготовил не только детекторный радиоприемник, но и детали к нему. Живя в малообеспеченной семье, он удачно продал свой приемник и получил от людей своего окружения новые заказы.

В 14 лет Грюндиг вместе со своим другом арендовал помещение по серийному производству и ремонту детекторных радиоприемников.

Постепенно продукция этой фирмы развивалась и совершенствовалась. С ассортиментом и качеством этой продукции вы можете познакомиться на рынке радиотоваров.

## **Введение**

---

Вы живете в мире техники. Одни технические средства просвещают и воспитывают, другие — образуют и учат, третьи — сокращают время выполнения умственных и физических работ. Ежедневное умелое обращение с разнообразными техническими помощниками (бытовой электро-, аудио- и видеотехникой) многократно экономит силы каждого человека, освобождая его от монотонной и порой утомительной работы.

Управление машинами и механизмами в сфере быта, применение приборов для выполнения регламентных профилактических работ в процессе эксплуатации многочисленной и разнообразной бытовой техники требует от вас как общих, так и конкретных физических и технических знаний об их устройстве и принципе действия. Эти знания и практические представления формируются не только на уроках физики, но и в семье. Особенно интенсивно знания и экспериментальные умения формируются при выполнении лабораторных работ в классной и домашней обстановке.

Замечено, что к постановке опытов, к конструированию экспериментальных установок для проведения опытов влечет естественная потребность человека творить, создавать, строить. Эта потребность заложена в самой его природе, она запрограммирована в нас и закреплена тысячелетиями. Так же как не может человек жить без воды, пищи и воздуха, он не может существовать и без интересного дела.

Представления о физических объектах, экспериментальные умения по обращению этими объектами формируются не сразу. Для ускорения процесса формирования знаний и умений внимательно наблюдайте за действиями учителя во время демонстрации опытов, постарайтесь понимать и выполнять все те действия, которые предусмотрены указаниями к лабораторной работе.

Успехи в экспериментальной физике невозможны без теоретического фундамента. Вот почему выполнению каждой лабораторной работы предшествует рубрика «Теоретический материал».

Теория — это сконцентрированный опыт миллионов людей, состоящий из собранных, приведенных в систему правильных решений и отброшенных в сторону бесчисленных ошибок. Теория помогает проводить молниеносные мысленные эксперименты вместо долгих и дорогостоящих опытов «в металле», быстрый выбор правильного ответа вместо бес-

конечного слепого перебора и гадания. Теория является кратчайшим путем к нужному практическому результату.

В лабораторных работах рубрика «Теоретический материал» содержит концентрированное выражение всех экспериментальных и практических достижений предшествующих поколений. Усвоение этих достижений через экспериментальную деятельность каждого из вас — самый интересный и надежный путь приобщения к современной науке и технике.

Описанию минимума современной техники и максимума ее использования при постановке лабораторных работ отданы страницы этой книги.

В первой главе книги автор рассказывает о самых современных лабораторных приборах по электродинамике, которые имеются на рынке товаров нашей страны. Такие приборы, как адаптер, мультиметр аналоговый или цифровой, есть уже во многих семьях. Ими чаще всего пользуется старшее поколение людей. Эти и многие другие приборы могут явиться хорошей базой для экспериментального изучения физики, в частности для выполнения лабораторных работ в домашней обстановке.

Для записи результатов измерений и вычислений, а также для формулирования выводов из результатов опытов в каждой работе отведена таблица. Если эта книга — ваша собственность, то вы можете производить все необходимые записи в ней и дать на проверку учителю.

Систематическое и аккуратное выполнение всей совокупности лабораторных работ, помещенных в этой книге, при заинтересованности родителей и контроле учителя позволит вам:

- преодолеть барьер между теоретическим физическим знанием и проявлением этого знания в реальном приборе или технической конструкции;

- овладеть на уровне свободного применения многофункциональными и многопредельными современными цифровыми приборами в целях рационального и правильного их использования;

- самостоятельно ставить физические опыты, фиксировать свои наблюдения и измерения, анализировать их и делать выводы в целях дальнейшего использования полученных знаний и умений;

- самостоятельно разрабатывать и ставить новые опыты и тем самым получать новые знания;

- самостоятельно осуществлять профилактический регламентный осмотр многочисленной бытовой техники, проводить вначале мелкий, а с развитием умений и навыков более глубокий ремонт этой техники.

Проверка и налаживание электрических и электронных схем, а тем более их совершенствование, не какое-то оторванное от всего, самостоятельное дело, а применение имеющихся знаний и умений к решению конкретных практических задач. Можно часами безуспешно искать неис-

правность в схеме, если искать «вслепую», в то время как найти эту неистинность является делом нескольких минут, если понимаешь процессы, которые в этой схеме происходят.

Таблицы и пропуски в описаниях лабораторных работ предполагают представление результатов вашей работы в виде заполненных таблиц, построенных графиков, собственных умозаключений и выводов.

## § 1. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Для проведения лабораторных работ по изучению и исследованию электрических явлений и закономерностей необходимо наличие источников электропитания.

Со многими источниками электропитания вы знакомы с малых лет. Знакомы потому, что в семьях пользуются электронными часами, калькуляторами, приемниками и магнитофонами, плеерами и сотовыми телефонами, переносными телевизорами, компьютерами и т. д. Довольно широко распространены и адаптеры. Распространены потому, что стоимость электрической энергии, получаемой от гальванических элементов и их батарей, в несколько раз выше, чем от электрической сети. Стоимость энергии, получаемой от аккумуляторов, превышает стоимость энергии, получаемой от сети, в 4—5 раз.

Адаптеры, или, иначе, «розеточные» блоки питания, оформленные в виде своеобразной укрупненной сетевой вилки (рис. 1), являются универсальными источниками питания. Типовая схема универсального блока изображена на рисунке 2. Устройство содержит понижающий сетевой трансформатор  $T1$  с большим числом отводов во вторичной обмотке, переключатель выходного напряжения  $SA1$ , диодный выпрямительный мост  $VD1—VD4$  (состоящий обычно из диодов 1N4001, рассчитанных на напряжение 50 В и силу тока 1 А), сглаживающий конденсатор  $C1$ , индикатор включения в сеть — светодиод  $HL1$  с токоограничительным резистором  $R1$ , переключатель полярности выходного напряжения  $SA2$  и набор выходных разъемов на конце выходного кабеля (на схеме показан условно только один из них —  $X2$ ).

У других блоков питания (рис. 3) число положений переключателя  $SA1$  (рис. 4) меньше и отсутствует индикатор включения в сеть.

Если у адаптера сделать вывод для переменного тока (см. рис. 4), то по набору напряжений постоянного и переменного тока он не уступает источнику электропитания для практикума ИЭПП-2. По способу защиты от поражения элект-

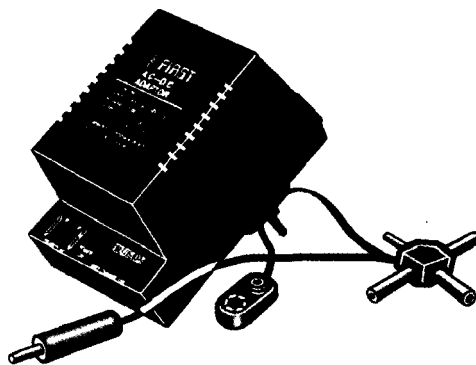


Рис. 1

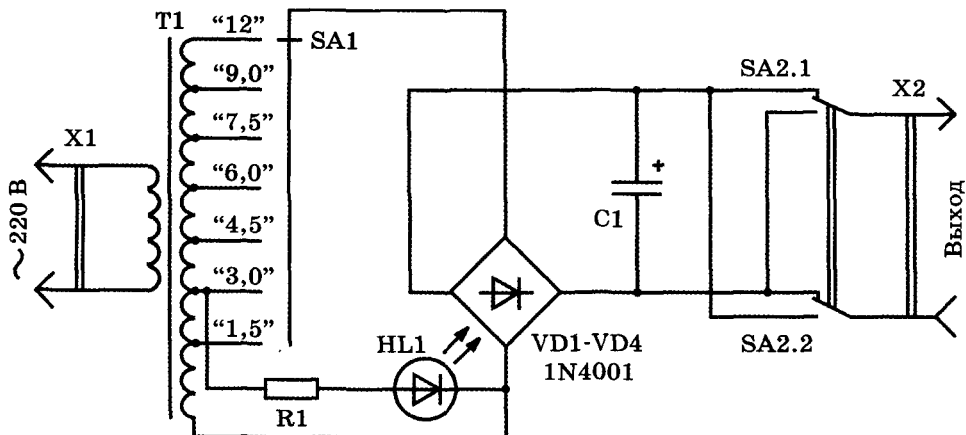


Рис. 2

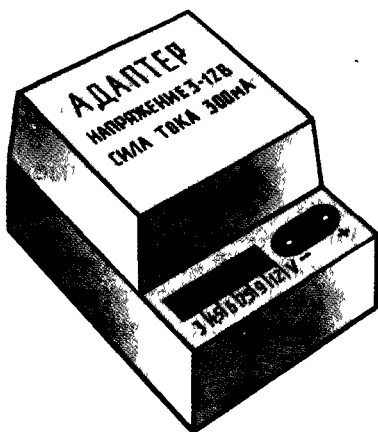


Рис. 3

трическим током адаптеры относятся к приборам II класса, т. е. они имеют двойную изоляцию и не имеют открытых токоведущих частей сетевого тока.

Применение адаптеров (маломощных источников электропитания) в лабораторной практике открывает следующие возможности:

стирание границы между фронтальными лабораторными работами и работами физического практикума;

постановку многих лабораторных работ в домашних условиях с применением «интеллектуальных» электроизмерительных приборов-мультиметров;

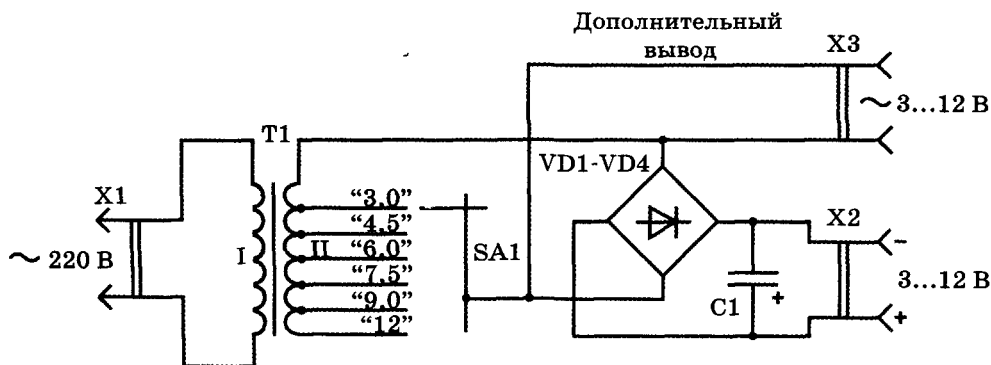


Рис. 4

развитие экспериментального метода исследования при разработке текущих и экзаменационных проектов учащимися.

Для персональных опытов в домашней обстановке перспективным источником постоянного тока является *солнечная батарея* (рис. 5).

Батарея представляет собой последовательно-параллельное соединение отдельных кремниевых фотоэлементов, вмонтированных в корпус (для защиты от влаги, пыли и ударов). Действие батареи основано на внутреннем фотоэлектрическом эффекте. Если батарею положить на стол под включенную электрическую лампу мощностью 60 Вт, то вольтметр покажет напряжение 8 В. Чем больше освещенность батареи, тем больше напряжение на ее клеммах. Солнечная батарея удобна не только для постановки лабораторных опытов, но и в качестве источника питания для транзисторного приемника в летний период. Напряжение на клеммах батареи при силе тока на нагрузке 150 мА будет не менее 2 В.

Применение маломощных источников электропитания требует использования чувствительных электроизмерительных приборов, описание которых приведено в следующем параграфе.

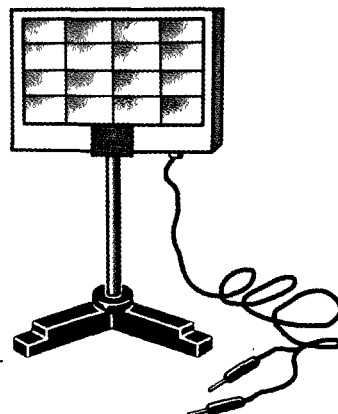


Рис. 5

## § 2. НОВЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

В кабинетах физики общеобразовательных школ выполнение лабораторных работ по электродинамике осуществляется в основном с помощью аналоговых (стрелочных), однофункциональных и однопредельных приборов: амперметра, вольтметра, гальванометра.

В последнее время на рынке товаров появились лабораторные приборы этих же названий, но многопредельные. Лабораторные аналоговые электроизмерительные приборы, такие, как амперметр (рис. 6), миллиамперметр (рис. 7), вольтметр (рис. 8), имеют одинаковое внешнее оформление и одинаковые габаритные размеры (78 × 60 × 30 мм). Все приборы магнитоэлектрической системы имеют равномерную шкалу с двойной оциф-

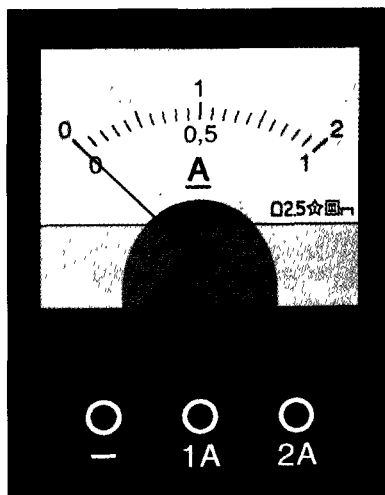


Рис. 6

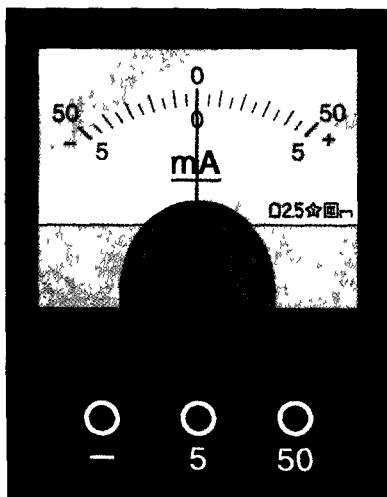


Рис. 7

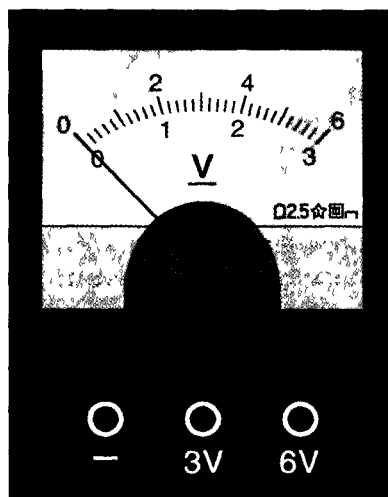


Рис. 8

ровкой и три входных гнезда. У левого гнезда стоит знак «—», и к нему подключают «—» источника тока. У последующих гнезд каждого прибора стоят цифры, обозначающие пределы измерения. Верхняя оцифровка каждого прибора принадлежит большему пределу измерения, который обозначен у правого гнезда прибора.

К каждому прибору прилагаются два провода (черного и красного цвета) с наконечниками в виде штеккера на одном конце и зажимом «крокодил» на другом. Штеккер черного провода втыкают в гнездо со знаком «—» и тем самым обеспечивают полярность включения прибора.

Амперметр (см. рис. 6) имеет пределы измерения силы тока: 0—1 А и 0—2 А, цена деления шкалы на первом пределе равна 0,05 А, на втором пределе равна 0,1 А.

Миллиамперметр (гальванометр) (см. рис. 7) с нулем посередине имеет пределы измерения: (−5) — 0 — (+5) мА и (−50) — 0 — (+50) мА, цена деления на первом пределе равна 0,5 мА, на втором — 5 мА.

Вольтметр (см. рис. 8) имеет пределы измерения: 0—3 В и 0—6 В, цена деления шкалы на первом пределе равна 0,1 В, на втором — 0,2 В.

На лицевой стороне корпуса каждого прибора имеется шлицевая головка корректора для установки стрелки прибора на нулевую отметку шкалы.

В кабинетах физики, да и в семьях учащихся, широко распространены универсальные электроизмерительные приборы — тестеры. Все тестеры независимо от их модификации можно назвать авометрами, потому что они предназначены для измерения силы тока (А), напряжения (В) и со-

противления (Ом). Широко распространенный в школьной практике АВО-63 (рис. 9) предназначен для измерения силы постоянного и переменного тока, напряжения постоянного и переменного тока, а также сопротивления.

Если аналоговые электроизмерительные приборы исчерпали свой ресурс или пришли в негодность, то заменять их предпочтительнее мультиметрами. В настоящее время цифровыми мультиметрами широко пользуются электрики, радиомастера, радиолюбители, автолюбители и т. д. Эти приборы нередко можно видеть и в кабинетах физики.

Цифровые мультиметры — это универсальные приборы: они многофункциональны (измеряют разные физические величины) и многопредельны (измеряют очень малые и большие значения физических величин). Столь широкие возможности цифровых мультиметров необходимы при профилактическом уходе и диагностике многочисленных бытовых устройств: электрических помощников (пылесос, холодильник, стиральная машина, электродрель, кофемолка, кухонный комбайн и др.), «интеллектуальных» электронных приборов (телевизор, компьютер, видеомagnetофон, телефон и т. д.). Мультиметры позволяют ставить и выполнять такие лабораторные работы и такими методами, о которых раньше просто не мечтали.

Из множества разнообразных моделей мультиметров, представленных на рынке радиотоваров, наиболее предпочтительны для учебных и бытовых целей следующие модели:

**М838** (рис. 10) предназначен для измерения напряжения (сектор «DCV») и силы (сектор «DCA») постоянного тока, напряжения переменного тока (сектор «ACV»). Функциональные возможности мультиметра представлены на передней панели прибора, на ней же написаны предельные значения измеряемых физических величин при определенных положениях переключателя прибора. К прибору прилагаются измерительные щупы и термопара.

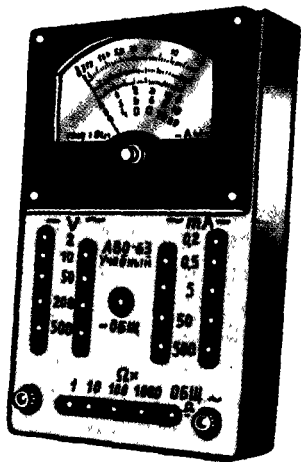


Рис. 9

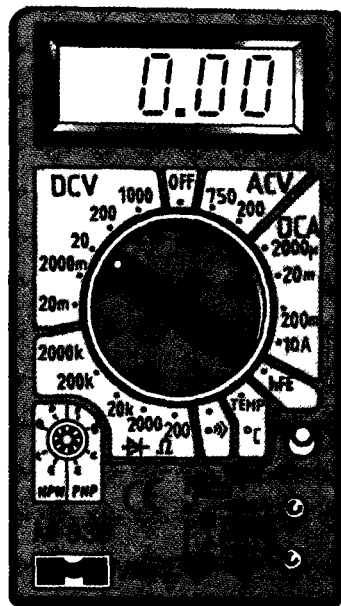


Рис. 10

**M890G** (рис. 11) предназначен для измерения напряжения и силы постоянного и переменного тока, сопротивления и емкости, частоты и температуры, проверки диодов и транзисторов. Прибор многофункционален и многопределен, он, как считают специалисты, идеален в учебных лабораториях, в мастерских и в домашнем хозяйстве. Об этом свидетельствуют функции и пределы измерения, написанные на передней панели прибора.

Для подключения к мультиметру конденсаторов необходима вилка, самодельная конструкция которой показана на рисунке 12. К прибору прилагаются измерительные щупы с проводами и термопара.

**M9704** (рис. 13) предназначен для измерения напряжения и силы постоянного и переменного тока, сопротивления и емкости, частоты и температуры. С помощью этого прибора можно тестировать полупроводниковые диоды и транзисторы. К прибору прилагается термопара. Отличительной особенностью этого мультиметра является двойная индикация: аналоговая и цифровая. Благодаря многофункциональности и многопредельности, высокой чувствительности этот прибор незаменим в проведении научных исследований.

**VC9808** (рис. 14) предназначен для измерения напряжения и силы постоянного и переменного тока, индуктивности и емкости, сопротивления и частоты, температуры. Он позволяет осуществлять проверку полупроводниковых диодов и транзисторов, прозвонку электрических цепей, определять статические коэффициенты усиления транзистора и т. д.

Этот прибор может быть хорошим аналогом многочисленных демонстрационных стрелочных приборов в школьном кабинете физики. К тому же он имеет возможность в широких пределах измерять емкость конденсаторов, индуктивность катушек, частоту электрических колебаний, температуру, сопротивление прямыми методами.

Если руководствоваться положением «стоимость — функциональность», то наиболее подходящей в настоящее время является модель мультиметра M890G. Выбор функций этого прибора (см. рис. 11) и диапазон измерения обеспечивается 32-позиционным поворотным переключателем. К отличительным особенностям прибора относятся: высокая чувствительность (100 мкВ), автоматическая индикация полярности в диапазоне постоянного тока, автоматическая индикация перегрузки (символ на дисплее «1»), защита всех диапазонов от перегрузок, проверка полупроводниковых элементов (диод, транзистор) фиксированной силой тока, равной 1 мА, измерение емкости конденсатора в пределе 1 пФ — 20 мкФ, измерение сопротивления в пределе 0,1 Ом — 200 МОм, измерение коэффициента усиления транзистора при силе тока базы 10 мкА, контроль (измерение) температуры с использованием и без использования термопары.

Мультиметр M890G комплектуется двумя длинными проводами разного цвета, оканчивающимися с одной стороны закрытыми штепселями, с другой — открытыми щупами. При проведении физических опытов эти

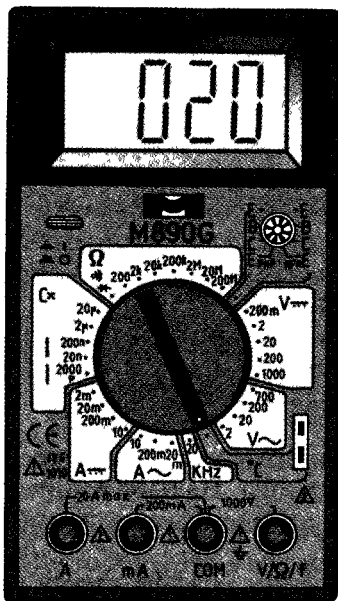


Рис. 11

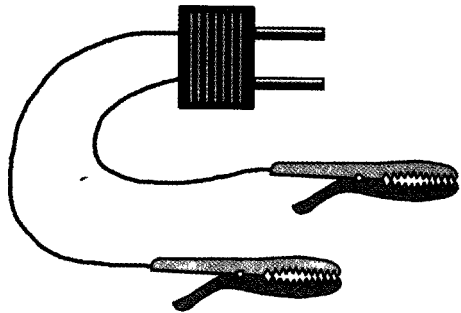


Рис. 12

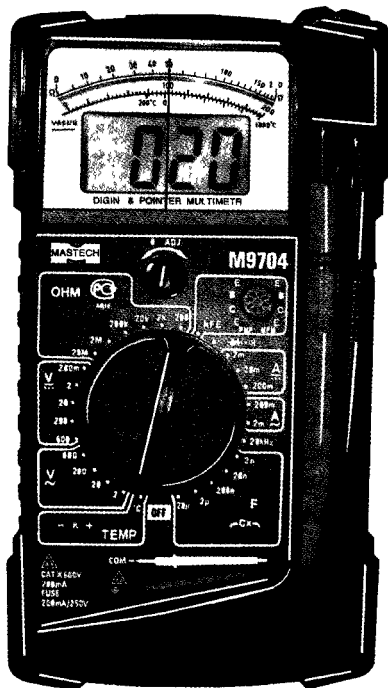


Рис. 13

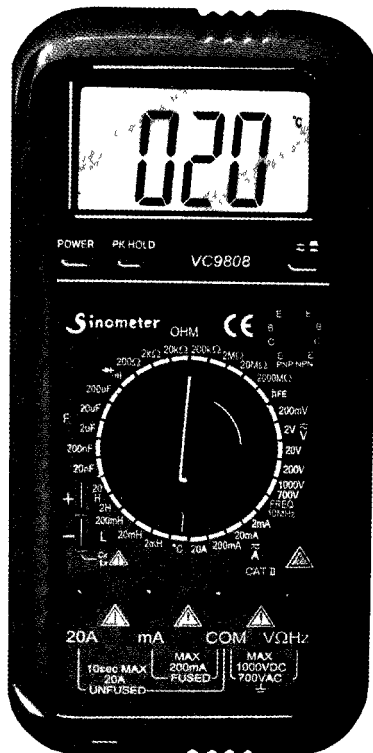


Рис. 14

щупы желателно оснастить зажимами «крокодил». К прибору прилагается миниатюрная термopapa, оканчивающаяся колодкой с двумя плоскими штепселями, с помощью которых термopapa соединяется с прибором через разъем, обозначенный символом «°C».

В процессе эксплуатации мультиметра необходимо придерживаться следующих правил:

- при неизвестном диапазоне измеряемых величин устанавливают переключатель рода работ и пределов измерений на высший предел;

- отсоединяют щупы прибора от контролируемой цепи при изменении функции прибора или диапазона измерений;

- после присоединения прибора к контролируемой цепи нельзя касаться его выводов, в том числе и неиспользуемых;

- прибором нельзя измерять сопротивления в цепях, находящихся под напряжением;

- необходимо соблюдать осторожность при измерении напряжения выше 60 В постоянного тока и 30 В переменного тока. Пальцы ваших рук при измерении не должны переходить границ, отмеченных на изоляции щупов в виде винтовых линий;

- щупы отсоединяют от прибора при измерении коэффициента усиления транзистора по постоянному току;

- перегоревший плавкий предохранитель в приборе заменяют предохранителем таких же номиналов;

- запрещается пользоваться мультиметром с открытой и незакрепленной задней крышкой. На задней крышке прибора имеется откидывающийся упор, который позволяет устанавливать мультиметр вертикально или под углом к горизонту.

Невысокая стоимость, портативность и малая масса, многофункциональность и многопредельность, большое входное сопротивление, обеспечивающее высокую точность измерений, — таковы качества прибора M890G.

### **§ 3. ПОТРЕБИТЕЛИ И ДРУГИЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

При наличии адаптеров и мультиметров проблема постановки лабораторных работ в школе и дома зависит от состава потребителей и других компонентов электрической цепи. На первых порах в школьной обстановке она может быть решена за счет интенсивного использования набора деталей для сборки радиоприемников.

**Набор деталей для сборки радиоприемников.** В реальной школьной практике эти наборы согласно методическим предписаниям использовались один раз в году.

Набор (рис. 15) состоит из одного конденсатора переменной емкости и трех конденсаторов постоянной емкости (150 пФ, 1000 пФ, 1000 пФ), двух электролитических конденсаторов (5 и 10 мкФ), трех резисторов

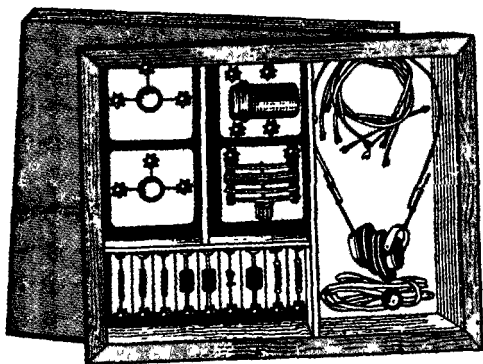


Рис. 15

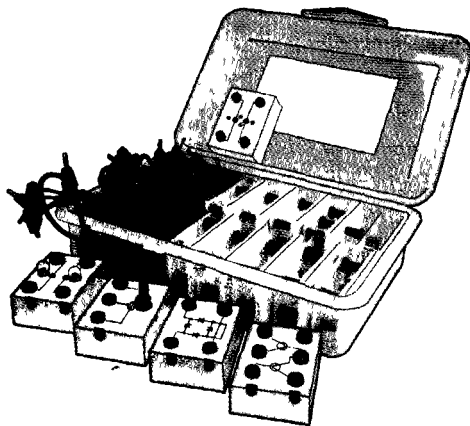


Рис. 16

(22 кОм, 470 кОм, 1,2 МОм), точечного германиевого диода Д2Б, двух транзисторов МП-41, двух контурных катушек для средних и длинных волн. Катушки намотаны на общем цилиндрическом пластмассовом каркасе диаметром 30 мм, укрепленном на изолирующей панели с четырьмя зажимами. Около зажимов на панели сделаны обозначения: ДВ (длинные волны) и СВ (средние волны). Катушка ДВ намотана проводом ПЭЛШО-0,14 (диаметр провода 0,14 мм) и содержит 130 витков. Ширина намотки 7 мм. Катушка СВ намотана в один слой проводом ПЭЛ-0,31 (диаметр провода 0,31 мм) и содержит 72 витка. В набор входят головные телефоны и соединительные проводники.

Описываемые лабораторные работы по электродинамике прошли авторскую проверку с использованием данного набора, мультиметра М890G и адаптера.

В настоящее время на рынке товаров появились наборы (рис. 16), которые можно приобрести для школы или в личное пользование. В этот набор входят: терморезистор и фоторезистор; диод — 2 шт.; светодиод — 2 шт.; транзисторы — 2 шт.; резисторы сопротивлением 10 кОм — 2 шт.; резисторы сопротивлением 300 кОм — 2 шт.; конденсаторы емкостью 200 мкФ — 2 шт.; конденсаторы емкостью 0,1 мкФ — 2 шт.; конденсаторы емкостью 10 мкФ — 2 шт.; переменный резистор сопротивлением 47 кОм; переменный резистор сопротивлением 10 кОм; лампочки накаливания низковольтные — 2 шт.; провода соединительные.

В опытах по конструированию моделей гальванических элементов, аккумуляторов и т. д. автор пользовался набором по электролизу (рис. 17, а), который состоит из следующих элементов: прозрачной кюветы с медными штепселями для бытовой розетки; 10 сменных цилиндрических электродов (рис. 17, б) диаметром до 10 мм и высотой 40—50 мм из разных материалов: свинцовых — 2 шт., угольных — 2 шт., медный, цинковый, алюминиевый, железный и т. д. Цилиндрические электроды имеют отверстия по осевой ли-

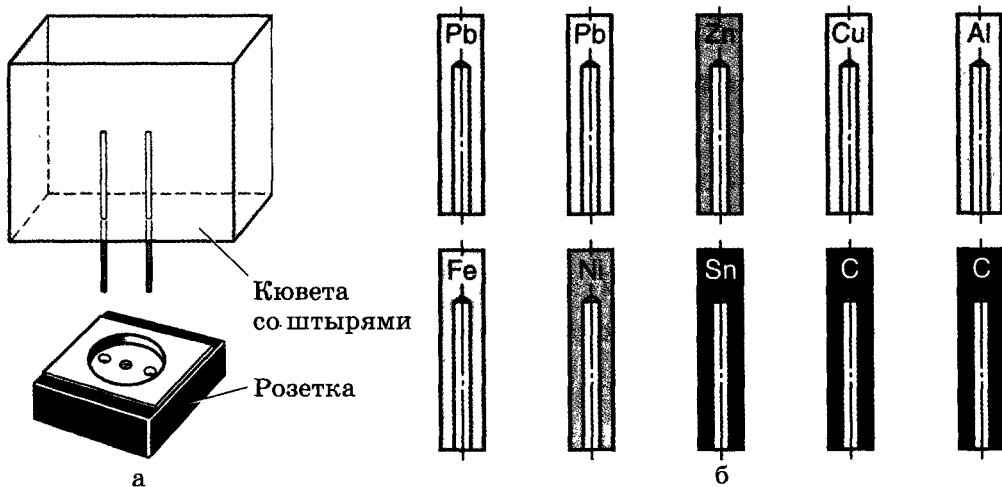


Рис. 17

нии для надевания на штыри штепселей. Состав и согласование компонентов набора по электролизу уточняется каждым экспериментатором в процессе проведения опытов по окислительно-восстановительным реакциям.

#### § 4. САМОДЕЛЬНЫЕ ИНДИКАТОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Для выполнения лабораторных работ нужны приборы, которые описаны выше. При отсутствии этих приборов, но при желании самостоятельно выполнить предлагаемые работы либо хотя бы часть из них нужно вначале изготовить индикаторы.

**Индикатор магнитного поля.** Для изготовления этого прибора используют ученический ластик, который прокалывают в центре, закрепляя иглу острием вверх (рис. 18). В результате получают устойчивую подставку с вертикальной осью. Затем берут две одинаковые иглы с О-образными ушками и вставляют их с помощью кусачек в прозрачную трубочку длиной 30—50 мм, отрезанную от отработанного стержня для шариковой ручки. Иглы вставляют так, чтобы их ушки были взаимно перекрыты в середине трубочки. Затем в этом месте шилом прокалывают одну стенку трубочки с тем, чтобы сконструированную «магнитную стрелку» поставить на острие подставки. Иглы необходимо намагнитить. Для этого одним полюсом постоянного магнита (магнитной защелки от мебели) проводят несколько раз вдоль трубочки. После намагничивания стрелку устанавливают на острие иглы, и стрелка ориентируется в магнитном поле Земли. Тот ее конец, который показывает на север, окрашивают фломастером синего цвета, а противоположный — красного.

**Индикатор электрического поля.** Для его изготовления также используют ластик, в центр которого острием вверх воткнута игла. Далее

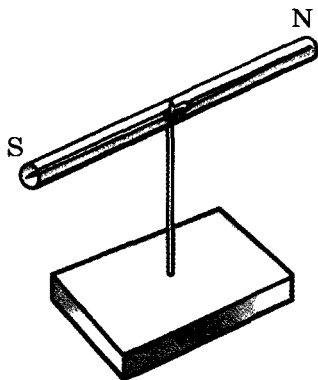


Рис. 18

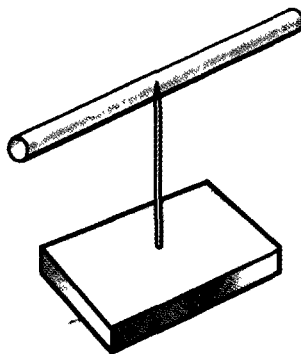


Рис. 19

берут соломинку (природную или пластмассовую, например чистый отрезок трубочки от шариковой ручки) длиной не более 100 мм. Прокалывают по центру одну ее стенку шилом и устанавливают на острие иглы-подставки (рис. 19). В результате получают довольно чувствительный индикатор по обнаружению заряженных тел. Для демонстрации этого индикатора в действии электризуют расческу о волосы и подносят к одному из концов трубочки; конец трубочки поворачивается вслед за расческой.

### Простейший гальванометр.

Из плотной бумаги или прозрачного пластика, вырезанного из бутылки, склеивают каркас катушки, размеры которого определяют внешними габаритами компаса (рис. 20). На каркас наматывают 100—150 витков тонкой медной проволоки ПЭЛ-0,12 в лаковой изоляции, концы которой после зачистки присоединяют к зажимам.

В каркас вставляют компас и получают простейший гальванометр. Он работает на эффекте, открытом датским физиком Эрстедом, т. е. магнитная стрелка отклоняется при прохождении тока по катушке.

Простейший гальванометр можно перевести в разряд многопредельного индикатора напряжения, если последовательно с катушкой присоединять резисторы (рис. 21).

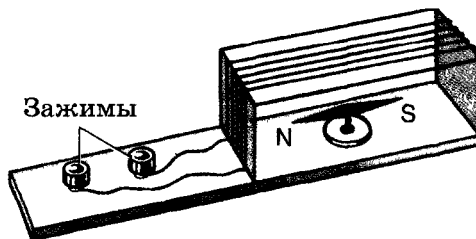


Рис. 20

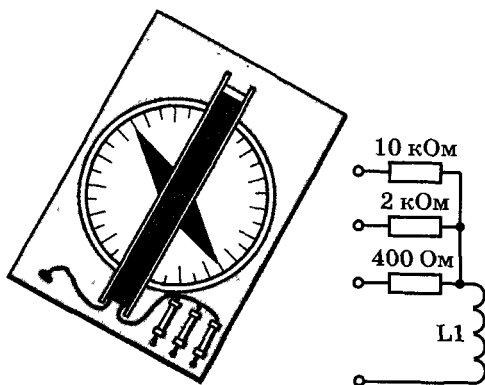
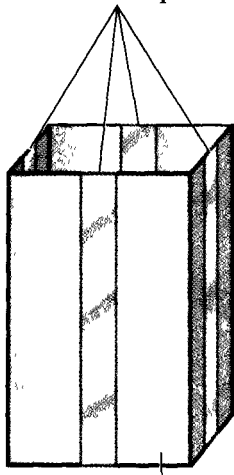


Рис. 21

Пластины из фольги



Упаковка из-под «ТИК-ТАК»

Рис. 22

Измеряемое напряжение подводится к катушке  $LI$  (200—500 витков любого тонкого провода прямо или через резисторы). По катушке идет ток, который создает магнитное поле, оно и отклоняет магнитную стрелку. Чувствительность индикатора напряжения регулируется подключением резисторов к катушке.

Для конструирования конденсаторов удобно воспользоваться пластинками или полосками из жести или алюминиевой фольги от упаковки шоколадки. В качестве диэлектриков удобно взять пластинки таких же размеров из бумаги, стекла, пластика и т. д.

При измерении диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков удобно воспользоваться упаковкой от драже «Тик-так» со снятой верхней крышкой. На боковые грани внутри упаковки приклеивают одинаковые полоски из станиоля. Такая конструкция самодельного конденсатора (рис. 22) позволяет

установить зависимость емкости от расстояния между пластинами, а также определять диэлектрическую проницаемость жидких изоляторов (керосин, дистиллированная вода, автомасла).

### *Лабораторная работа 1*

## **РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ ПЛОСКОГО КОНДЕНСАТОРА**

**Теоретический материал.** Конденсатор — накопитель электрических зарядов. Плоский конденсатор представляет собой систему из двух металлических электродов — пластин (обкладок), расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Между пластинами находится воздух или какой-либо другой изолятор (слюда, керамика, парафинированная бумага и т. д.).

Если конденсатор присоединить к источнику постоянного тока, то на его пластинах появятся равные по модулю и противоположные по знаку электрические заряды. Способность конденсатора накапливать электрический заряд определяется формулой

$$q = CU,$$

где  $C$  — электрическая емкость конденсатора, или в краткой форме — емкость. Емкость плоского конденсатора зависит от площади пластин, расстояния между ними и типа изолирующего материала. Ее вычисляют по формуле

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d},$$

где  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды между пластинами конденсатора,  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная ( $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ ),  $S$  — площадь пластины конденсатора,  $d$  — расстояние между пластинами конденсатора.

Единица электрической емкости в системе СИ называется *фарад*:

$$1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}, \quad 1 \text{ фарад} = \frac{1 \text{ кулон}}{1 \text{ вольт}}.$$

На практике применяют дольные единицы электрической емкости:

$$\begin{aligned} 1 \text{ мкФ (микрофарад)} &= 10^{-6} \text{ Ф}, \\ 1 \text{ нФ (нанофарад)} &= 10^{-9} \text{ Ф}, \\ 1 \text{ пФ (пикофарад)} &= 10^{-12} \text{ Ф}. \end{aligned}$$

В маркировке конденсаторов указывают номинальную емкость, класс точности в % и максимальное рабочее напряжение. Номинальную емкость записывают с помощью двух или трех цифр. В десятичных дробях вместо запятой ставят буквы: *p* — для обозначения пикофарад, *n* — нанофарад, *μ* — микрофарад.

**Цель работы:** рассчитать и измерить емкость плоского конденсатора с воздушным диэлектриком.

**Приборы и материалы:** мультиметр M890G, металлические пластины разных размеров, подставка для пластин конденсатора, миллиметровая линейка.

### Указания к работе:

1. С помощью миллиметровой линейки измерьте линейные размеры пластин.
2. Установите на подставке две одинаковые пластины, т. е. образуйте конденсатор с воздушным диэлектриком. Измерьте и запишите расстояние между пластинами. (Пластинами конденсатора могут быть разглаженные обертки фольги от шоколадки, конфет, а диэлектриком — тетрадь.)
3. С помощью переключателя на мультиметре установите режим работы «измеритель емкости» и измерьте емкость образованного конденсатора.
4. Уменьшите расстояние между пластинами плоского конденсатора в два раза и снова измерьте его емкость.
5. Сконструируйте конденсатор, площадь пластин которого в два раза меньше, чем у предыдущего. Снова измерьте его емкость.
6. Все результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

| Площадь $S$<br>одной<br>пластины, $\text{м}^2$ | Расстояние $d$<br>между<br>пластинами, м | Емкость конденсатора $C$ , пФ |            |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------|------------|
|                                                |                                          | вычисленная                   | измеренная |
|                                                |                                          |                               |            |
|                                                |                                          |                               |            |
|                                                |                                          |                               |            |

**Примечание.** Для расчета используются диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  воздуха и электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ .

## Лабораторная работа 2

### ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА И РАСЧЕТ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

**Теоретический материал.** Емкость плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

где  $\varepsilon$  — диэлектрическая постоянная среды (для вакуума  $\varepsilon = 1$ ; для воздуха  $\varepsilon = 1,00059$  при нормальных условиях).

Поскольку расстояние между пластинами конденсатора намного меньше размеров пластин, то поле между этими пластинами однородно. Введение диэлектрика между обкладками конденсатора изменяет его емкость.

*Диэлектрики* — это вещества, не проводящие электрический ток. Если между обкладками плоского заряженного конденсатора ввести пластину из диэлектрика, то напряжение на конденсаторе при неизменном заряде уменьшится. Предположим, что напряжение на обкладках конденсатора до введения диэлектрика было  $U_0$ , а после введения стало  $U$ . Расстояние  $d$  между обкладками конденсатора не изменилось. Поэтому можно записать:  $E_0 d = U_0$ ,  $Ed = U$ , где  $E_0$  — модуль напряженности электростатического поля в вакууме (практически в воздухе),  $E$  — модуль напряженности электростатического поля в диэлектрике. Отношение  $U_0/U = E_0/E > 1$ . Это означает, что напряженность электростатического поля в диэлектрике  $E$  меньше напряженности электростатического поля в вакууме  $E_0$ ,  $\varepsilon = E_0/E = U_0/U$ .

Физическую величину, показывающую, во сколько раз напряженность поля  $E$  в диэлектрике меньше напряженности поля  $E_0$  в вакууме, называют **диэлектрической проницаемостью** вещества и обозначают буквой  $\varepsilon$ .

Диэлектрическая проницаемость зависит от структуры вещества и внешних условий.

В нашем эксперименте из формулы  $C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$  определим  $\varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S}$ . Из

этой формулы видно, что для определения  $\varepsilon$  необходимо измерить емкость конденсатора, толщину диэлектрика и площадь одной из одинаковых пластин.

**Цель работы:** измерить емкость конденсатора и определить диэлектрическую проницаемость диэлектрика.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, две одинаковые металлические пластины, диэлектрические пластины из оргстекла, пластика, текстолита и стекла (все они одинакового размера), штангенциркуль, для жидких диэлектриков — конденсатор (см. рис. 22).

### Указания к работе:

1. С помощью линейки измерьте линейные размеры пластины конденсатора и определите ее площадь.
2. Штангенциркулем измерьте толщину пластины диэлектрика.
3. Сконструировать конденсатор с этим диэлектриком и измерьте его емкость мультиметром M890G.
4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

| Диэлектрик | Толщина $d$<br>диэлектрика, м | Площадь $S$<br>пластины<br>конденсатора,<br>$\text{м}^2$ | Емкость<br>конденсатора $C$ ,<br>Ф | Диэлектрическая<br>проницаемость $\epsilon$ ,<br>$\text{Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ |
|------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оргстекло  |                               |                                                          |                                    |                                                                                            |
| Стекло     |                               |                                                          |                                    |                                                                                            |
| Пластик    |                               |                                                          |                                    |                                                                                            |
| Текстолит  |                               |                                                          |                                    |                                                                                            |

### Лабораторная работа 3

#### РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ БАТАРЕИ ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

**Теоретический материал.** При параллельном соединении конденсаторов все они находятся под одинаковым напряжением, равным напряжению источника тока. При этом конденсаторы заряжаются и их заряды определяются по формулам  $q_1 = C_1 U$ ,  $q_2 = C_2 U$ ,  $q_3 = C_3 U$ . Полный заряд батареи параллельно соединенных конденсаторов будет равен  $q = q_1 + q_2 + q_3$ . Заряд конденсатора можно определить иначе, по формуле  $q = CU$ , где  $C$  — эквивалентная емкость, или емкость батареи.

Подставив значения зарядов в предыдущую формулу, получаем:  $CU = C_1 U + C_2 U + C_3 U$ , отсюда  $C = C_1 + C_2 + C_3$ .

Таким образом, *при параллельном соединении конденсаторов емкость батареи равна сумме емкостей отдельных конденсаторов.*

С точки зрения физики это означает, что каждый новый конденсатор, подсоединенный параллельно другому, уже включенному в цепь, увеличивает поверхность его обкладок за счет поверхности своих обкладок. Это приводит к увеличению емкости, так как емкость конденсатора прямо пропорциональна поверхности его пластин.

К параллельному соединению конденсаторов прибегают в том случае, если требуется большая емкость. Параллельно соединяют конденсаторы с одинаковым рабочим напряжением. Такие соединения характерны как для электротехнических, так и для радиотехнических изделий.

**Цель работы:** рассчитать и измерить емкость батареи конденсаторов, состоящей из двух и трех параллельно соединенных конденсаторов.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G (переведенный в режим работы фарадометра), конденсаторы постоянной емкости для сборки радиоприемника (см. рис. 15), соединительные провода.

### Указания к работе

1. С помощью переключателя переведите мультиметр М890G в режим работы измерителя емкости (фарадометра).
2. Снимите, запишите и измерьте номинальные емкости:
  - а) каждого конденсатора;
  - б) батареи из двух параллельно включенных конденсаторов;
  - в) батареи из трех параллельно включенных конденсаторов.
3. Начертите электрические схемы параллельного соединения конденсаторов в батареи: для двух и для трех конденсаторов.
4. Результаты вычислений и измерений занесите в таблицу 3.

Таблица 3

| Конденсаторы и их батареи     | Номинальная емкость конденсатора или расчетная емкость батареи конденсаторов $C$ , нФ | Измеренная емкость конденсатора или батареи конденсаторов $C_{изм}$ , нФ |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1-й конденсатор               |                                                                                       |                                                                          |
| 2-й конденсатор               |                                                                                       |                                                                          |
| 3-й конденсатор               |                                                                                       |                                                                          |
| Батарея из двух конденсаторов |                                                                                       |                                                                          |
| Батарея из трех конденсаторов |                                                                                       |                                                                          |

## Лабораторная работа 4

### РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ ЕМКОСТИ БАТАРЕИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

**Теоретический материал.** При последовательном соединении все конденсаторы благодаря явлению электростатической индукции получают одинаковый заряд  $q$ . Наличие одинаковых зарядов у всех конденсато-

ров приводит к различным напряжениям у них на обкладках (в соответствии с емкостью каждого конденсатора). Это следует из формул (для трех конденсаторов):

$$U_1 = \frac{q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q}{C_3}.$$

Суммируя напряжения на отдельных конденсаторах, получают полное напряжение, подаваемое в цепь источником тока:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Напряжение источника можно выразить через емкость батареи или эквивалентную емкость:  $U = q/C$ .

Подставив значение напряжения в предыдущую формулу, получим:

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

или после сокращения на  $q$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

Величина, обратная емкости батареи последовательно соединенных конденсаторов, равна сумме таких же величин отдельных конденсаторов.

К последовательному соединению конденсаторов прибегают обычно в тех случаях, когда напряжение источника тока значительно выше рабочего напряжения конденсатора. Чтобы избежать пробоя конденсатора, несколько одинаковых конденсаторов соединяют последовательно и таким образом понижают напряжение на каждом из них. Число  $n$  последовательно включенных конденсаторов в зависимости от напряжения источника определяют по формуле  $n = U/U_p$ , где  $U$  — напряжение источника,  $U_p$  — рабочее напряжение одного конденсатора.

**Цель работы:** рассчитать и измерить емкость батареи конденсаторов, состоящей из двух и трех последовательно соединенных конденсаторов.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, конденсаторы постоянной емкости из набора для сборки радиоприемника (см. рис. 15), соединительные провода.

#### **Указания к работе:**

1. С помощью переключателя переведите мультиметр М890G в режим работы измерителя емкости (фарадометра).
2. Снимите, измерьте и запишите номинальные емкости:
  - а) каждого конденсатора;
  - б) батареи из двух последовательно включенных конденсаторов;
  - в) батареи из трех последовательно включенных конденсаторов.

3. Начертите схемы последовательного соединения конденсаторов в батареи: для двух и для трех конденсаторов.

4. Результаты вычислений и измерений занесите в таблицу 4.

Таблица 4

| Конденсаторы и их батареи     | Номинальная емкость конденсатора или расчетная емкость батареи конденсаторов $C$ , нФ | Измеренная емкость конденсатора или батареи конденсаторов $C_{\text{изм}}$ , нФ |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1-й конденсатор               |                                                                                       |                                                                                 |
| 2-й конденсатор               |                                                                                       |                                                                                 |
| 3-й конденсатор               |                                                                                       |                                                                                 |
| Батарея из двух конденсаторов |                                                                                       |                                                                                 |
| Батарея из трех конденсаторов |                                                                                       |                                                                                 |

**Примечание.** При выполнении измерений емкости конденсаторов мультиметр M890G переводят в режим «измеритель емкости — фарадометр».

### Лабораторная работа 5

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА ОТ УГЛА ПОВОРОТА РОТОРА

**Теоретический материал.** В радиотехнике, в частности в радиоприемниках, широко используются конденсаторы переменной емкости, т. е. такие, у которых емкость можно изменять. Такие конденсаторы состоят из двух групп металлических пластин. Неподвижная группа пластин образует статор, а подвижная группа образует ротор конденсатора.

В собранном конденсаторе переменной емкости ось ротора расположена перпендикулярно стойкам неподвижных пластин. При повороте ручки ротора его пластины входят в промежутки между неподвижными пластинами статора.

Наибольшая емкость у конденсатора получается в том случае, когда пластины ротора полностью входят в промежутки между пластинами.

При полном выводе пластин ротора из промежутков между неподвижными пластинами емкость конденсатора получается наименьшей. Изолирующим слоем между пластинами служит воздух или слюда.

Разновидностью конденсаторов переменной емкости являются так называемые подстроечные конденсаторы, или конденсаторы полупеременной емкости. Они отличаются от конденсаторов переменной емкости

### Указания к работе:

1. Переключатель мультиметра М890G установите в положение вольтметра постоянного тока с пределом измерения «200 В».
2. Соблюдая полярность, присоедините вольтметр к зажимам электролитического конденсатора.
3. Электрическую цепь «конденсатор — вольтметр» присоедините к выходным зажимам адаптера с учетом полярности. Предварительно переключатель адаптера установите в положение «3V».
4. Далее отключите источник тока от конденсатора и через промежутки времени, равные 30 с, фиксируйте показания вольтметра. Внутреннее сопротивление вольтметра равно 10 МОм. Для определения силы разрядного тока с течением времени (в нашем случае фиксированными промежутками времени) разделите значение напряжения (показания вольтметра) на значение внутреннего сопротивления прибора  $10^7$  Ом.
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 6.

Таблица 6

| Время $t$ , с | Напряжение $U$ на конденсаторе, В | Сила тока разряда $I$ , $1 \cdot 10^{-7}$ А |
|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| 0             |                                   |                                             |
| 30            |                                   |                                             |
| 60            |                                   |                                             |
| 90            |                                   |                                             |
| 120           |                                   |                                             |
| 150           |                                   |                                             |
| 180           |                                   |                                             |
| 210           |                                   |                                             |
| 240           |                                   |                                             |
| 270           |                                   |                                             |
| 300           |                                   |                                             |

6. По данным таблицы постройте график зависимости силы тока от времени. Рассчитайте площадь (под графиком) в квадратных сантиметрах (миллиметрах), определите заряд, соответствующий этой площади, и вычислите энергию конденсатора.

## Лабораторная работа 7

### ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

### НА ЗАЖИМАХ ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Теоретический материал.** Если к зажимам источника постоянного тока присоединить вольтметр (рис. 24), то прибор покажет не только наличие тока, но и напряжение. Главную роль в явлении протекания тока играет источник тока. Он создает электрическое поле в проводнике, которое и обеспечивает направленное движение свободных электронов в металлических проводниках.

В качестве энергетической характеристики электрического поля служит физическая величина, называемая *электрическим напряжением* или просто напряжением.

Физическая величина, показывающая, какую работу совершает электрическое поле источника тока на данном участке цепи по перемещению электрического заряда, называется *напряжением*. Напряжение  $U$  численно равно отношению работы  $A$  к электрическому заряду  $q$ :  $U = \frac{A}{q}$ .

Единица электрического напряжения называется *вольт*. Один вольт (1 В) равен электрическому напряжению на участке цепи, на котором при протекании заряда 1 Кл совершается работа 1 Дж:  $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж}/1 \text{ Кл}$ .

Напряжение измеряют приборами — вольтметрами — аналоговыми (стрелочными) и цифровыми (цифровой дисплей). Как те, так и другие могут быть многопредельными и предназначенными для измерения постоянного и переменного тока.

Для измерения напряжения выводы от вольтметра подключают к началу и к концу того участка цепи, напряжение на котором надо измерить.

Кроме вольта, пользуются дольными и кратными ему единицами:

- 1 милливольт = 1 мВ = 0,001 В,
- 1 микровольт = 1 мкВ = 0,000001 В,
- 1 киловольт = 1 кВ = 1000 В,
- 1 мегавольт = 1 МВ = 1 000 000 В.

**Цель работы:** измерить напряжение постоянного тока, на выходе адаптера при различных положениях его переключателя, вольтметром мультиметра на разных пределах измерения.

**Приборы и материалы:** мультиметр M890G, адаптер, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Подготовьте мультиметр для измерения напряжения постоянного тока с пределом измерения 20 В.

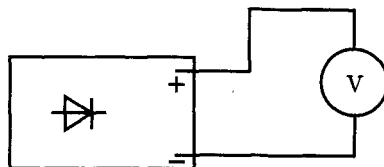


Рис. 24

2. Присоедините к выходным зажимам адаптера вольтметр мультиметра.
3. Включите адаптер в сеть и произведите измерения напряжения.
4. Результаты измерений занесите в таблицу 7.

Таблица 7

| Предел измерения<br>вольтметра | Напряжение на выходе адаптера при положениях переключателя |     |     |     |     |      |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
|                                | 3,0                                                        | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 12,0 |
| 20 В                           |                                                            |     |     |     |     |      |
| 200 В                          |                                                            |     |     |     |     |      |
| 1000 В                         |                                                            |     |     |     |     |      |

5. По результатам измерений оцените точность измерений напряжения на каждом пределе измерения.

### Лабораторная работа 8

## ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА В ЦЕПИ ПОТРЕБИТЕЛЯ, ПОДКЛЮЧЕННОГО К ИСТОЧНИКУ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Теоретический материал.** Оценку и сравнение электрических токов, их действия (тепловое, магнитное, химическое) производят по силе тока.

**Силой тока** называется физическая величина, показывающая, какой электрический заряд проходит через поперечное сечение проводника за время, равное 1 с. Сила тока  $I$  численно равна отношению электрического заряда  $q$ , прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени  $t$  его прохождения:  $I = \frac{q}{t}$ .

Единица измерения силы тока называется **ампером** (А). Один ампер 1 А — это такая сила тока, при которой через поперечное сечение проводника проходит электрический заряд 1 Кл за время 1 с: 1 А = 1 Кл/1 с.

Применяют также дольные и кратные единицы силы тока:

$$\begin{aligned} 1 \text{ миллиампер} &= 1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А}, \\ 1 \text{ микроампер} &= 1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А}, \\ 1 \text{ килоампер} &= 1 \text{ кА} = 1000 \text{ А}. \end{aligned}$$

Силу тока измеряют приборами амперметрами — аналоговыми и цифровыми. Как те, так и другие могут быть многопредельными, предназначенными для измерения слабых и сильных, постоянных и переменных токов.

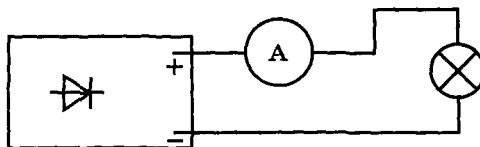


Рис. 25

Амперметр включают в разрыв (последовательно) с тем потребителем, в котором хотят измерить силу тока (рис. 25).

Если известны (измерены) сила тока в цепи и время его прохождения, то количество электричества, проходящего по участку цепи за это время, определяют по формуле  $q = It$ .

Один кулон называют также ампер-секундой ( $A \cdot c$ ). Если же подставить в формулу время в часах, то получают более крупную единицу: ампер-час ( $A \cdot ч$ ),  $1 A \cdot ч = 3600 A \cdot c$ .

В ампер-часах измеряют емкость (запас электрической энергии) автомобильных и других аккумуляторов.

**Цель работы:** измерить силу тока в одном и том же потребителе при различных положениях переключателя адаптера.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, адаптер, катушка ДВ детекторного радиоприемника, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Подготовьте мультиметр для измерения силы постоянного тока с пределом измерения 10 А.
2. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 26).
3. Включите адаптер в электрическую сеть и измерьте силу тока.
4. Последовательно переведите переключатель адаптера с одной позиции на другую и запишите показания амперметра в таблицу 8.

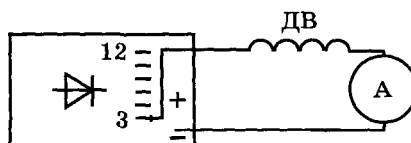


Рис. 26

Таблица 8

| Тип катушки | Сила тока в цепи катушки при положениях переключателя $I$ , А |     |     |     |     |      |
|-------------|---------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
|             | 3,0                                                           | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 12,0 |
| ДВ          |                                                               |     |     |     |     |      |
| СВ          |                                                               |     |     |     |     |      |

5. Сформулируйте вывод об изменении силы тока в цепи катушки в зависимости от напряжения на ней.

### ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

**Теоретический материал.** Из закона Ома ( $I = U/R$ ) следует, что при неизменной температуре отношение напряжения на участке цепи к силе тока в нем остается постоянным для данного проводника.

Но для различных проводников это отношение будет разным. Действительно, если провод длинный и тонкий, то по нему при определенном напряжении пойдет значительно более слабый ток, чем по проводнику более короткому и толстому из того же металла.

Отсюда ясно, что отношение напряжения к силе тока в проводе есть величина, характеризующая электрические свойства провода. Эта величина называется **электрическим сопротивлением** провода.

Причина сопротивления в том, что при направленном движении электроны взаимодействуют с ионами кристаллической решетки металла. При этом замедляется упорядоченное движение электронов и сквозь поперечное сечение проводника за время, равное 1 с, проходит меньшее их число. Соответственно уменьшается переносимый электронами заряд за время 1 с, т. е. уменьшается сила тока. Итак, причиной сопротивления является взаимодействие движущихся электронов с ионами кристаллической решетки.

Электрическое сопротивление  $R$  на участке цепи численно равно отношению напряжения  $U$  к силе тока  $I$  на этом участке:  $R = U/I$ .

Единица измерения сопротивления называется **омом**. Один Ом — это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах 1 В сила тока равна 1 А:  $1 \text{ Ом} = 1 \text{ В}/1 \text{ А}$ .

Применяют также кратные единицы сопротивления:

$$\begin{aligned} 1 \text{ килоом} &= 1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}, \\ 1 \text{ мегаом} &= 1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Поскольку сопротивление проводника зависит только от его внутренних и внешних параметров, то естественно предположить, что оно не зависит ни от напряжения, ни от силы тока. Это и предстоит проверить в лабораторной работе.

**Цель работы:** путем изучения зависимости (аналитической, графической) силы тока в проводнике от напряжения на нем убедиться в неизменности сопротивления проводника.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, адаптер, катушки от детекторного радиоприемника, провода соединительные.

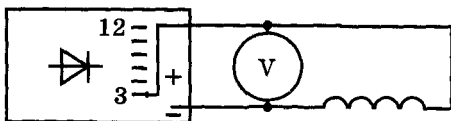


Рис. 27

#### Указания к работе:

1. В случае, если мультиметр один, то вначале соберите цепь по схеме, представленной на рисунке 27, и измерьте напряжение при

каждом положении переключателя на адаптере. А затем мультиметр переведите в режим работы амперметра, соберите цепь по схеме на рисунке 26, измерьте силу тока при каждом фиксированном положении переключателя на адаптере.

2. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 9.

Таблица 9

| Положение переключателя на адаптере | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 12,0 |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Напряжение $U$ на катушке ДВ, В     |     |     |     |     |     |      |
| Сила тока $I$ в катушке ДВ, А       |     |     |     |     |     |      |
| Сопротивление $R$ катушки ДВ, Ом    |     |     |     |     |     |      |

3. Постройте на миллиметровой бумаге график зависимости силы тока от напряжения. По графику определите среднее значение сопротивления проводника катушки ДВ.

4. Омметром мультиметра измерьте сопротивление проволоки катушки ДВ и сравните его с ранее найденным.

## Лабораторная работа 10

### ИЗУЧЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ

**Теоретический материал.** Из закона Ома для участка цепи ( $I = U/R$ ) следует, что при неизменной температуре отношение напряжения на участке цепи к силе тока в нем — величина постоянная для данного проводника.

Если в электрическую цепь включена лампочка накаливания, то с увеличением напряжения на ее зажимах усиливается накал лампочки, т. е. возрастает температура спирали.

Практика использования лампочек накаливания и других электронагревательных приборов (утюг, паяльник, гриль и т. д.) показывает, что с увеличением температуры сопротивление металлических проводников увеличивается. Зависимость сопротивления проводника от температуры можно объяснить с позиции молекулярно-кинетической теории. Согласно этой теории внутренняя энергия проводника, получаемая от источника тока, вызывает в проводнике более интенсивное колебательное движение атомов около средних положений в кристаллической решетке. Частота и амплитуда колебаний атомов зависят от температуры тел и с увеличением ее возрастают.

Увеличение частоты колебаний атомов приводит к более частым столкновениям свободных электронов с узлами кристаллической решетки, и это приводит к увеличению сопротивления проводника.

Зависимость сопротивления проводника от температуры определяют по формуле

$$R_2 = R_1 + R_1 \alpha (t_2^\circ - t_1^\circ),$$

где  $R_1$  — сопротивление проводника при температуре  $t_1$ ,  $R_2$  — сопротивление проводника при температуре  $t_2$ ,  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления, который показывает, на сколько увеличивается или уменьшается сопротивление проводника при изменении его температуры на  $1^\circ\text{C}$ . Значения температурных коэффициентов приводятся в справочных таблицах.

**Цель работы:** при изучении зависимости (аналитической, графической) силы тока в проводнике от напряжения на нем убедиться, что сопротивление проводника зависит от температуры.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, адаптер, лампочка М-6,3 В — 0,3 А на подставке, провода соединительные.

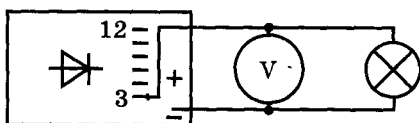


Рис. 28

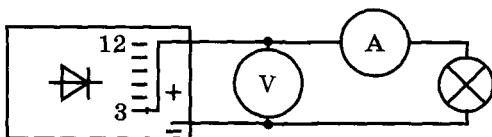


Рис. 29

### Указания к работе:

1. В случае, если мультиметр один, то вначале соберите цепь по схеме на рисунке 28 и измерьте напряжение при каждом положении переключателя на адаптере. Затем мультиметр переведите в режим работы амперметра, соберите цепь по схеме на рисунке 29, измерьте силу тока при каждом фиксированном положении переключателя на адаптере.

2. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 10.

Таблица 10

| Положение переключателя на адаптере | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 12,0 |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Напряжение $U$ на лампочке, В       |     |     |     |     |     |      |
| Сила тока $I$ в лампочке, А         |     |     |     |     |     |      |
| Сопротивление $R$ лампочки, Ом      |     |     |     |     |     |      |

3. На миллиметровой бумаге постройте график зависимости силы тока от напряжения. По графику определите нелинейность этой зависимости и объясните ее.

4. Омметром мультиметра измерьте начальное сопротивление спирали лампочки при комнатной температуре (ее измеряют также термометром мультиметра) и вычислите температуру вольфрамовой спирали лампочки при номинальном (или близком к нему) режиме работы.

## Лабораторная работа 11

### ИЗМЕРЕНИЕ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛАМПЫ

**Теоретический материал.** Электрическая энергия, как и всякий другой вид энергии, проявляется также при совершении работы. На практике принято считать, что энергией обладает электрический ток внешней цепи. Обладая энергией, он совершает работу, которая сводится к преодолению сопротивления приемников (потребителей). Электрическая энергия при этом превращается во внутреннюю (тепловую). Для вычисления работы или потребляемой энергии пользуются формулой

$$A = IUt.$$

**Работа тока** на участке цепи численно равна произведению напряжения  $U$  на концах этого участка на силу тока  $I$  и на время  $t$ , в течение которого совершалась работа.

Физическая величина, показывающая, какую работу совершает электрический ток за единицу времени, называется **мощностью**. Мощность электрического тока  $P$  численно равна отношению работы  $A$  ко времени  $t$ :  $P = A/t = IU$ .

Единица измерения мощности называется **ваттом** (Вт):  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А}$ .

Применяют также кратные единицы мощности:

$$\begin{aligned} 1 \text{ гектоватт} &= 1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт}, \\ 1 \text{ киловатт} &= 1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}, \\ 1 \text{ мегаватт} &= 1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Единица измерения работы называется **джоулем** (Дж):  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с}$ .

Применяют также и другие единицы работы:

$$\begin{aligned} 1 \text{ гектоватт} \cdot \text{час} &= 1 \text{ гВт} \cdot \text{ч} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 360\,000 \text{ Дж}, \\ 1 \text{ киловатт} \cdot \text{час} &= 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Работу электрического тока измеряют счетчиком электрической энергии, мощность тока — ваттметром или с помощью амперметра и вольтметра.

Каждый приемник электрической энергии характеризуется не только номинальным напряжением, но и номинальной мощностью. Числовые значения этих величин всегда указывают на приемниках, а у сетевых ламп накаливания — на их баллонах.

**Цель работы:** измерить работу и мощность электрического тока, потребляемого лампочкой, и сравнить ее с номинальной.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, адаптер, лампочка накаливания МН-6,3 В — 0,3 А, соединительные провода.

### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 29. Если мультиметр один, то соберите вначале электрическую цепь по схеме на рисунке 28 и измерьте напряжение на лампочке при каждом положении переключателя на адаптере. Далее мультиметр переведите в режим работы амперметра, соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 29 и измерьте силу тока при каждом фиксированном положении переключателя на адаптере.
2. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 11.

Таблица 11

| Положение переключателя на адаптере       | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 12,0 |
|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Напряжение $U$ на лампочке, В             |     |     |     |     |     |      |
| Сила тока $I$ в лампочке, А               |     |     |     |     |     |      |
| Мощность $P$ тока, Вт                     |     |     |     |     |     |      |
| Работа тока $A$ за время, равное 10 с, Дж |     |     |     |     |     |      |

3. Перепишите с цоколя лампочки ее паспортные данные: напряжение и силу тока. Подсчитайте номинальную мощность лампочки. Запишите, чем отличается горение лампочки, когда она работает не в номинальном режиме.

### Лабораторная работа 12

#### РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

**Теоретический материал.** Если известны геометрические размеры металлического проводника и материал, из которого он изготовлен, то его сопротивление определяют по формуле

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

где  $l$  — длина проводника, выраженная в метрах (м),  $S$  — площадь поперечного сечения, выраженная в квадратных миллиметрах ( $\text{мм}^2$ ),  $\rho$  — удельное сопротивление, т. е. сопротивление данного проводника длиной 1 м и сечением  $1 \text{ мм}^2$  при температуре  $20^\circ\text{C}$ .

Прямо пропорциональная зависимость сопротивления проводника от его длины объясняется тем, что с увеличением длины возрастает и количество препятствий, встречаемых электронами на пути своего движения. Наличие же обратно пропорциональной зависимости между сопротивлением проводника и площадью его поперечного сечения объясняют следующим образом: чем больше поперечное сечение проводника, тем больший заряд проходит через него за время, равное 1 с, т. е. тем больше сила тока в цепи. Сила тока возрастает потому, что сопротивление проводника становится меньше.

Удельное сопротивление характеризует собой внутреннюю структуру проводников, поэтому различно у разных металлов и их сплавов.

Единицей удельного сопротивления является  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ .

Эту единицу легко получить из выше приведенной формулы, а именно

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

**Цель работы:** произвести расчет сопротивления медной проволоки на катушке и сравнить его с измеренным с помощью мультиметра.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, катушка СВ из набора к детекторному радиоприемнику, миллиметровая линейка или штангенциркуль.

### Указания к работе:

1. С помощью миллиметровой линейки или штангенциркуля измерьте длину намотки катушки СВ на каркасе.
2. Подсчитайте число витков в этой намотке и определите диаметр проволоки.
3. Подсчитайте длину одного витка проволоки, предварительно измерив диаметр каркаса катушки.
4. Произведите расчет сечения проволоки и длину проволоки на катушке.
5. Произведите расчет сопротивления катушки.
6. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 12.

Таблица 12

| Параметры катушки                                                                                  | Размеры параметров |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. Длина намотки катушки $l$ , мм                                                                  |                    |
| 2. Число витков в катушке СВ, $n$                                                                  |                    |
| 3. Диаметр проволоки катушки $d$ , мм                                                              |                    |
| 4. Площадь сечения проволоки $S$ , мм <sup>2</sup>                                                 |                    |
| 5. Диаметр витка проволоки $L$ , м                                                                 |                    |
| 6. Длина проволоки в катушке $D$ , м                                                               |                    |
| 7. Удельное сопротивление медной проволоки $\rho$ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ |                    |
| 8. Сопротивление проволоки катушки $R$ , Ом                                                        |                    |

7. Омметром с самым низким пределом измерения измерьте сопротивление катушки и сравните его с расчетным.

## Лабораторная работа 13

### РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ РЕЗИСТОРОВ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

**Теоретический материал.** Последовательным называется такое соединение, при котором приемники (потребители) электроэнергии включаются в цепь один за другим. Ярким примером такого соединения является схема соединения электрических лампочек в елочной гирлянде.

Соединяя проводники последовательно, мы как бы увеличиваем длину проводника. А при увеличении длины проводника его сопротивление увеличивается. Поэтому общее сопротивление цепи при последовательном соединении равно сумме сопротивлений отдельных проводников (отдельных резисторов):  $R = R_1 + R_2$ .

При последовательном соединении проводников сила тока в цепи везде одинакова. Из двух последовательно соединенных резисторов основной тот, сопротивление которого больше. Он в основном и определяет общее сопротивление.

В случае, если все приемники (резисторы) имеют одинаковые сопротивления  $R_0$ , то общее сопротивление при последовательном соединении будет определяться по формуле

$$R_{\text{общ}} = nR_0,$$

где  $R_0$  — сопротивление одного потребителя (резистора),  $n$  — число последовательно соединенных потребителей.

**Цель работы:** по номинальным сопротивлениям резисторов рассчитать и измерить их общее сопротивление при последовательном соединении.

**Приборы и материалы:** три резистора и две контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника (см. рис. 15), мультиметр M890G, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Определите номинальные сопротивления резисторов и запишите их значения.
2. Произведите расчет общего сопротивления резисторов при их последовательном соединении. Мультиметром измерьте общее сопротивление.
3. Мультиметром измерьте сопротивления катушек СВ и ДВ, произведите расчет их общего сопротивления. Мультиметром измерьте общее сопротивление катушек СВ и ДВ.
4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 13.
5. Сравните результаты расчетов и измерений.

| Резистор, катушка | Сопротивление $R$ резистора, Ом |            | Общее сопротивление $R_{\text{общ}}$ резисторов |            |
|-------------------|---------------------------------|------------|-------------------------------------------------|------------|
|                   | номинальное                     | измеренное | расчетное                                       | измеренное |
| 1-й резистор      |                                 |            |                                                 |            |
| 2-й резистор      |                                 |            |                                                 |            |
| 3-й резистор      |                                 |            |                                                 |            |
| Два резистора     |                                 |            |                                                 |            |
| Три резистора     |                                 |            |                                                 |            |
| Катушка ДВ        |                                 |            |                                                 |            |
| Катушка СВ        |                                 |            |                                                 |            |
| Катушки ДВ + СВ   |                                 |            |                                                 |            |

### Лабораторная работа 14

## РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ РЕЗИСТОРОВ ПРИ ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

**Теоретический материал.** Электрические цепи, с которыми приходится иметь дело каждому из нас, обычно состоят не из одного потребителя (приемника) электрического тока, а из нескольких. В сфере быта практически все потребители электрической энергии соединяются параллельно. Это соединение удобно тем, что при выключении одного потребителя, другие продолжают работать.

Последовательное соединение потребителей увеличивает длину проводника и в соответствии с формулой  $R = \rho l / S$  ведет к увеличению сопротивления. При параллельном же соединении потребителей как бы увеличивается площадь поперечного сечения проводника. Поэтому общее сопротивление цепи уменьшается и становится меньше сопротивления каждого из проводников, входящих в цепь.

При параллельном соединении потребителей все приборы находятся под одним и тем же напряжением. Если обозначить общее сопротивление цепи параллельно соединенных приборов через  $R$ , то на основании закона Ома можно записать:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \quad \text{или} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Если цепь составлена из  $n$  одинаковых параллельно соединенных резисторов с сопротивлениями  $R_0$ , то общее сопротивление цепи определяют по формуле  $R = R_0/n$ .

Общее сопротивление сложной цепи, в которой есть и параллельные, и последовательные участки, подсчитывают постепенно, шаг за шагом. Например, сначала определяют общее сопротивление параллельного участка, а затем его суммируют со всеми последовательными сопротивлениями участков.

**Цель работы:** по номинальным сопротивлениям резисторов рассчитать и измерить их общее сопротивление при параллельном соединении.

**Приборы и материалы:** три резистора и две контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, мультиметр M890G, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Определите номинальные сопротивления резисторов и запишите в таблицу их значения.
2. Произведите расчет общего сопротивления сначала для двух, а затем для трех параллельно соединенных резисторов.
3. Измерьте мультиметром общее сопротивление сначала двух, а затем трех параллельно соединенных резисторов и занесите результаты измерений в таблицу 14.
4. Измерьте мультиметром сопротивления катушек СВ и ДВ и произведите расчет их общего сопротивления при параллельном соединении. Мультиметром измерьте их общее сопротивление и сравните с расчетным.
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 14.

Таблица 14

| Резистор, катушка | Сопротивление $R$ резистора, Ом |            | Общее сопротивление $R_{\text{общ}}$ резисторов, Ом |            |
|-------------------|---------------------------------|------------|-----------------------------------------------------|------------|
|                   | номинальное                     | измеренное | расчетное                                           | измеренное |
| 1-й резистор      |                                 |            |                                                     |            |
| 2-й резистор      |                                 |            |                                                     |            |
| 3-й резистор      |                                 |            |                                                     |            |
| Два резистора     |                                 |            |                                                     |            |
| Три резистора     |                                 |            |                                                     |            |
| Катушка ДВ        |                                 |            |                                                     |            |
| Катушка СВ        |                                 |            |                                                     |            |
| Катушки ДВ + СВ   |                                 |            |                                                     |            |

6. Сравните результаты расчетов и измерений.

## Лабораторная работа 15

### РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ПРОВОДНИКАХ

**Теоретический материал.** *Первая особенность* для последовательно соединенных проводников (потребителей) заключается в том, что сила тока во всех приемниках (потребителях) одинакова:

$$I = I_1 = I_2.$$

Следовательно, для измерения силы тока амперметр можно включать в любом месте последовательной цепи и он везде будет показывать одинаковые значения.

*Вторая особенность* заключается в том, что напряжения на отдельных потребителях  $U_1 = IR_1$ ,  $U_2 = IR_2$  не равны между собой, если сопротивления потребителей разные.

*Третья особенность* состоит в том, что полное напряжение в цепи равно сумме напряжений на отдельных потребителях:

$$U = U_1 + U_2.$$

*Четвертая особенность* состоит в том, что при последовательном соединении потребителей напряжение на каждом из них прямо пропорционально сопротивлению:  $U_1/U_2 = R_1/R_2$ .

Последовательное соединение резисторов используют в качестве делителя напряжения (рис. 30). Например, имеются источник тока достаточно высокого напряжения и низковольтная лампочка. Для обеспечения нормального режима работы лампочки собирают делитель напряжения (рис. 31). При этом сопротивление участка делителя, с которого снимают напряжение, должно быть значительно меньше, чем сопротивление лампочки. Иначе подключение лампочки изменит сопротивление всего участка и напряжение на нем снизится. В этом плане конструировать делитель напряжения более удобно на базе потенциометра, который позволяет регулировать выходное напряжение, т. е. подбирать его под рабочее напряжение потребителя (рис. 32).

**Цель работы:** измерить напряжения на последовательно соединенных потребителях и сравнить их с расчетными.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр М890G, катушки СВ и ДВ из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, реостат-потенциометр, провода соединительные.

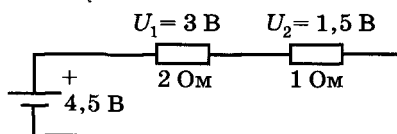


Рис. 30

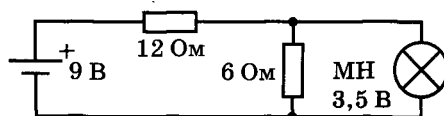


Рис. 31

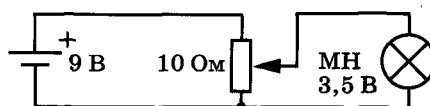


Рис. 32

## Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 33 и амперметром измерьте силу тока на разных участках последовательной цепи.

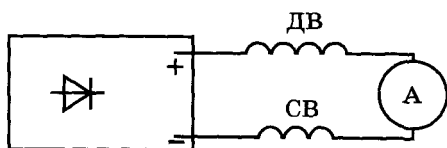


Рис. 33

2. Измерьте напряжение на зажимах источника тока (адаптера) и на каждой катушке. Занесите результаты измерений в таблицу 15.

3. При отключенной цепи измерьте мультиметром сопротивления катушек и соотнесите со значениями напряжений на них.

Таблица 15

| Потребители     | Сила тока $I$ , А | Сопротивление $R$ , Ом | Напряжение          |                          | Напряжение источника $U_{ист}$ , В |
|-----------------|-------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|
|                 |                   |                        | расчетное $U_p$ , В | измеренное $U_{изм}$ , В |                                    |
| Катушка СВ      |                   |                        |                     |                          |                                    |
| Катушка ДВ      |                   |                        |                     |                          |                                    |
| Катушки СВ + ДВ |                   |                        |                     |                          |                                    |

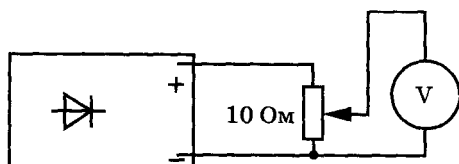


Рис. 34

4. Соберите электрическую цепь потенциометра (рис. 34) и зафиксируйте показания вольтметра при повороте ручки на равные углы. Результаты измерений занесите в таблицу 16.

Таблица 16

|                         |    |     |     |     |      |      |      |
|-------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Угол                    | 0° | 30° | 60° | 90° | 120° | 150° | 180° |
| Показания вольтметра, В |    |     |     |     |      |      |      |

## Лабораторная работа 16

### РАСЧЕТ И ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ

**Теоретический материал.** Первая особенность параллельного соединения потребителей электрической энергии в том, что к ним подводится одинаковое напряжение, равное напряжению источника тока:

$$U = U_1 = U_2.$$

**Вторая особенность** параллельного соединения состоит в том, что силы тока в отдельных приемниках неодинаковы, они определяются сопротивлениями потребителей:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

**Третья особенность** состоит в том, что сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в отдельных параллельно соединенных потребителях:

$$I = I_1 + I_2.$$

**Четвертая особенность** состоит в том, что между токами и сопротивлениями параллельных ветвей существует обратно пропорциональная зависимость:  $U_1 = I_1 R_1$ ,  $U_2 = I_2 R_2$ ,  $I_1 R_1 = I_2 R_2$ ,

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

При параллельном соединении все потребители питаются от источника независимо один от другого, при отключении одного из них другие продолжают получать энергию. К тому же при параллельном включении потребителей нужно меньшее напряжение, чем при последовательном. Например, для питания 10 ламп, рассчитанных на напряжение 220 В, при последовательном их соединении потребуется напряжение 2200 В, а при параллельном — всего 220 В. Использование высокого напряжения, во-первых, более опасно для жизни человека, а во-вторых, делает более дорогой электрическую проводку, так как приходится ставить провода с повышенным качеством изоляции.

**Цель работы:** измерить силу тока в параллельных ветвях и в общей цепи и сравнить их с расчетными.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр М890G, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, лампочка МН-6,3 В — 0,3 А, провода соединительные, реостат-потенциометр.

#### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 35 и измерьте напряжение на каждом потребителе.
2. По измеренному напряжению и сопротивлению потребителя (его измеряют мультиметром) рассчитайте силу тока в приемниках электрической энергии.
3. Измерьте силу тока в общей цепи и в каждом потребителе, включая приборы (поочередно) так, как показано на схеме на рисунке 36.

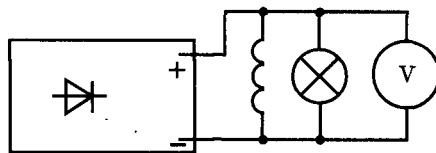


Рис. 35

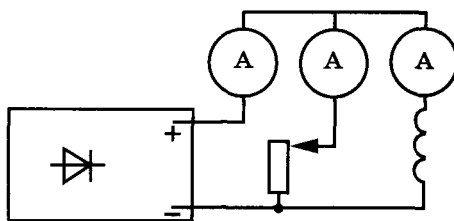


Рис. 36

4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 17.

Таблица 17

| Потребители       | Напряжение<br>$U$ , В | Сопротивле-<br>ние $R$ , Ом | Сила тока              |                             |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                   |                       |                             | расчетная<br>$I_p$ , А | измеренная<br>$I_{изм}$ , А |
| Катушка ДВ        |                       |                             |                        |                             |
| Реостат           |                       |                             |                        |                             |
| Катушка и реостат |                       |                             |                        |                             |

5. Убедитесь в справедливости всех остальных особенностей законов электрического тока для параллельного соединения проводников.

### Лабораторная работа 17

## ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

**Теоретический материал.** Если соединить три одинаковых проводника последовательно, то сопротивление увеличится в три раза, так как сопротивление прямо пропорционально длине проводника. Соединение трех одинаковых проволок параллельно практически означает, что площадь поперечного сечения проводника утроилась, а длина осталась той же. Вместе с тем сопротивление этого проводника уменьшилось в три раза по сравнению с исходным значением. Эта зависимость выражается формулой

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

где  $R$  — сопротивление проводника,  $l$  — длина проводника,  $S$  — площадь поперечного сечения проводника,  $\rho$  — удельное сопротивление.

Из этой формулы можно определить удельное сопротивление:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

Так как единицей сопротивления является 1 Ом, единицей площади поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$ , а единицей длины 1 м, то единицей удельного сопротивления будет

$$\frac{1 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} \text{ или } 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Удобнее выражать площадь поперечного сечения проводника в квадратных миллиметрах, так как она чаще всего бывает небольшой. Тогда единицей удельного сопротивления будет  $1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ .

Измерение удельного сопротивления проводника и сравнение его с табличным позволяет иногда установить вещество, из которого изготовлен проводник.

**Цель работы:** измерить удельное сопротивление проводника и по табличным данным установить (ориентировочно) материал, из которого он изготовлен.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, проводник из куска нихромовой проволоки, линейка сантиметровая, штангенциркуль или микрометр.

**Указания к работе:**

1. С помощью омметра мультиметра измерьте сопротивление проводника.
2. Сантиметровой лентой (линейкой) измерьте длину проводника.
3. Штангенциркулем (микрометром) измерьте диаметр проводника.
4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 18.

*Таблица 18*

| Измеряемые параметры проводника                            | Результаты измерений и вычислений |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Длина $l$ , м                                           |                                   |
| 2. Диаметр $d$ , мм                                        |                                   |
| 3. Площадь поперечного сечения $S$ , мм <sup>2</sup>       |                                   |
| 4. Сопротивление $R$ , Ом                                  |                                   |
| 5. Удельное сопротивление $\rho$ , Ом · мм <sup>2</sup> /м |                                   |

5. По справочнику определите материал, из которого изготовлен проводник.

**Лабораторная работа 18**

**ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДНИКОВ,  
ВКЛЮЧЕННЫХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ,  
ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИЯХ**

**Теоретический материал.** *Закон Джоуля — Ленца* по тепловому действию тока гласит: количество теплоты, выделяемое проводником с током, прямо пропорционально квадрату силы тока, времени его протекания и сопротивлению проводника:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $Q$  — количество теплоты, Дж;  $I$  — сила тока, А;  $R$  — сопротивление проводника, Ом;  $t$  — время, с.

4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 17.

Таблица 17

| Потребители       | Напряжение<br>$U$ , В | Сопротивле-<br>ние $R$ , Ом | Сила тока              |                             |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
|                   |                       |                             | расчетная<br>$I_p$ , А | измеренная<br>$I_{изм}$ , А |
| Катушка ДВ        |                       |                             |                        |                             |
| Реостат           |                       |                             |                        |                             |
| Катушка и реостат |                       |                             |                        |                             |

5. Убедитесь в справедливости всех остальных особенностей законов электрического тока для параллельного соединения проводников.

### Лабораторная работа 17

#### ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

**Теоретический материал.** Если соединить три одинаковых проводника последовательно, то сопротивление увеличится в три раза, так как сопротивление прямо пропорционально длине проводника. Соединение трех одинаковых проволок параллельно практически означает, что площадь поперечного сечения проводника утроилась, а длина осталась той же. Вместе с тем сопротивление этого проводника уменьшилось в три раза по сравнению с исходным значением. Эта зависимость выражается формулой

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

где  $R$  — сопротивление проводника,  $l$  — длина проводника,  $S$  — площадь поперечного сечения проводника,  $\rho$  — удельное сопротивление.

Из этой формулы можно определить удельное сопротивление:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

Так как единицей сопротивления является 1 Ом, единицей площади поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$ , а единицей длины 1 м, то единицей удельного сопротивления будет

$$\frac{1 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} \text{ или } 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Удобнее выражать площадь поперечного сечения проводника в квадратных миллиметрах, так как она чаще всего бывает небольшой. Тогда единицей удельного сопротивления будет  $1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ .

Измерение удельного сопротивления проводника и сравнение его с табличным позволяет иногда установить вещество, из которого изготовлен проводник.

**Цель работы:** измерить удельное сопротивление проводника и по табличным данным установить (ориентировочно) материал, из которого он изготовлен.

**Приборы и материалы:** мультиметр М890G, проводник из куска никромовой проволоки, линейка сантиметровая, штангенциркуль или микрометр.

**Указания к работе:**

1. С помощью омметра мультиметра измерьте сопротивление проводника.
2. Сантиметровой лентой (линейкой) измерьте длину проводника.
3. Штангенциркулем (микрометром) измерьте диаметр проводника.
4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 18.

*Таблица 18*

| Измеряемые параметры проводника                            | Результаты измерений и вычислений |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Длина $l$ , м                                           |                                   |
| 2. Диаметр $d$ , мм                                        |                                   |
| 3. Площадь поперечного сечения $S$ , мм <sup>2</sup>       |                                   |
| 4. Сопротивление $R$ , Ом                                  |                                   |
| 5. Удельное сопротивление $\rho$ , Ом · мм <sup>2</sup> /м |                                   |

5. По справочнику определите материал, из которого изготовлен проводник.

**Лабораторная работа 18**

**ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДНИКОВ,  
ВКЛЮЧЕННЫХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ,  
ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИЯХ**

**Теоретический материал.** Закон Джоуля — Ленца по тепловому действию тока гласит: количество теплоты, выделяемое проводником с током, прямо пропорционально квадрату силы тока, времени его прохождения и сопротивлению проводника:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $Q$  — количество теплоты, Дж;  $I$  — сила тока, А;  $R$  — сопротивление проводника, Ом;  $t$  — время, с.

Эта формула позволяет подсчитать количество теплоты, выделившееся в отдельных проводниках при последовательном соединении. Она удобна для последовательного соединения потому, что сила тока в этой цепи имеет одно и то же значение. Формула показывает, что при последовательном соединении нескольких потребителей в каждом выделяется количество теплоты, прямо пропорциональное сопротивлению проводника.

Пользуясь законом Ома  $I = U/R$ , подставляют значение силы тока в первую формулу и в результате получают:

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Эта формула удобна для расчета количества теплоты, которое выделяется при параллельном соединении потребителей. При этом соединении сила тока в проводниках различна, а напряжение на их концах имеет одно и то же значение.

Формула показывает, что при параллельном соединении в каждом проводнике выделяется количество теплоты, обратно пропорциональное сопротивлению проводника.

**Цель работы:** измерить температуру проводников разного сопротивления при их последовательном и параллельном включении к одному и тому же источнику тока.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Мультиметр переведите в режим работы термометра с внешним термодатчиком.
2. Омметром мультиметра измерьте сопротивления катушек ДВ и СВ.
3. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 37.

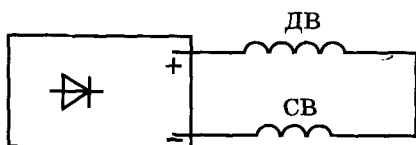


Рис. 37

4. Прикоснитесь термопарой к катушке ДВ и через время, равное 2—3 мин, снимите показания термометра.

Затем то же сделайте по отношению к катушке СВ.

5. Сравните эти показания, результаты измерений и наблюдений занесите в таблицу 19.

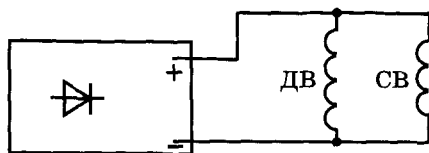


Рис. 38

6. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 38. Прикоснитесь термопарой вначале к катушке ДВ, а затем к катушке СВ. Зафиксируйте показания термометра в таблице 19.

| Тип катушки | Показания термометра при соединении |              |
|-------------|-------------------------------------|--------------|
|             | последовательном                    | параллельном |
| ДВ          |                                     |              |
| СВ          |                                     |              |

7. Сделайте выводы по результатам проведенных опытов и сопоставьте их с основными положениями теоретических сведений.

### Лабораторная работа 19

## СБОРКА И ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

**Теоретический материал.** Гальванический элемент состоит из двух разнородных (сделанных из разных веществ) электродов, опущенных в раствор электролита. Любой раствор электролита, например раствор поваренной соли в воде, состоит, как минимум, из двух веществ: одно из них — растворитель (в нашем случае вода), другое — растворенное вещество (поваренная соль).

В растворе (в воде) растворенное вещество находится в виде молекул, атомов и ионов, которые окружены атомами, ионами или молекулами растворителя. Растворы однородны, поскольку в них отсутствует граница раздела между растворителем и растворенным веществом.

Молекулы воды полярны, и под их действием в электролите ионы металла отрываются от поверхности своего электрода и переходят в жидкость (электролит). При этом электролит заряжается положительно, а на металлическом электроде появляется избыток электронов, т. е. он заряжается отрицательно. Благодаря взаимодействию электронов металла и ионов электролита на границе металл — жидкость возникает двойной электрический слой (рис. 39), который своим полем тормозит дальнейший переход ионов металла в электролит. В итоге на этой границе устанавливается равновесие зарядов. Оно не постоянно, так как зависит от вещества металла, от концентрации его ионов в растворе, от температуры электролита и т. д.

Двойной электрический слой создает напряжение, или электродный потенциал, значение которого определяют, как известно из химии, по отношению к водородному электроду, т. е. электроду с нулевым потенциалом. Каждый металл имеет свой потенциал по отношению к водородному электроду (см. электрохимический ряд напряжений).

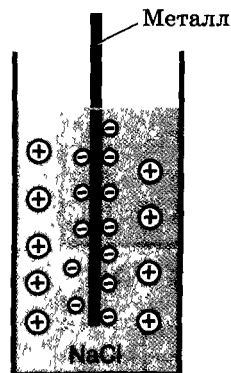


Рис. 39

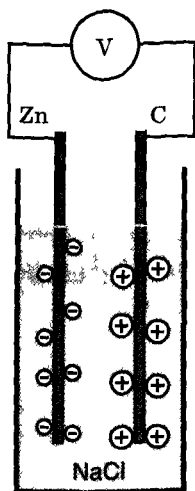


Рис. 40

Пример: для обнаружения электродного потенциала погружают в водный раствор NaCl (поваренной соли) цинковый электрод (стержень, пластинка), который «растворяется» в электролите. В результате на металлическом электроде образуется избыток электронов, в электролите — избыток ионов цинка:  $Zn = Zn^{2+}$  (выходят в раствор)  $+ 2e^-$  (остаются на электроде).

Процесс такого растворения ограничивается электродным потенциалом, который препятствует поступлению новых ионов цинка в раствор. Скопление ионов цинка у поверхности цинкового электрода отодвигает одноименно заряженные ионы натрия и подтягивает к себе ближайшие ионы хлора (рис. 40), если электрод помещен в раствор хлорида натрия.

При погружении в этот же электролит угольного электрода, который практически не растворяется, положительные ионы натрия и цинка из раствора частично переходят на этот электрод. Нерастворимость угольного

электрода обеспечивает его потенциал, равный потенциалу раствора.

Наличие двух электродов позволяет измерить напряжение (разность потенциалов) на этих электродах или напряжение на полюсах гальванического элемента. Для измерения напряжения на зажимах гальванического элемента к ним присоединяют вольтметр (см. рис. 40), который образует высокоомную внешнюю цепь. В этом случае электроны с цинкового электрода, где их избыток, через вольтметр переходят к угольному электроду, где их недостаток. В конечном счете движение электронов во внешней цепи частично нейтрализует заряд электролита, т. е. ослабляет электродный потенциал. Ослабление этого потенциала создает условия для перехода в раствор новых ионов цинка, и тем самым обеспечивается непрерывная работа гальванического элемента.

**Цель работы:** смоделировать гальванические элементы из разных гальванических пар и измерить напряжения на их электродах.

**Приборы и материалы:** комплект по электролизу (см. рис. 17), мультиметр, провода соединительные, электролит (раствор поваренной соли с концентрацией: 2—3 г соли на 100 г воды), лампочка на подставке.

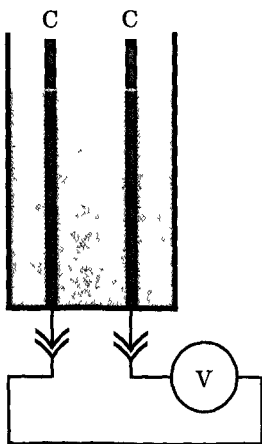


Рис. 41

#### Указания к работе:

1. Закрепите в кювете два угольных электрода и налейте в нее электролит до уровня, позволяющего не смачивать руки при смене электродов (рис. 41). Измерьте напряжение на зажимах электродов.

2. Пару угольных электродов замените парой медных и снова измерьте напряжение.
3. Погружайте в раствор разные пары электродов: медь — уголь, цинк — медь, цинк — уголь. У каждого вновь полученного гальванического элемента измерьте напряжение и определите полярность электродов.
4. Результаты измерений и заключений запишите в таблицу 20.

Таблица 20

| Гальванические пары | Напряжение $U$ на электродах, В | Вещество электрода и его полярность |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| Уголь — уголь       |                                 |                                     |
| Медь — медь         |                                 |                                     |
| Медь — уголь        |                                 |                                     |
| Медь — цинк         |                                 |                                     |
| Цинк — уголь        |                                 |                                     |

5. Для наблюдения явления поляризации в раствор погрузите электроды из цинка и угля. К полученному гальваническому элементу подключите низковольтную лампочку и наблюдайте за постепенным ослаблением яркости света, а также за выделением газа на анодном электроде, т. е. за поляризацией электрода.

6. Достаньте анод, освободите его от газовых пузырьков и снова погрузите в электролит. Наблюдайте за свечением лампочки.

7. Наблюдаемые в эксперименте явления объясните с позиции теоретических материалов к этой работе.

## Лабораторная работа 20

### СБОРКА И ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ АККУМУЛЯТОРА

**Теоретический материал.** Свинцово-кислотный аккумулятор является принадлежностью любого автомобиля. Модель этого аккумулятора состоит из двух электродов из оксида свинца II, погруженных в 30%-ный раствор серной кислоты. В результате химической реакции  $Pb + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2$  на поверхности электродов образуется слой сульфата свинца.

Подключают модель аккумулятора к источнику тока (рис. 42). В результате прохождения тока на катоде  $PbSO_4 + 2e^- = Pb^{2+} + SO_4^{2-}$  сульфат свинца восстанавливается

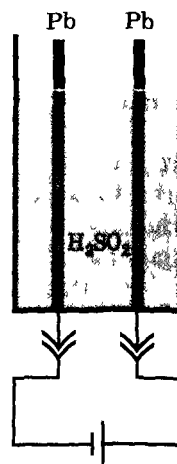


Рис. 42

до металлического свинца, а на аноде  $\text{PbSO}_4 - 2e^- + 2\text{H}_2\text{O} = \text{PbO}_2 + 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$  сульфат окисляется до оксида свинца IV.

Этот процесс называется зарядкой аккумулятора, в результате которой первоначально одинаковые электроды становятся химически различными и главное — между ними возникает напряжение, т. е. аккумулятор становится источником тока.

При разрядке аккумулятора ток во внешней цепи, т. е. цепи потребителя, идет от  $\text{PbO}_2$  к  $\text{Pb}$ , а внутри аккумулятора ионы  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{H}^+$  движутся в направлениях, обратных их движению при зарядке. При зарядке аккумулятора электрическая энергия превращается благодаря окислительно-восстановительным процессам в химическую, а при разрядке — химическая энергия превращается в энергию электрического тока. При полной разрядке оба электрода состоят из оксида свинца.

Только что заряженный свинцово-кислотный аккумулятор имеет напряжение на электродах примерно 2,7 В, но при разрядке это напряжение быстро падает до 2 В и длительное время остается практически неизменным.

Автомобильный аккумулятор — это батарея из шести последовательно соединенных аккумуляторов, поэтому на аккумуляторе написано «12 В».

**Цель работы:** собрать модель аккумулятора, произвести его зарядку и разрядку, понять происходящие при этом процессы.

**Приборы и материалы:** комплект по электролизу (см. рис. 17), адаптер, мультиметр, лампочка на подставке, провода соединительные, электролит: раствор поваренной соли (в 100 г воды растворяют 2—3 г соли) или 30%-ный раствор серной кислоты.

### **Указания к работе:**

1. При наличии раствора кислоты модель аккумулятора собирают из двух свинцовых электродов, установленных в кювете. При отсутствии кислоты модель собирают из двух угольных электродов, установленных в кювете, в которую наливают примерно до половины раствор поваренной соли.

2. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 42 и наблюдайте в течение 2—3 мин интенсивное выделение пузырьков газа на электродах: на катоде выделяется водород, а на аноде — хлор. Газы частично поглощаются угольными электродами. В результате между ними возникает напряжение, обратное приложенному.

3. Понаблюдайте за изменением силы зарядного тока, а при отключенном источнике тока измерьте напряжение на электродах модели аккумулятора.

4. Далее к зажимам аккумулятора подключите лампочку и наблюдайте за увеличением и уменьшением яркости горения лампы, т. е. за разрядкой аккумулятора.

5. Соберите модель свинцового аккумулятора, зарядите его в течение 3—4 мин и следите при этом за изменением цвета электродов.

6. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 43 и через интервалы времени, равные 30 с, фиксируйте напряжение на зажимах. Результаты измерений занесите в таблицу 21 и постройте график разрядки аккумулятора.

Таблица 21

| Время $t$ , с | Напряжение $U$ , В |
|---------------|--------------------|
| 0             |                    |
| 30            |                    |
| 60            |                    |
| 90            |                    |
| 120           |                    |
| 150           |                    |
| 180           |                    |
| 210           |                    |

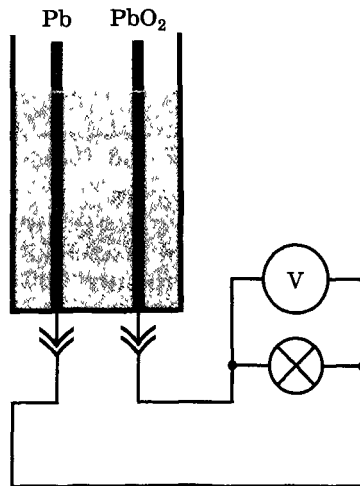


Рис. 43

7. Соедините зажимы аккумулятора проводником и через 1—2 мин разрядки сравните цвет поверхностей обоих электродов.

## Лабораторная работа 21

### ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА (ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ)

**Теоретический материал.** На внешнем и внутреннем участках электрической цепи гальванического элемента (рис. 44) существуют электрические поля и движутся заряды (электроны — в металлических проводниках, ионы — в электролитах). Внутри гальванического элемента действуют так называемые сторонние силы (химические реакции), благодаря которым происходит разделение и перемещение зарядов.

По мере накопления зарядов на электродах растет и напряженность электрического поля внутри источника. При равенстве сторонних сил и сил электрического поля

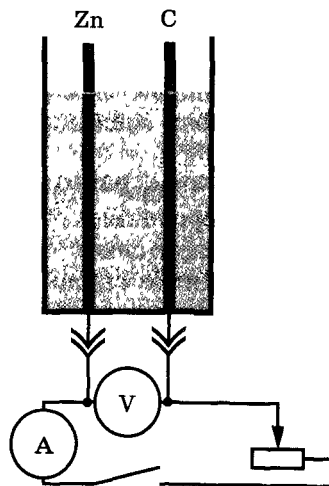


Рис. 44

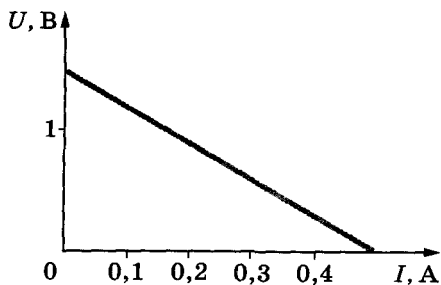


Рис. 45

$F_{\text{ст}} = F_{\text{эл}}$  разделение зарядов прекращается, т. е. химические реакции приостанавливаются.

После замыкания внешней цепи начинается движение электронов в проводнике и напряжение на электродах уменьшается вследствие нейтрализации зарядов. В этом случае сторонние силы превосходят силы электрического поля и на электродах восстанавливается напряжение.

Цинковый и угольный электроды устанавливают в кювете, в которую наливают электролит: 30%-ный раствор серной кислоты или электролит, состоящий из 100 частей чистой воды, 37 частей серной кислоты и 16 частей двуххромовокислого калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

Напряжение на полюсах замкнутого гальванического элемента линейно зависит от силы тока в цепи, поскольку ЭДС источника и его внутреннее сопротивление постоянны, то  $U = \mathcal{E} - Ir$ . Графически эта зависимость изображается прямой линией (рис. 45), где отрезок, отсекаемый графиком на оси ординат, соответствует ЭДС источника, отрезок, отсекаемый графиком на оси абсцисс, соответствует силе тока короткого замыкания.

По известным ЭДС и силе тока короткого замыкания нетрудно определить внутреннее сопротивление гальванического элемента  $r = \mathcal{E}/I$ , его можно определить и по формуле  $r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}$ .

**Цель работы:** проверить справедливость закона Ома для полной цепи и измерить внутреннее сопротивление сконструированного гальванического элемента.

**Приборы и материалы:** комплект по электролизу (кювета, цинковый и угольный электроды), мультиметр, электролит, реостат-потенциометр, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 44 и измерьте ЭДС предварительно собранного гальванического элемента.
2. Замкните внешнюю электрическую цепь и при нескольких положениях ползунка реостата снимите показания вольтметра и амперметра. Результаты измерений занесите в таблицу 22.

Таблица 22

|                         |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|--|--|--|
| Показания вольтметра, В |  |  |  |  |  |  |
| Показания амперметра, А |  |  |  |  |  |  |

3. По данным таблицы постройте график зависимости  $U$  от  $I$  и продолжите его до пересечения с осями координат.

4. Сравните ЭДС источника и внутреннее сопротивление, определяемые по графику, с этими же величинами, измеренными с помощью приборов.

5. Сравните результаты, полученные при постановке эксперимента, с теоретическими положениями.

## **Лабораторная работа 22**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА (ВТОРОЙ ВАРИАНТ)**

**Теоретический материал.** Закон Ома для полной цепи является основным законом постоянного тока:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

С физической точки зрения этот закон означает, что, чем больше электродвижущая сила  $\mathcal{E}$ , т. е. энергия, которую расходует источник на перемещение каждого единичного заряда, тем быстрее движутся заряды. В свою очередь, от скорости движения зарядов зависит сила тока  $I$ .

Преобразовав формулу, получают выражение для электродвижущей силы:  $\mathcal{E} = IR + Ir$ , где  $U = IR$  — напряжение на зажимах источника тока при замкнутой цепи,  $U_0 = Ir$  — падение напряжения на внутреннем участке цепи.

При разомкнутой цепи (см. рис. 44), когда к полюсам источника тока подключен высокоомный вольтметр (мультиметр), внутреннее сопротивление источника тока не оказывает заметного влияния на силу тока. При этом напряжение  $U$  на зажимах источника примерно равно  $\mathcal{E}$ .

Для определения внутреннего сопротивления источника тока замыкают ключ (см. рис. 44), снимают показания амперметра и вольтметра. Далее определяют падение напряжения на внутреннем участке цепи  $\mathcal{E} - U = U_0$ , по формуле  $\frac{\mathcal{E} - U}{I} = r$  находят внутреннее сопротивление  $r$ .

Химические источники (гальванические элементы, аккумуляторы) очень часто соединяют в батареи, например, для питания радиоприемника, плеера и т. д. При последовательном соединении элементов, когда «+» первого источника тока соединяется с «-» второго и т. д., ЭДС батареи равна сумме ЭДС элементов. Это же правило справедливо и для внутреннего сопротивления батареи.

**Цель работы:** измерить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

**Приборы и материалы:** мультиметр M890G, реостат-потенциометр, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 44. При разомкнутом ключе измерьте ЭДС источника. При замкнутом ключе измерьте падение напряжения на внешнем участке.

2. При наличии одного мультиметра его отключают, переводят в режим измерения силы постоянного тока и включают в электрическую цепь в качестве амперметра (см. рис. 44).

3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 23.

Таблица 23

| ЭДС $\mathcal{E}$ ,<br>В | Напряжение<br>на внешнем<br>участке $U$ , В | Напряжение<br>на внутреннем<br>участке $U_0$ , В | Сила тока $I$ ,<br>А | Внутреннее<br>сопротивление $r$ ,<br>Ом |
|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
|                          |                                             |                                                  |                      |                                         |
|                          |                                             |                                                  |                      |                                         |

## Лабораторная работа 23

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

**Теоретический материал.** Массу вещества, выделившуюся на катоде за определенный промежуток времени, можно определить по формуле  $m = m_0 N$ , где  $m_0$  — масса одного иона,  $N$  — число ионов.

Полный заряд  $Q$  всех ионов, осевших на катоде, равен  $Q = qN$ , где  $q$  — заряд одного иона. Из соотношения левых и правых частей выше записанных уравнений получают:  $\frac{m}{Q} = \frac{m_0}{q} = k$ , где  $k$  — *электрохимический эквивалент вещества*.

Для данного электролита отношение массы иона к его заряду сохраняется постоянным и равным  $k$ .

Последнюю формулу можно записать иначе:  $m = kQ$  — это первый закон Фарадея. Из этого закона следует, что электрохимический эквивалент вещества численно равен массе вещества, выделившегося на электроде при прохождении через электролит заряда, равного 1 Кл. Электрохимический эквивалент вещества выражается в килограммах на кулон (кг/Кл). Учитывая, что  $Q = It$ , закон Фарадея можно записать иначе:  $m = kIt$ .

Для определения электрохимического эквивалента вещества массу иона выражают через молярную массу  $M$  и постоянную Авогадро:  $m_0 = \frac{M}{N_A}$ , заряд иона кратен заряду электрона:  $q = ne$ , где  $n$  — валент-

ность химического элемента. Тогда, подставляя в выражение  $k = \frac{m_0}{q}$  зна-

чения  $m_0$  и  $q$ , получают:  $k = \frac{M}{eN_A n}$ . Иногда последнее выражение называют вторым законом Фарадея.

Произведение заряда электрона на постоянную Авогадро — это постоянная Фарадея:  $F = eN_A = 9,65 \cdot 10^4$  Кл/моль. Если ее подставить в выражение первого закона, то получают объединенный закон Фарадея:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot Q = \frac{MIt}{eN_A n}.$$

Отсюда можно определить заряд одновалентного иона или электрона:  $e = \frac{MIt}{mN_A n}$ .

**Цель работы:** экспериментальным путем определить заряд электрона.

**Приборы и материалы:** кювета с электродами, мультиметр, реостат-потенциометр, адаптер, весы, сосуд с раствором медного купороса, часы, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Из двух электродов (угольного и медного) взвесьте угольный электрод с максимально возможной точностью.

2. На штыри кюветы установите угольный и медный электроды, налейте в кювету раствор медного купороса.

3. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 46, при этом угольный электрод присоедините к «—» минусу источника тока.

4. Заметьте время и замкните электрическую цепь. Реостатом установите определенную силу тока и во все время опыта поддерживайте ее неизменной.

5. По истечении заданного времени (15—20 мин) цепь разомкните, снимите угольный электрод, ополосните его в воде и высушите над электрическим нагревателем. Этот электрод снова взвесьте и по формуле  $e = \frac{ItM}{mN_A n}$  вычислите заряд электрона.

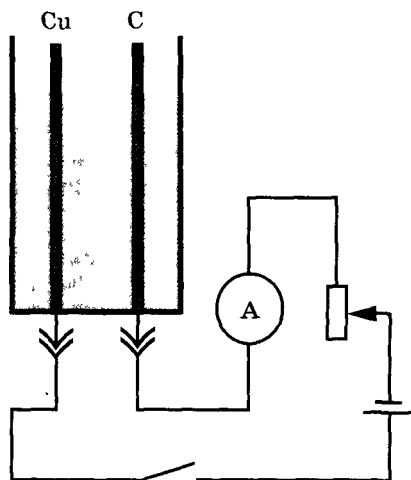


Рис. 46

## Лабораторная работа 24

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРЯДА ИОНА ВОДОРОДА

**Теоретический материал.** При растворении электролитов под влиянием электрического поля полярных молекул воды происходит распад молекул электролитов на ионы. Этот процесс называется электролитиче-

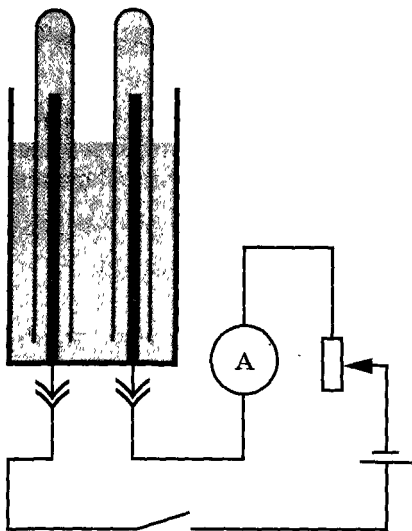
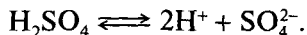


Рис. 47

ской диссоциацией. Например, электролит серной кислоты диссоциирует на ионы:



Под действием электрического поля внешнего источника на катоде будет выделяться водород:  $2\text{H}^+ + 2\bar{e} = \text{H}_2\uparrow$ , на аноде вначале происходит нейтрализация ионов  $\text{SO}_4^{2-} = \text{SO}_4 + 2\bar{e}$ . Поскольку молекула  $\text{SO}_4$  нестойкая, то она распадается и при этом выделяется атомарный кислород:  $\text{SO}_4 = \text{SO}_3 + \text{O}\uparrow$ .

Если электроды изготовлены из никеля или платины, то кислород не реагирует с ними и выделяется в виде пузырьков, а молекулы  $\text{SO}_3$  вступают в реакцию с водой:  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ . Эти реакции показывают, что при электролизе происходит разложение воды на

ионы: ионы водорода оседают на катоде, а кислорода — на аноде. Внешне процесс протекает так, что количество  $\text{H}_2\text{SO}_4$  остается в растворе неизменным, а количество воды убывает, т. е. речь идет о разложении воды электрическим током.

Поскольку при электролизе раствора серной кислоты образуются газообразные водород и кислород, то этим пользуются для определения заряда иона водорода. Для этого на стержни кюветы надевают угольные электроды, наливают в кювету 10%-ный раствор серной кислоты и подключают электроды в электрическую цепь (рис. 47). Далее на электроды надевают две одинаковые, полностью заполненные кипяченой водой, охлажденной до комнатной температуры, градуированные пробирки. Одновременно с пуском секундомера замыкают электрическую цепь.

Газы, выделяющиеся на электродах, вытесняют воду из пробирок. Когда уровень воды в пробирке с водородом сравняется с уровнем электролита в кювете, цепь размыкают и находят давление водорода:  $p = p_{\text{атм}} - p_{\text{пар}}$ , где  $p_{\text{пар}}$  — давление насыщенного водяного пара при температуре в данном помещении (это табличное значение).

Далее из уравнения состояния газа находят объем, который займет полученный водород при нормальных условиях:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{pV}{T}, \quad V_0 = \frac{pVT_0}{p_0T}.$$

Зная, что 1 моль газа при нормальных условиях занимает объем  $V_0 = 22\,400$  мл и при этом содержит  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  молекул, можно определить число выделившихся молекул водорода  $N = \frac{VN_A}{V_0}$ .

Число ионов водорода в 2 раза больше числа его молекул  $N$ , поэтому заряд одного иона водорода  $e = \frac{Q}{2N} = \frac{It}{2N}$ .

**Цель работы:** экспериментально определить заряд иона водорода.

**Приборы и материалы:** кювета с угольными электродами, две одинаковые пробирки с метрическими шкалами, 10%-ный раствор серной кислоты, мультиметр, адаптер, реостат-потенциометр, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. В кювету с двумя угольными электродами налейте столько электролита, чтобы его уровень был примерно на 5 мм выше высоты электродов.
2. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 47, замкните цепь и после появления пузырьков газа на электродах разомкните.
3. Наполните две пробирки до краев кипяченой водой и поочередно, заткнув их пальцем, наденьте на электроды.
4. Замкните электрическую цепь и пропускайте через электролит постоянный ток до тех пор, пока уровень воды в пробирке, надетой на катод, не сравняется с уровнем воды в кювете. Далее цепь разомкните и зафиксируйте время пропускания тока.
5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 24.

Таблица 24

| Сила тока $I$ , А | Время пропускания тока $t$ , с | Объем газа в пробирке $V_0$ | Температура газа $t$ , °С | Давление газа $p$ | Заряд иона |
|-------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------|------------|
|                   |                                |                             |                           |                   |            |

### Лабораторная работа 25

#### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ И ТРАВЛЕНИЕ

**Теоретический материал.** При ионной электропроводимости прохождение тока связано с переносом вещества. На электродах происходит выделение веществ, входящих в состав электролитов. Это явление часто используют для нанесения покрытий, например черные металлы покрывают благородными: медью, никелем, серебром, хромом, цинком и т. д.

Деталь, на которую нужно нанести покрытие, опускают в раствор электролита и соединяют с отрицательным полюсом источника тока. А положительный полюс источника соединяют с тем металлическим электродом, из которого делают покрытие.

В качестве примера рассмотрим покрытие детали медью. Деталь подключают к минусу источника — это катод. Анодом является медный

электрод, а электролитом — раствор медного купороса. В растворе молекулы диссоциируют на ионы:  $\text{CuSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  и под действием поля источника приходят в движение. В результате на катоде выделяется химически чистая медь.

На аноде идет такой же процесс, как и при электролизе серной кислоты:  $\text{SO}_4^{2-} = \text{SO}_4 + 2\bar{e}$ ,  $\text{SO}_4 = \text{SO}_3 + \text{O}\uparrow$ .

Атомарный кислород окисляет медь:  $\text{Cu} + \text{O} = \text{CuO}$ . Кислотный остаток  $\text{SO}_3$  реагирует с окисью меди, вновь образуя медный купорос, который переходит в раствор и вновь диссоциирует на ионы. В итоге концентрация электролита остается неизменной, а в ходе электролиза происходит растворение анода и выделение на катоде химически чистой меди.

Толщина слоя вещества, выделившегося на катоде или снятого с анода в результате электролиза, пропорциональна силе тока. Если анодный электрод содержит выступы, то они растворяются с большей скоростью, поскольку около них возникает наиболее сильное электрическое поле. Это явление используют для электрополировки металлических изделий.

**Цель работы:** экспериментально провести электролитическое покрытие и растворение.

**Приборы и материалы:** кювета с медным и угольным электродами, сосуд с раствором медного купороса, кусочек фольгированного гетинакса, адаптер, мультиметр, реостат-потенциометр, провода соединительные.

### **Указания к работе:**

1. На штыхрах кюветы разместите угольный и медный электроды и кювету на 3/4 объема заполните раствором медного купороса.
2. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 46, угольный электрод присоедините к «минусу» источника тока, а медный — к «плюсу». Замкните цепь и в течение нескольких минут следите за отложением меди на катоде.
3. Поменяйте полюса источника тока на электродах и пропускайте ток до полного очищения угольного электрода от медного покрытия, т. е. убедитесь как в выделении, так и в растворении меди на электроде.
4. На кусочке фольгированного гетинакса лаком нарисуйте условное обозначение резистора (диода, транзистора и т. д.). После высыхания лака кусочек поместите в кювету с раствором медного купороса и присоедините к нему «минус» источника тока (например, с помощью зажима «крокодил»).
5. Замкните электрическую цепь на такой временной промежуток, чтобы не покрытая лаком фольга растворилась. Снимите и высушите обрабатываемую деталь. Убедитесь в технологическом применении явления электролиза для получения монтажных плат в радиотехнике.

## ЗАРЯДКА ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Теоретический материал.** Гальванические элементы широко распространены в качестве источников электропитания в бытовых приборах (калькулятор, часы электронные, плеер, радиоприемник и т. д.) и измерительных приборах (мультиметр аналоговый и цифровой, дозиметр и т. д.).

Химические реакции, протекающие в гальванических элементах, считаются необратимыми, поскольку цинковый электрод превращается в оксид цинка, который доступными способами восстановить невозможно. Однако довольно часто случается так, что цинковый электрод не израсходован, а гальванический элемент не работает. Причинами этого может быть высыхание электролита или прекращение работы деполяризатора. Для устранения этих причин в новых щелочных (щелочных) элементах электролитом служит щелочь вместо хлорида аммония, который использовался в элементах старой конструкции. Новый электролит исключает газовыделение, а значит, и поляризацию элемента. Возросла и «емкость» (запас электрического заряда) новых элементов: от 1000 до 3700 мА · ч.

Срок службы гальванических элементов можно продлить путем их зарядки. Их заряжают так же, как и аккумуляторы. Зарядный ток для гальванического элемента определяют по формуле:  $I = 3m$ , где  $I$  — сила тока, мА;  $m$  — масса гальванического элемента, г (грамм).

Для зарядки гальванических элементов необходимо приспособление, различные конструкции которого можно найти на рынке товаров. Для зарядки «пуговичных» элементов и аккумуляторов удобно приспособление (рис. 48), сконструированное из пластмассовой бельевой прищепки 1, на концах которой закреплены винты 2. К винтам подведены провода 3, которые в соответствующей полярности подсоединяют к адаптеру или выпрямителю (рис. 49).

**Цель работы:** расчет зарядного тока и зарядка гальванических элементов.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр, гальванические элементы для зарядки, приспособление для зарядки гальванических элементов пуговичного типа, провода соединительные, весы.

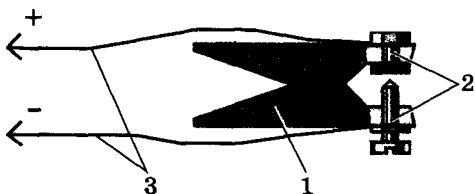


Рис. 48

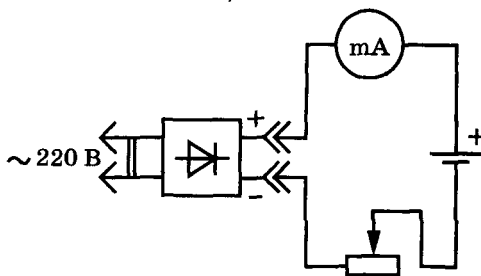


Рис. 49

### Указания к работе:

1. Измерьте массу гальванического элемента и выразите ее в граммах.
2. Мультиметром измерьте напряжение на полюсах (зажимах) элемента, и если оно не ниже 0,7 В, то элемент пригоден для зарядки.
3. По формуле  $I = 3t$  произведите расчет зарядного тока элемента. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 49, установите расчетный ток и произведите зарядку элемента в течение времени 4—6 ч. В процессе зарядки следите за расчетной силой тока и, прикасаясь пальцем к корпусу элемента, — за степенью нагрева. При повышении температуры цепь зарядки разомкните.
4. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 25.

Таблица 25

| Начальное напряжение $U_0$ , В | Расчетная сила тока $I$ , мА | Время зарядки $t$ , с | Сообщаемый заряд $q$ , Кл | Конечное напряжение $U_k$ , В |
|--------------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|
|                                |                              |                       |                           |                               |
|                                |                              |                       |                           |                               |
|                                |                              |                       |                           |                               |

## Лабораторная работа 27

### ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ С ТОКОМ

**Теоретический материал.** Датский физик Х. Эрстед обнаружил, что магнитная стрелка (компас), расположенная над (или под) проводником с электрическим током, при замыкании электрической цепи поворачивается и располагается перпендикулярно проводнику. Значит, вокруг проводника с током существует магнитное поле.

Магнитное поле электрического тока легче всего обнаружить с помощью катушки (витков проволоки, намотанных на каркас из диэлектрического материала). Когда по катушке идет ток, то магнитная стрелка приобретает определенную ориентацию (см. рис. 20).

Если катушку с током подвесить на тонких и гибких проводниках, то ось ее установится так же, как стрелка компаса (рис. 50). Поведение катушки с током в магнитном поле Земли аналогично поведению полосового магнита. Как и у полосового магнита, магнитное поле катушки изображают с помощью силовых линий, которые замкнуты (рис. 51).

Магнитное поле катушки усиливается при увеличении силы тока в ней, а при уменьшении силы тока ослабляется.

Опыты показывают, что при неизменной силе тока в катушке ее магнитное поле тем сильнее, чем больше число витков в ней.

Магнитное поле катушки с током можно значительно усилить, не меняя число ее витков и силу тока. Для этого надо ввести внутрь катушки железный сердечник (стержень).

Катушка с железным сердечником внутри называется электромагнитом.

Электромагниты нашли очень широкое применение. Они есть в электродвигателях, генераторах, телефонах, телевизорах и других механизмах.

**Цель работы:** изучение магнитного поля катушки с током и обнаружение влияния среды на магнитное поле тока.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр М890G, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, компас, резистор-потенциометр, калориметрические цилиндры или болты, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 52, а и с помощью компаса определите магнитные полюсы катушки.

2. С помощью переключателя на адаптере или реостата измените силу тока в цепи и при этом зафиксируйте поведение магнитной стрелки.

3. Соедините катушки СВ и ДВ последовательно (рис. 52, б), установите в цепи такую же силу тока, как в первом опыте. Путем перемещения компаса вдоль оси катушки определите состояние магнитного поля катушки.

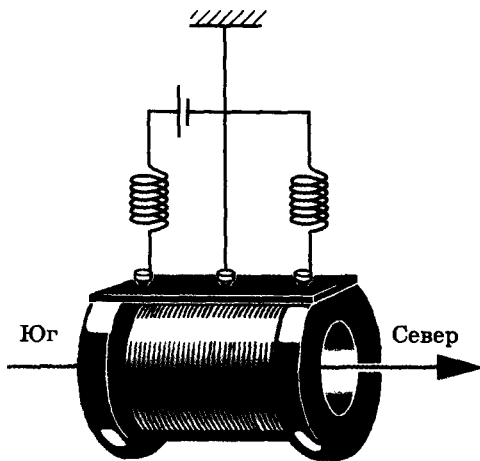


Рис. 50

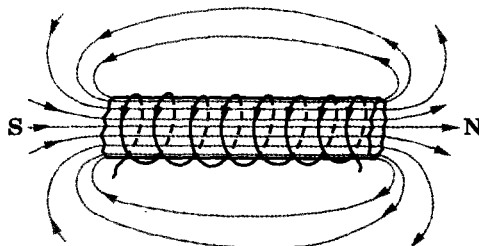


Рис. 51

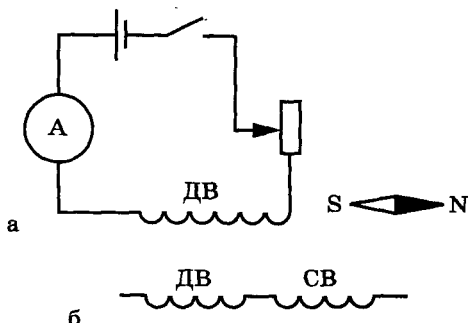


Рис. 52

4. В электрическую цепь включите, как и в первом опыте, катушку ДВ. После замыкания цепи компас отодвиньте от катушки на такое расстояние, чтобы ось магнитной стрелки была отклонена от оси катушки.

5. Внутри катушки поочередно вводите калориметрические тела или болты и по поведению стрелки компаса отмечайте усиление или ослабление магнитного поля катушки.

6. Результаты наблюдений запишите в таблицу 26.

Таблица 26

| Действие экспериментатора                                          | Результат опыта |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Подайте ток на катушку                                          |                 |
| 2. Увеличьте силу тока                                             |                 |
| 3. Увеличьте число витков в катушке без изменения силы тока в цепи |                 |
| 4. Введите сердечник в магнитное поле катушки                      |                 |

## Лабораторная работа 28

### ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ

**Теоретический материал.** Электромагнитное реле, показанное на рисунке 53, состоит из катушки 1 с железным сердечником 2, якоря 3, возвратной пружины и электрических контактов 4. Реле работает следующим образом: при замыкании электрической цепи реле по его обмотке протекает ток, магнитное поле катушки усиливается железным сердечником, к которому притягивается якорь. При повороте якоря происходит замыкание или размыкание контактных пружин (это зависит от конструкции реле).

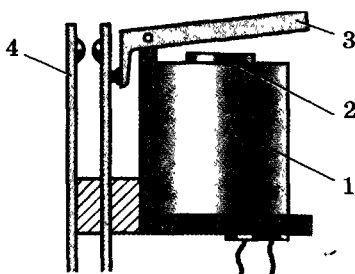


Рис. 53

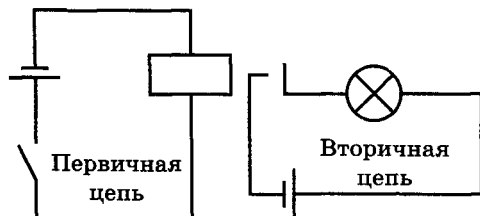


Рис. 54

При включении электромагнитных реле в электрические цепи различают первичную и вторичную цепи, они не связаны электрически, поэтому имеют, как правило, разные источники тока (рис. 54). Якорь притягивается, и контакты замыкаются (размыкают-

При включении электромагнитных реле в электрические цепи различают первичную и вторичную цепи, они не связаны электрически, поэтому имеют, как правило, разные источники тока (рис. 54).

Якорь притягивается, и контакты замыкаются (размыкают-

ся) только при превышении некоторого определенного значения силы тока в катушке. Это значение тока называют *током срабатывания*.

При уменьшении силы тока в обмотке реле ниже значения тока срабатывания контактные пружины возвращают якорь реле в исходное состояние.

Ток срабатывания реле зависит от числа витков обмотки, жесткости пружины, амплитуды хода (отклонения) якоря.

Одним из самых чувствительных электромагнитных реле является *поляризованное реле* (рис. 55). Чувствительность (малый ток срабатывания) у этого реле обеспечивается подмагниченным сердечником и соблюдением полярности подключения источника тока к обмоткам реле. Для увеличения чувствительности многообмоточных реле их обмотки соединяют последовательно, т. е. конец одной обмотки соединяют с началом другой и т. д.

Электромагнитные реле применяют в тех автоматических устройствах, которые способны управлять сильными токами с помощью токов слабых. Слабые токи проходят по обмотке реле, а сильные — через контактные группы.

**Цель работы:** ознакомиться с устройством и принципом действия электромагнитного реле, измерить ток срабатывания.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр М890G, реостат-потенциометр, нейтральное и поляризованное электромагнитное реле, провода соединительные, ключ кнопочный, лампочка МН-6,3 В — 0,3 А.

#### Указания к работе:

1. Переведите мультиметр в режим работы миллиамперметра.
2. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 56 и измерьте ток срабатывания реле (нейтрального, поляризованного). Силу тока в цепи обмотки реле регулируют реостатом-потенциометром.
3. Во вторичную цепь реле включите потребитель — лампочку (рис. 56) и переключением рычаж-

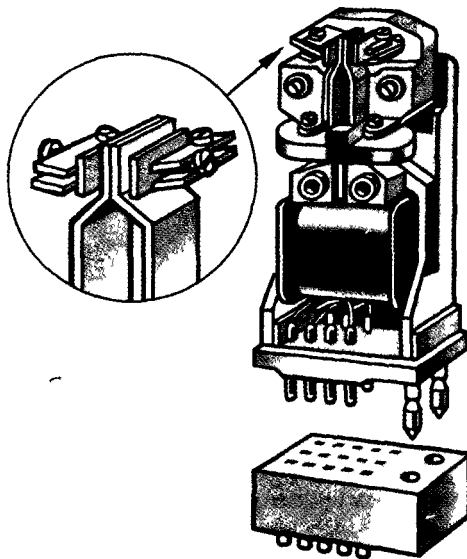


Рис. 55

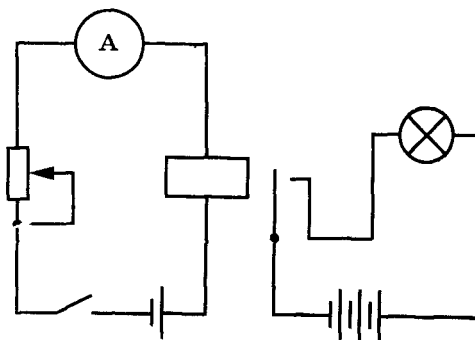


Рис. 56

ного или кнопочного выключателя в первичной цепи управляйте работой лампочки.

4. Результаты измерений и наблюдений запишите в таблицу 27.

Таблица 27

| Определяемые параметры   | Тип реле    |                |
|--------------------------|-------------|----------------|
|                          | Нейтральное | Поляризованное |
| 1. Сопротивление обмотки |             |                |
| 2. Ток срабатывания      |             |                |
| 3. Ток отпускания        |             |                |

**Примечание.** Ток отпускания — это ток в обмотке реле, при котором размыкаются контакты реле.

## Лабораторная работа 29

### ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ

**Теоретический материал.** Опыты показывают, что магнитное поле постоянного магнита действует на магнитную стрелку. В то же время обнаружено, что электрический ток создает вокруг проводника магнитное поле, которое также действует на магнитную стрелку. На основании этих экспериментальных фактов можно предположить, что магнитное поле постоянного магнита может оказывать действие на проводник с током.

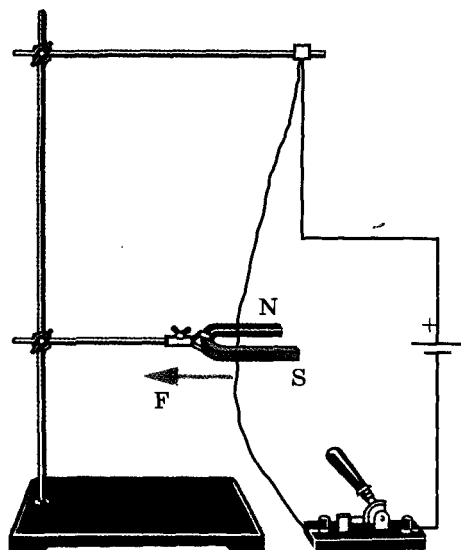


Рис. 57

Направление движения проводника (рис. 57) зависит от направления тока в нем и от расположения полюсов магнита. Для установления направления действия силы со стороны магнитного поля на проводник с током пользуются *правилом левой руки*: левую руку располагают так, чтобы силовые линии магнитного поля входили перпендикулярно в ладонь, а четыре вытянутых пальца совпадали с направлением тока в проводнике, тогда отогнутый в плоскости ладони большой палец укажет направление силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током.

Явление взаимодействия проводника с током с магнитным полем магнита (электромагнита) проявляется в работе всевозможных электродвигателей. Для примера рассмотрим устройство и действие коллекторного электродвигателя (рис. 58). Он состоит из: статора *1* — постоянного магнита, якоря *2* — электромагнита, выводы обмотки которого припаяны к коллекторным пластинам *3*. Для подачи тока от источника *5* к коллектору служат щетки *4*.

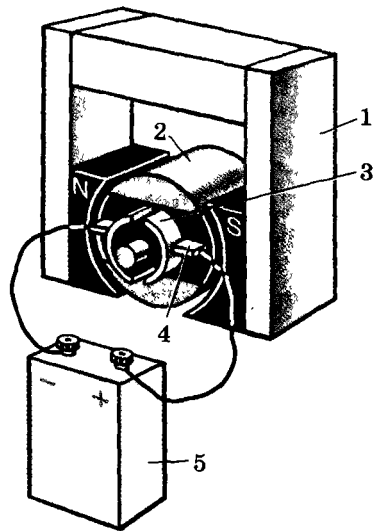


Рис. 58

При замыкании цепи якорь поворачивается, плоскость обмотки становится перпендикулярно силовым линиям магнитного поля статора. В этот момент ток в обмотке якоря отсутствует. Однако благодаря инерции тела якоря он проскакивает это положение, и щетки вновь касаются коллекторных пластин. Ток опять течет по обмотке якоря в том же направлении, и двигатель продолжает работать.

На явлении взаимодействия магнита *1* и катушки с током *2* работает динамический громкоговоритель (рис. 59), где катушка, связанная с диффузором *3*, помещается в зазор кольцевого магнита (рис. 60).

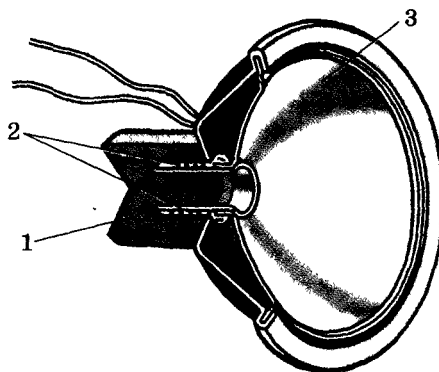


Рис. 59

**Цель работы:** наблюдение и объяснение движения проводника с током в магнитном поле.

**Приборы и материалы:** адаптер, магнит дугообразный, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, ключ замыкания цепи, провода соединительные, штатив, электродвигатель.

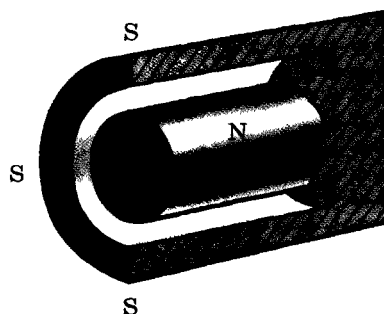


Рис. 60

#### Указания к работе:

1. Перед проведением опыта подвесьте к лапке штатива проводник и через ключ присоедините к источнику тока (см. рис. 57).

2. К катушке, подключенной к источнику тока, взамен проводника поднесите дугообразный магнит. Замкните цепь и наблюдайте за движением катушки.

3. Найдите по обозначениям полюсов дугообразного магнита направление магнитных линий поля магнита. Направление тока в катушке устанавливают по обозначениям «+» и «-» на зажимах источника тока.

4. По правилу левой руки определите направление и характер движения катушки. Замкните цепь и определите правильность своего предположения на опыте.

5. Определите основные части микроэлектродвигателя и их расположение.

6. Подайте на зажимы электродвигателя напряжение с адаптера, начиная с самого низкого. Следите за изменением числа оборотов с увеличением напряжения питания.

7. Осуществите реверсирование, т. е. изменение направления вращения якоря двигателя.

8. Периодически замыкайте и размыкайте электрическую цепь громкоговорителя и следите за колебаниями диффузора. Объясните его поведение.

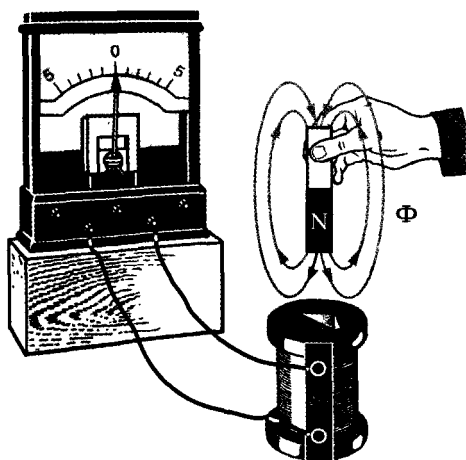
### **Лабораторная работа 30**

## **ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ**

**Теоретический материал.** Многочисленные опыты Фарадея показывают, что с помощью магнитного поля можно получить электрический ток в проводнике. Такой ток называется индукционным. В электрической цепи (рис. 61) возникает индукционный ток, если есть движение

магнита относительно катушки, или наоборот. Направление индукционного тока зависит как от направления движения магнита, так и от расположения его полюсов. Индукционный ток отсутствует, если нет относительного перемещения катушки и магнита.

Все предыдущие опыты говорили о том, что для получения тока необходим источник тока. Что же является источником тока в получении индукционного тока? Вероятно, источником индукционного тока является катушка, внутри которой движется магнит. При движении магнита число силовых линий (магнитный по-



**Рис. 61**

ток  $\Phi$ ), пронизывающих катушку, меняется: при вдвигании магнита увеличивается, при выдвигании — уменьшается.

Итак, изменение числа силовых линий — магнитного потока, пронизывающих катушку, вызывает появление сторонних электрических сил, работа которых характеризуется ЭДС индукции.

ЭДС индукции зависит от разных причин. Если вдвигать в катушку один раз сильный магнит, а в другой — слабый, то показания прибора в первом случае будут более высокими. Они будут более высокими и в том случае, когда магнит движется быстро.

ЭДС индукции в катушке тем больше, чем больше и быстрее меняется магнитный поток, пронизывающий ее. ЭДС индукции тем больше, чем больше число витков в катушке. Это станет понятным, если рассматривать каждый отдельный виток катушки как элемент источника тока, а катушку — как батарею таких элементов, включенных последовательно. В итоге ЭДС индукции определяют по формуле  $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Техническое воплощение явления электромагнитной индукции реализовано в электродинамических микрофонах (рис. 62), где катушка 1, жестко связанная с мембраной 2, колеблется в магнитном поле цилиндрического магнита 3. Индукционный ток в катушке микрофона 1 (рис. 63),

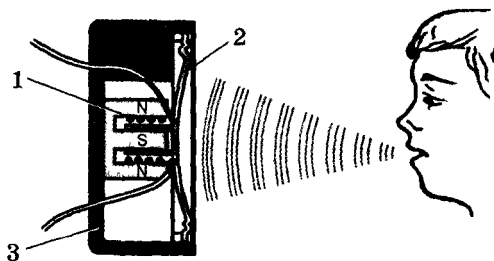


Рис. 62

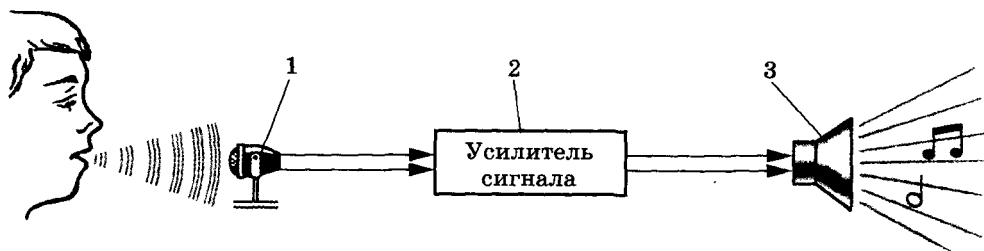


Рис. 63

возникший под действием звуковых колебаний, поступает на вход усилителя 2 и после усиления по напряжению и мощности воспроизводится динамическим громкоговорителем 3.

На этом же явлении работает магнитная головка магнитофона, плеера. Магнитная головка (рис. 64) — это электромагнит 1 с

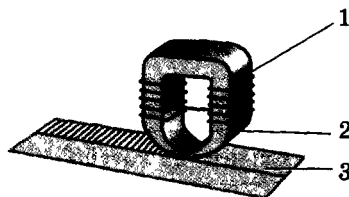


Рис. 64

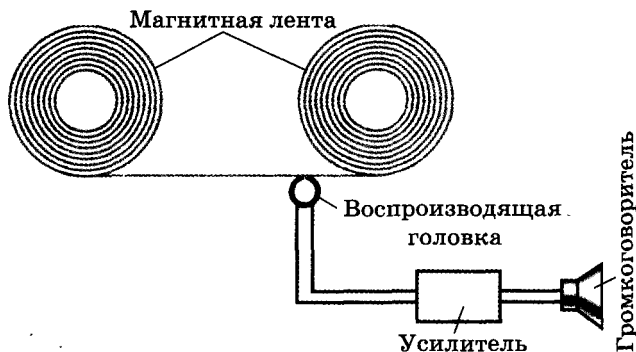


Рис. 65

узким зазором 2, около которого движется магнитная лента с записью музыки 3.

Магнитная лента возбуждает в воспроизводящей головке индукционный ток, который после усиления воспроизводится громкоговорителем (рис. 65).

**Цель работы:** изучить условия возникновения индукционного тока, ЭДС индукции.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, ключ кнопочный, магниты (полосовой, дугообразный), провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. К зажимам катушки ДВ подключите милливольтметр переменного тока. Введите в катушку магнит северным полюсом, а затем удалите. Зафиксируйте показания прибора.

2. Введите в катушку магнит южным полюсом, а затем удалите. Зафиксируйте показания прибора.

3. Аналогичного рода опыты (см. п. 1 и 2) проведите с катушкой СВ и установите зависимость ЭДС индукции от числа витков.

4. Результаты наблюдений запишите в таблицу 28.

Таблица 28

| Действие экспериментатора                              | Результат опыта |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Введите в катушку ДВ северный полюс магнита         |                 |
| 2. Удалите из катушки северный полюс магнита           |                 |
| 3. Введите в катушку ДВ южный полюс магнита            |                 |
| 4. Удалите из катушки южный полюс магнита              |                 |
| 5. Введите в катушку СВ северный полюс магнита и т. д. |                 |

5. По анализу опытов сделайте выводы о зависимости ЭДС индукции от скорости изменения магнитного потока магнита и числа витков в катушке.

### Лабораторная работа 31

## ИЗУЧЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА. ПРАВИЛО ЛЕНЦА

**Теоретический материал.** В опытах по электромагнитной индукции направление индукционного тока меняется. Важно знать, какими правилами определяется это направление.

Обратимся к опыту. На рисунке 66 показаны катушки 1 и 2 в виде витка. Стрелки  $I_{\text{перв}}$  и  $I_{\text{инд}}$  указывают соответственно направление тока от присоединенного источника в катушке 1 и направление индукционного тока в катушке 2. При замкнутой цепи (см. рис. 66) и увеличении силы тока в катушке 1 усиливается магнитное поле. Это вызывает в катушке 2, пронизываемой этим же магнитным потоком, индукционный ток противоположного направления.

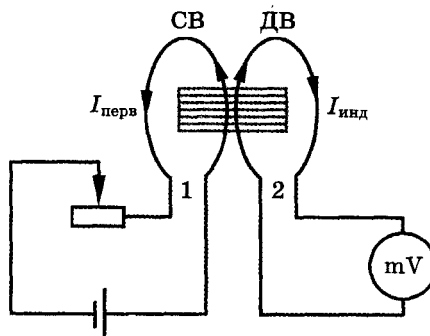


Рис. 66

Если в катушке 1 сила тока уменьшается (увеличивается сопротивление реостата), но ток не изменяет своего направления, то уменьшающийся магнитный поток вызывает в катушке 2 индукционный ток одинакового направления (см. рис. 66).

Иначе говоря, когда индукционный ток вызывается усилением магнитного потока, то этот ток направлен так, что он своим магнитным действием ослабляет первоначальный магнитный поток. Когда же индукционный ток вызывается ослаблением магнитного потока, то индукционный ток своим магнитным действием усиливает первоначальный магнитный поток.

Наиболее общее правило для определения направления индукционного тока сформулировано Э. Х. Ленцем: индукционный ток имеет всегда такое направление, что его магнитное поле препятствует любым изменениям магнитного потока, вызывающего появление индукционного тока.

Наведенный индукционный ток порождает переменное магнитное поле в катушке 2, которое индуцирует ЭДС самоиндукции.

ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна скорости изменения силы тока в проводнике:  $\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ , где  $\Delta I / \Delta t$  — скорость изменения силы

тока,  $L$  — индуктивность катушки, которая зависит от размеров и числа витков.

**Цель работы:** опытным путем обнаружить явление самоиндукции при замыкании и размыкании цепи, выяснить зависимость ЭДС самоиндукции от индуктивности катушки и скорости изменения в ней силы тока.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, реостат-потенциометр, ключ кнопочный, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 66, катушку СВ включите в цепь источника тока, а к катушке ДВ подключите милливольтметр постоянного тока мультиметра. Вовнутрь катушки СВ вставьте калориметрическое железное тело. Перемещая ползунок реостата, наблюдайте за изменением модуля и направления тока.

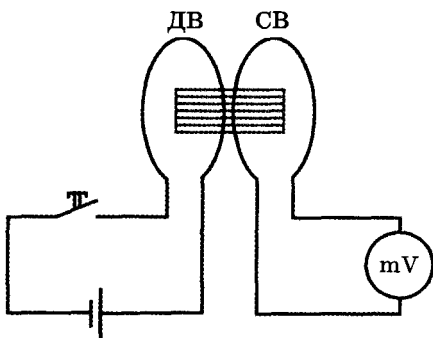


Рис. 67

2. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 67. К источнику тока (адаптеру) подключите через кнопочный ключ катушку ДВ, а к катушке СВ подключите милливольтметр постоянного тока мультиметра. Вовнутрь катушек вставьте железное калориметрическое тело. Кратковременно нажимайте на кнопку и отпускайте, при этом следите за показаниями милливольтметра.

3. Результаты наблюдений и изменений занесите в таблицу 29.

Таблица 29

| Действие экспериментатора                              | Результат опыта |
|--------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. Увеличьте силу тока в катушке СВ                    |                 |
| 2. Уменьшите силу тока в катушке СВ с помощью реостата |                 |
| 3. Резко замкните электрическую цепь катушки ДВ        |                 |
| 4. Резко разомкните электрическую цепь катушки ДВ      |                 |

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Теоретический материал.** Получение переменного тока рассматривают на примере работы генератора (рис. 68), который состоит из статора 1 (электромагнита) и ротора 2 (постоянного магнита).

При вращении ротора в соответствии с явлением электромагнитной индукции в обмотке статора возникает электрический ток, у которого ЭДС и сила тока периодически меняются по модулю и направлению. Такой ток называют переменным.

Электрический ток, сила которого периодически меняется по модулю и направлению, называется **переменным током**. График переменного тока (на экране осциллографа) будет представлять собой синусоиду (рис. 69).

Числовые значения, которые принимает переменный ток или какая-либо другая переменная величина (ЭДС, напряжение) в отдельные моменты времени, называются их мгновенными значениями.

Наибольшее из мгновенных значений любой переменной электрической величины называется амплитудным или максимальным значением (рис. 70).

Промежуток времени, в течение которого переменная величина проходит все свои мгновенные значения и в дальнейшем начинает их повторять, называется периодом (см. рис. 70). Величина, обратная периоду  $\nu = 1/T$ , называется частотой. Стандарт частоты переменного тока в нашей стране равен 50 Гц.

Как и постоянный, переменный ток обладает тепловыми и магнит-

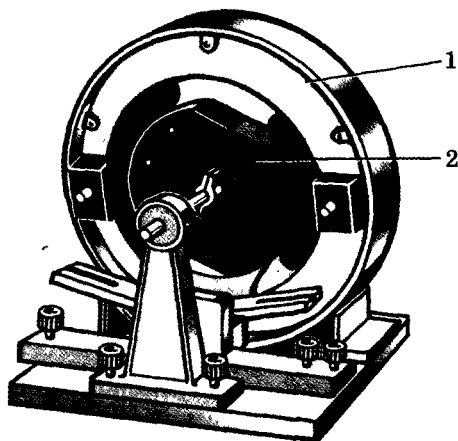


Рис. 68

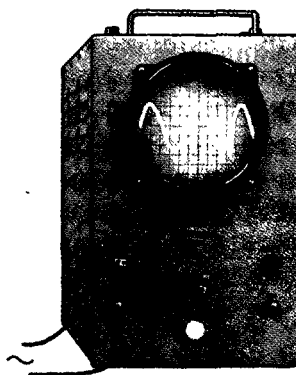


Рис. 69

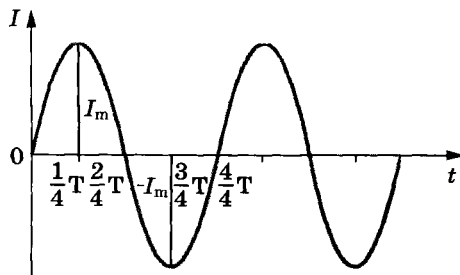


Рис. 70

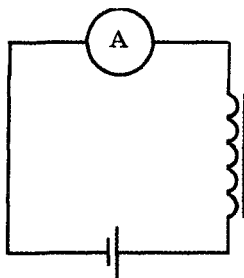


Рис. 71

ными свойствами. Однако их химические свойства резко отличаются. С помощью переменного тока нельзя заряжать аккумуляторы. Сила переменного тока в отличие от постоянного зависит не только ( $I = U/R$ ) от напряжения и сопротивления, но и от индуктивности приборов, включенных в цепь. Если присоединить к источнику постоянного тока через амперметр катушку с большим числом витков (рис. 71) и вставить в катушку железный сердечник, то показания амперметра не изменятся. Если эту же цепь под-

ключить к источнику переменного тока, то введение в катушку железного сердечника вызывает резкое уменьшение силы тока.

**Цель работы:** смоделировать генератор переменного тока и изучить некоторые его свойства.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, магнит дугообразный, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, провода соединительные, штатив, железное калориметрическое тело.

### Указания к работе:

1. Подвесьте к кольцу штатива дугообразный магнит (рис. 72). Между полюсами магнита (снизу) разместите катушку СВ, зажимы которой присоедините к мультиметру мультиметра, установленного на режим «200 мВ» постоянного тока.

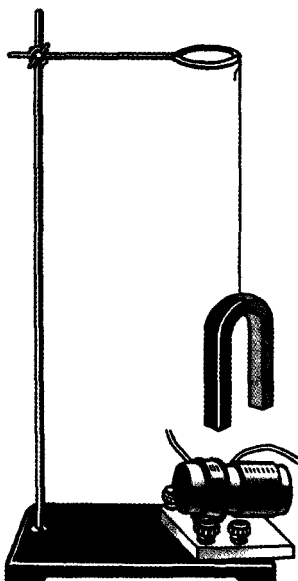


Рис. 72

2. Закрутите нить, на которой висит магнит, а затем отпустите. Во время вращения магнита наблюдайте за изменением индукционного тока и направления, которое отмечается появлением и исчезновением знака «—» на дисплее прибора.

3. Повторите опыт с катушкой ДВ. Отметьте увеличение индукционного тока и причину этого увеличения.

4. Переключатель рода работ мультиметра установите в положение «20 кГц» и присоедините мультиметр к выводам переменного тока адаптера. При включенном в сеть адаптере зафиксируйте показания прибора в кГц, т. е. частоту промышленного переменного тока.

5. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 73 и подключите ее к выводам постоянного тока адаптера. Зафиксируйте показания амперметра постоянного тока. Вставьте внутрь катушки железное калориметрическое тело и по

показаниям прибора отметьте неизменность тока. Эту же цепь, но с амперметром для переменного тока, подключите к выводам переменного тока адаптера. Зафиксируйте показания амперметра. Затем вставьте в катушку железное калориметрическое тело и отметьте уменьшение силы тока в цепи. Поскольку катушка обладает индуктивностью, а железный сердечник увеличивает эту индуктивность, то в цепи переменного тока сопротивление катушки возрастает.

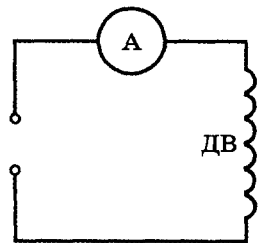


Рис. 73

6. По результату наблюдений и измерений сделайте выводы об отличительных свойствах переменного тока.

### Лабораторная работа 33

## ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРАНСФОРМАЦИИ

**Теоретический материал.** Простейший трансформатор состоит из двух обмоток, связанных общим магнитным потоком. В одних трансформаторах магнитный поток замыкается по воздуху, в других — через стержневой ферритовый сердечник, замкнутый ферритовый или железный сердечник. Остановимся на низкочастотном трансформаторе.

Трансформатор преобразует переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте. Простейший трансформатор состоит из двух отдельных катушек с разным числом витков и объединенных замкнутым сердечником из листовой трансформаторной стали. Если первичную катушку подключить к источнику переменного напряжения, а вторичную оставить разомкнутой (этот режим работы называют холостым ходом трансформатора), то в первичной обмотке появится слабый ток, создающий в сердечнике переменный магнитный поток. Этот поток наводит в каждом витке той и другой обмотки одинаковую ЭДС самоиндукции. Вот почему ЭДС индукции в обмотках прямо пропорциональна числу витков в них. При холостом ходе работы напряжение на вторичной обмотке равно наводимой в ней ЭДС, т. е.  $\mathcal{E}_2 = U_2$ . Ввиду слабого тока в первичной обмотке можно считать, что  $\mathcal{E}_1 = U_1$ . Поэтому

$$U_1/U_2 = n_1/n_2 = K,$$

где  $K$  — коэффициент трансформации,  $n_1$  — число витков в первичной обмотке,  $n_2$  — число витков во вторичной обмотке.

Если  $K < 1$ , то  $U_1 < U_2$ , т. е. трансформатор повышающий, если  $K > 1$ , то трансформатор понижающий.

Примером понижающего трансформатора является трансформатор адаптера, вторичная обмотка которого имеет ряд отводов, что и позволяет получать различные напряжения, фиксируемые с помощью переключателя.

**Цель работы:** смоделировать трансформатор и определить коэффициент трансформации.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, контурные катушки из комплекта для сборки детекторного радиоприемника, калориметрические тела, ферритовый стержень, полоска из жести длиной 50—60 см, шириной до 20 мм (как для обивки ящиков), провода соединительные.

**Указания к работе:**

1. К зажимам катушки СВ присоедините вольтметр переменного тока  $V_2$  (рис. 74) с пределом измерения 2 В. Зажимы катушки ДВ присоедините к выводам переменного тока адаптера с переключателем в

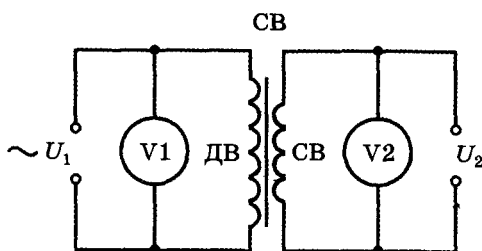


Рис. 74

положении «12 V». Зафиксируйте показания прибора. Внутрь катушки поочередно вводите калориметрические тела (алюминиевое, латунное, железное) и каждый раз фиксируйте показания вольтметра.

2. Сначала одним концом вставьте в катушку ленту из жести, а затем эту ленту замкните и далее свейте ее в несколько витков, т. е. получите полноценную

модель трансформатора. После каждой операции фиксируйте показания вольтметра (см. рис. 74).

3. Результаты измерений и наблюдений занесите в таблицу 30.

Таблица 30

| Этапы эксперимента                      | Результаты наблюдений и измерений |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. В катушке нет сердечника             |                                   |
| 2. В катушке сердечник из алюминия      |                                   |
| 3. В катушке сердечник из латуни        |                                   |
| 4. В катушке сердечник из железа        |                                   |
| 5. В катушке замкнутая полоска из жести |                                   |
| 6. Модель трансформатора                |                                   |

4. Присоедините вольтметр  $V_1$  с пределом измерения мультиметра 20 В к выводам переменного тока адаптера. Фиксируйте показания прибора в зависимости от положения переключателя на адаптере. Зная напряжение сети, определите каждый раз коэффициент трансформации.

5. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 31.

|                                         |     |     |     |     |     |      |
|-----------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Положение переключателя на адаптере     | 3,0 | 4,5 | 6,0 | 7,5 | 9,0 | 12,0 |
| Напряжение на вторичной обмотке $U$ , В |     |     |     |     |     |      |
| Коэффициент трансформации $K$           |     |     |     |     |     |      |

6. Соотнесите результаты эксперимента с основными теоретическими положениями и сделайте выводы.

## Лабораторная работа 34

### ИЗМЕРЕНИЕ КПД ТРАНСФОРМАТОРА

**Теоретический материал.** Приборы, с помощью которых производится преобразование переменного напряжения без изменения его частоты, называют трансформаторами. Трансформатор состоит из двух (или более) катушек (обмоток), индуктивно связанных друг с другом. К первичной обмотке ( $n_1$ ) подводится преобразуемое напряжение  $U_1$ , а со вторичной ( $n_2$ ) снимается преобразованное напряжение  $U_2$  (рис. 75). Ко вторичной обмотке присоединяют приемники электрической энергии сопротивлением  $R_n$ .

Для того чтобы магнитное поле не рассеивалось в пространстве, катушки надевают на общий ферромагнитный сердечник (магнитопровод). Для уменьшения потерь при передаче энергии из первичной обмотки во вторичную магнитопровод собирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга тонким слоем лака. Эта передача неизбежно связана с некоторыми потерями: расходом энергии на нагревание проводов обмоток, на перемагничивание сердечника и др.

**Коэффициентом полезного действия** трансформатора называют отношение мощности, потребляемой в цепи вторичной обмотки, к мощности в цепи первичной обмотки:  $\text{КПД} = P_2/P_1$ .

КПД трансформаторов достаточно высок, он достигает 99%.

Трансформаторы небольших мощностей (до десятков ватт) имеют небольшие габариты и воздушное охлаждение. Мощные же трансформаторы, преобразующие сотни и тысячи киловатт, представляют собой огромные сооружения. Обычно их помещают в стальной бак, заполненный специальным минеральным маслом. Это улучшает условия его охлаждения и, кроме того, повышает изоляционные свойства.

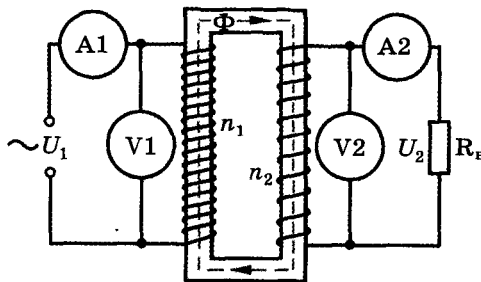


Рис. 75

Трансформаторы применяются в приемниках и магнитофонах, телевизорах и видеомэгнитофонах, в плеерах, телефонах и во многих других устройствах.

**Цель работы:** измерить КПД трансформатора.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр, реостат-потенциометр, трансформатор малогабаритный, динамический громкоговоритель, провода соединительные.

**Указания к работе:**

1. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 76, первичную цепь подключите к выводам переменного тока адаптера.

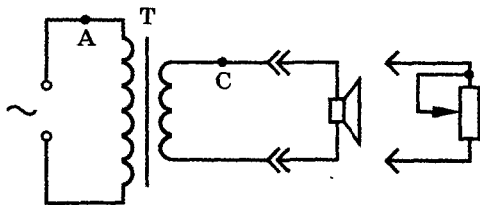


Рис. 76

2. Мультиметр переведите в режим вольтметра переменного тока с пределом «20 В» и измерьте напряжение на первичной и вторичной обмотках.

3. Мультиметр переведите в режим амперметра переменного тока с пределом измерения «10 А» и включите прибор в разрыв вторичной цепи в точке С (см. рис. 76).

Далее восстановите вторичную цепь и при отключенной первичной цепи включите амперметр в разрыв первичной цепи в точке А.

4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 32.

Таблица 32

| Первичная цепь       |                       |                      | Вторичная цепь       |                       |                      | КПД, % |
|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------|
| сила тока<br>$I$ , А | напряжение<br>$U$ , В | мощность<br>$P$ , Вт | сила тока<br>$I$ , А | напряжение<br>$U$ , В | мощность<br>$P$ , Вт |        |
|                      |                       |                      |                      |                       |                      |        |

5. Сравните результаты эксперимента с теоретическими положениями и сделайте выводы.

## Лабораторная работа 35

### КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Теоретический материал.** В цепи переменного тока различают два вида сопротивлений: активное и реактивное. Реактивное сопротивление может быть индуктивным и емкостным. Активное — это такое сопротивление, в котором электрическая энергия превращается

в другие виды энергии. Им обладают, например, электронагревательные приборы.

Трансформаторы, электродвигатели, катушки обладают не только активным, но и индуктивным сопротивлением. Его определяют по формуле

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L, \text{ где } \nu = 50 \text{ Гц.}$$

Если активное сопротивление катушки значительно меньше индуктивного сопротивления ее переменному току ( $R < X_L$ ), то зависимость между действующими значениями силы тока  $I$  в катушке и напряжения  $U$ , приложенного к концам ее обмотки, определяется выражением

$$I = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2\pi\nu L}.$$

Из этой формулы можно определить как индуктивное сопротивление, так и индуктивность катушки. Правда, эта задача осложняется тем, что наряду с индуктивным сопротивлением катушка обычно обладает еще и активным сопротивлением.

Для определения индуктивного сопротивления вначале определяют ее полное сопротивление переменному току по закону Ома:  $Z = U/I$ . Затем, используя выражение  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  при  $X_C = 0$ , определяют индуктивное сопротивление катушки:

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

Активное же сопротивление измеряют омметром.

В отличие от сопротивления проводника в цепи постоянного тока индуктивное сопротивление не является постоянной величиной, характеризующей данную катушку. Оно прямо пропорционально частоте переменного тока, проходящего через катушку.

**Цель работы:** расчет и измерение индуктивного сопротивления катушки и ее индуктивности.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр, выходной трансформатор транзисторного радиоприемника, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Омметром мультиметра измерьте активное сопротивление первичной катушки трансформатора.

2. Переведите мультиметр в режим работы вольтметра переменного тока. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 77 и после замыкания цепи измерьте напряжение.

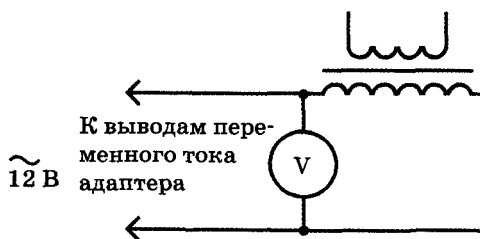


Рис. 77

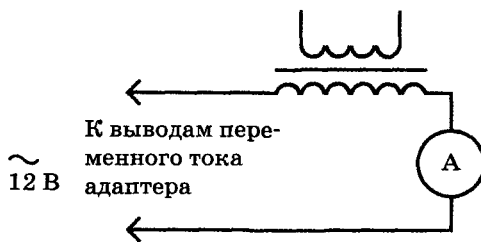


Рис. 78

3. Переведите мультиметр в режим работы амперметра переменного тока. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 78 и после замыкания цепи измерьте силу тока в катушке.

4. Вычислите полное сопротивление катушки. Далее по результатам измерения полного и активного сопротивлений вычислите

индуктивное сопротивление катушки и ее индуктивность вместе с замкнутым железным сердечником трансформатора.

5. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 33.

Таблица 33

| Частота тока $\nu$ , Гц | Напряжение на катушке $U$ , В | Сила тока $I$ , А | Полное сопротивление $Z$ , Ом | Активное сопротивление $R$ , Ом | Индуктивное сопротивление $X_L$ , Ом | Индуктивность $L$ , Гн |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
|                         |                               |                   |                               |                                 |                                      |                        |
|                         |                               |                   |                               |                                 |                                      |                        |

## Лабораторная работа 36

### КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Теоретический материал.** При подключении конденсатора к источнику постоянного тока в цепи возникает кратковременный импульс тока, заряжающий конденсатор до напряжения источника тока. При отключении конденсатора от источника и подключении его к лампочке накаливания или светодиода лампочка загорается на время его разрядки. Конденсатор не пропускает постоянный ток, так как его обкладки разделены слоем диэлектрика.

При включении конденсатора в цепь переменного тока процесс его зарядки длится первую четверть периода (см. рис. 70 — график переменного тока). После достижения амплитудного значения напряжение между обкладками конденсатора уменьшается, и конденсатор в течение второй четверти периода разряжается. В третью четверть периода конденсатор вновь заряжается, но полярность напряжения на его обкладках изменяется на противоположную. В результате периодически повторяющихся процессов зарядки и разрядки конденсатора по проводам,

соединенным с его выводами, течет переменный ток. Лампа накаливания, включенная последовательно с конденсатором в цепь переменного тока (рис. 79), кажется горящей непрерывно, так как человеческий глаз даже при стандартной частоте колебаний (50 Гц) силы тока не замечает периодического ослабления свечения нити накаливания лампы.

Действующее значение силы тока в этой цепи определяется значением емкости конденсатора, частотой вынужденных колебаний силы тока в цепи и действующим значением напряжения на обкладках:

$$I = U/X_C, X_C = I/2\pi\nu C, I = U \cdot 2\pi\nu C.$$

Данное равенство справедливо, если можно пренебречь активным сопротивлением  $R$  остальных участков цепи, т. е. если

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} \gg R, \nu = 50 \text{ Гц.}$$

$X_C$  — емкостное сопротивление конденсатора непостоянно, оно обратно пропорционально частоте переменного тока.

**Цель работы:** расчет и измерение силы переменного тока в цепи с конденсатором переменной емкости.

**Приборы и материалы:** адаптер с выводами переменного тока, мультиметр, батарея из двух оксидных последовательно соединенных конденсаторов, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Рассчитайте емкость батареи из двух последовательно соединенных оксидных конденсаторов по номинальным значениям, указанным на корпусе.

2. С помощью мультиметра измерьте частоту переменного тока на выходе адаптера.

3. По вышеприведенной формуле вычислите сопротивление батареи конденсаторов для измеренной частоты.

4. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 80, измерьте силу тока и напряжение. По результатам измерений вычислите емкостное сопротивление.

5. Сравните результаты, полученные в п. 3 и 4, объясните причину несовпадения (абсолютного).

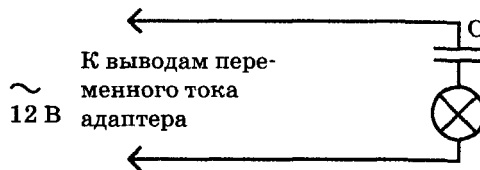


Рис. 79



Рис. 80

6. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 34.

Таблица 34

| Емкость конденсатора $C$ , Ф | Частота тока $\nu$ , Гц | Расчетное сопротивление конденсатора $X_C$ , Ф | Напряжение $U$ , В | Сила тока         |                    |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|                              |                         |                                                |                    | расчетная $I$ , А | измеренная $I$ , А |
|                              |                         |                                                |                    |                   |                    |
|                              |                         |                                                |                    |                   |                    |

### Лабораторная работа 37

## ТЕРМОРЕЗИСТОР И ПРОСТЕЙШЕЕ ТЕРМОРЕЛЕ

**Теоретический материал.** В технике широко распространены терморезисторы, т. е. резисторы, сопротивление которых зависит от температуры. Их изготавливают из чистых (или с примесями) кристаллов германия и кремния. Сопротивление терморезисторов определяется числом свободных электронов, уходящих с электронных орбит в межатомное пространство. Таких электронов в чистых полупроводниках немного, например у германия при комнатной температуре 1 электрон на  $10^9$  атомов.

Для увеличения электропроводности в чистые полупроводники вводят примеси: мышьяка (донорная) или индия (акцепторная), составляющие, как правило,  $10^{-7}$  доли кристалла.

Полупроводники с донорными примесями имеют преобладающую электронную проводимость и называются полупроводниками  $n$ -типа.

Полупроводники с акцепторными примесями имеют преобладающую дырочную проводимость и называются полупроводниками  $p$ -типа.

Из чистых полупроводниковых материалов, а также из материалов с примесями изготавливают терморезисторы. Характерные особенности

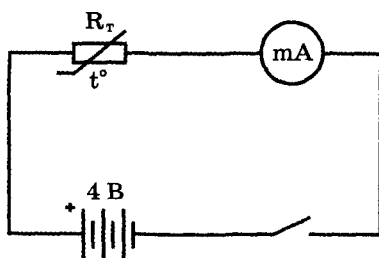


Рис. 81

терморезистора можно определить с помощью опыта, схема электрической цепи которого приведена на рисунке 81. В процессе нагревания термистора над пламенем свечи показания прибора постепенно увеличиваются, с понижением температуры — уменьшаются. Главной причиной этого является тепловое движение атомов и повышение концентрации свободных носителей зарядов (электронов и дырок).

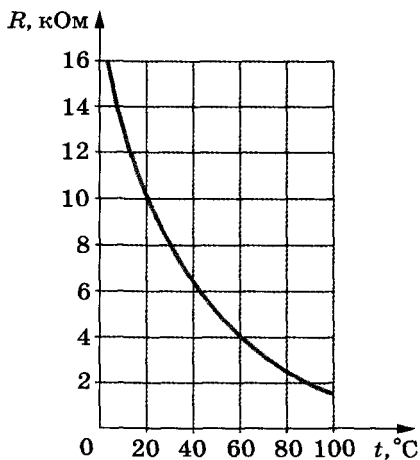


Рис. 82

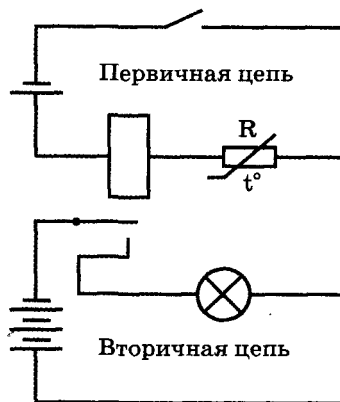


Рис. 83

Зависимость сопротивления термистора от температуры показана на рисунке 82. В отличие от такой же зависимости для металлов она не линейная.

Если вместо измерительного прибора (см. рис. 81) включить в электрическую цепь чувствительное реле, то получают простейшее термореле (рис. 83). Оно представляет собой делитель напряжения: при нагревании напряжение на термисторе убывает, а на катушке реле возрастает. При определенном напряжении реле срабатывает и включает вторичную цепь с индикатором сигнализации (звонок, лампочка и др.).

**Цель работы:** изучить зависимость сопротивления термистора от степени нагрева, собрать и привести в действие простейшее термореле.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр М890G, термистор, электромагнитное реле, лампочка накаливания МН-6,3 В — 0,3 А.

### Указания к работе:

1. Мультиметр переведите в режим работы термометра с внешним датчиком (термопарой) и измерьте температуру: комнатную, между пальцами собственной руки и над баллоном лампочки, подключенной к адаптеру.

2. Мультиметр переведите в режим омметра и присоедините к его зажимам термистор (рис. 84). Измерьте сопротивление термистора при комнатной температуре, при помещении его между пальцами руки и над баллоном лампочки.

3. Результаты измерений занесите в таблицу 35.

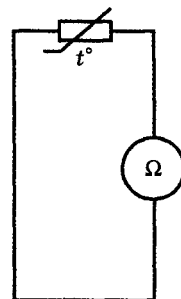


Рис. 84

| Место термистора                  | Температура $t$ , °C | Сопротивление термистора $R$ , Ом |
|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| В воздухе помещения               |                      |                                   |
| Между пальцами рук                |                      |                                   |
| На баллоне электрической лампочки |                      |                                   |

4. Соберите электрическую цепь простейшего термореле (см. рис. 83). При наличии второго источника тока во вторичную цепь включите лампочку (см. рис. 83), а при отсутствии — омметр мультиметра, который и будет сигнализировать о срабатывании и отпуске реле.

5. Обсудите с родителями возможности конструирования термосигнализатора или терморегулятора для собственных хозяйственных нужд, например для овощехранилища.

## Лабораторная работа 38

### ФОТОРЕЗИСТОР. ПРОСТЕЙШЕЕ ФОТОРЕЛЕ

**Теоретический материал.** Сопротивление полупроводников понижается не только при нагревании, но и при освещении.

В этом можно убедиться, если к фоторезистору подключить омметр мультиметра (рис. 85). При освещении фоторезистора показания омметра заметно уменьшаются. Это указывает на увеличение проводимости (уменьшение сопротивления) полупроводников под действием света. Данный эффект не связан с нагреванием, так как он наблюдается и при неизменной температуре.

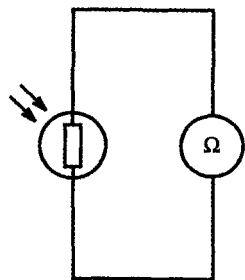


Рис. 85

Электрическая проводимость фоторезистора возрастает вследствие разрыва связей и образования свободных электронов и дырок за счет энергии света, падающего на полупроводник. Это явление называется фотоэлектрическим эффектом.

Приборы, в которых используют фотоэлектрический эффект в полупроводниках, называют фоторезисторами или фотосопротивлениями. Минимум и высокая чувствительность фоторезисторов позволяют использовать их в самых различных областях науки и техники, например для регистрации и измерения слабых световых потоков. Фоторезисторы являются датчиками в фотореле и различных устройствах автоматики.

Если составить последовательную цепь из фоторезистора и чувствительного электромагнитного реле (рис. 86), то получают простейшее фотореле. Фоторезистор и электромагнитное реле образуют делитель напряжения. При освещении фоторезистора его сопротивление резко уменьшается, а сопротивление реле остается неизменным. Это значит, что в соответствии с законом Ома сила тока в цепи возрастает и происходит перераспределение напряжения: оно увеличивается на реле и уменьшается на фоторезисторе. Увеличение напряжения на реле ведет к увеличению силы тока до значения тока срабатывания. Реле срабатывает и замыкает контакты исполнительной цепи.

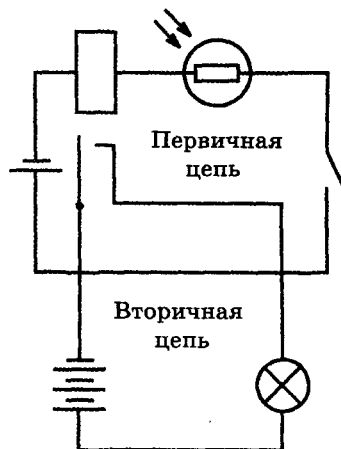


Рис. 86

**Цель работы:** определить зависимость сопротивления фоторезистора от степени его освещенности, собрать и привести в действие простейшее фотореле.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, фоторезистор, реле поляризованное РП-5, лампа накаливания МН-3,5 В — 0,3 А, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Выберите самый высокий предел измерения омметра мультиметра, присоедините его к зажимам фоторезистора (см. рис. 85) и измерьте его сопротивление при полном затемнении, при рассеянном обычном свете, при освещении лампочкой накаливания, присоединенной к адаптеру.
2. Результаты измерений и выводы по опытам запишите в таблицу 36.

Таблица 36

| Освещенность         | Сопротивление $R$ , Ом | Зависимость сопротивления фоторезистора от освещенности |
|----------------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
| Полное затемнение    |                        |                                                         |
| Естественная         |                        |                                                         |
| Лампочка накаливания |                        |                                                         |

3. Соберите электрическую цепь простейшего фотореле по схеме на рисунке 86. Осветите фоторезистор и проследите за переключением контактов реле. Пучок света, падающий на фоторезистор, перекройте несколько раз рукой и каждый раз проследите за работой контактной системы реле.

4. К контактной системе реле подключите вторичную цепь (см. рис. 86) и проведите опыты по ее управлению при бесконтактных манипуляциях в первичной цепи.

5. Проводимые процедуры и результаты опытов соотнесите с теоретическими положениями.

## Лабораторная работа 39

### ОДНОСТОРОННЯЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

**Теоретический материал.** Приставка «ди» в слове «диод» означает «два». Она указывает на наличие в приборе кристаллов с  $p$ - и  $n$ -проводимостями (рис. 87). Фактически же диод — это один кристалл малых раз-

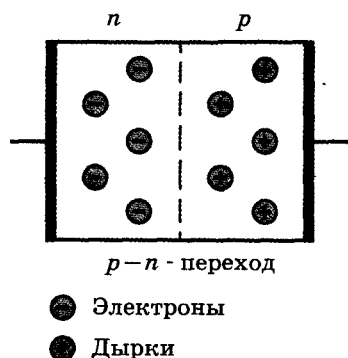
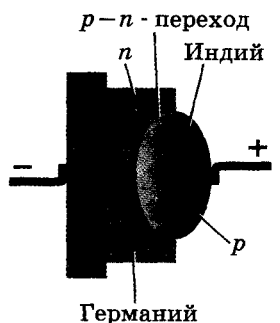


Рис. 87



Катод - + Анод

Рис. 88

меров с областями электронной ( $n$ ) и дырочной ( $p$ ) проводимостями, к которым присоединены выводы диода (рис. 88). Вследствие подвижности электронов они могут покинуть  $n$ -область, и она приобретет суммарный положительный заряд, который потянет электроны обратно и помешает движению электронов в сторону границы раздела областей. Подобным образом отрицательные ионы мешают свободным дыркам уходить из  $p$ -области. В итоге между  $p$  —  $n$ -областями возникает  $p$  —  $n$ -переход — узкая полоска толщиной  $10^{-4}$  мм (см. рис. 87). Это запирающий слой, он составляет главную часть сопротивления диода, которое, в свою очередь, зависит от полярности подводимого напряжения.

При подключении «+» источника тока к  $p$ -области и «-» к  $n$ -области (рис. 89) дырки отталкиваются, а электроны притягиваются электрическим полем источника тока, они движутся навстречу друг другу к  $p$  —  $n$ -переходу. Пройдя запирающий слой, электроны и дырки попадают в поле действия электрических полюсов источника и притягиваются к ним. Это значит, что через  $p$  —  $n$ -переход протекает электрический ток, о чем и свидетельствует горение лампочки. Это прямое включение диода.

При смене полюсов источника тока на выводах диода (рис. 90) лампочка не горит,

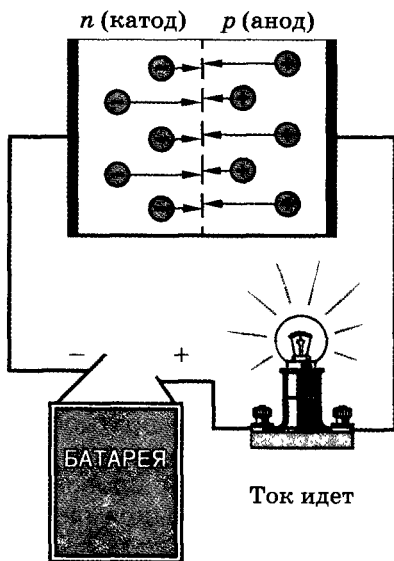


Рис. 89

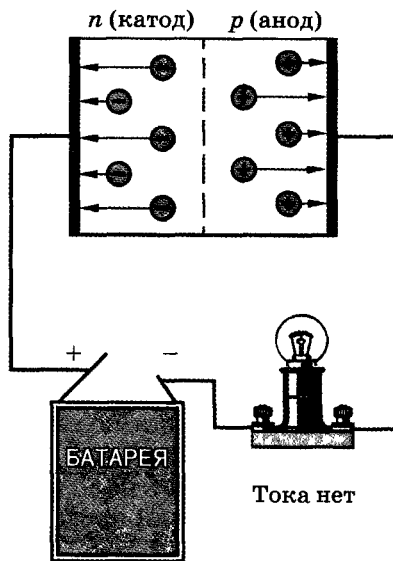


Рис. 90

$p-n$ -переход стал как бы шире, поскольку электроны отошли к «+», а дырки — к «-» источника тока.

При подключении напряжения положительной полярности к аноду диода ( $p$ -область), а отрицательной — к катоду ( $n$ -область) диод открывается и пропускает ток. При смене полярности на противоположную диод закрывается и ток не пропускает. Однако очень небольшой ток и в этом случае течет через диод, он создается движением неосновных носителей заряда. Этот ток направлен от  $n$ -области к  $p$ -области и называется *обратным током диода*. В зависимости от направления тока в диоде приложенное к нему напряжение, а также сопротивление диода называют прямыми или обратными.

В справочных пособиях, кроме названных характеристик диода, обычно приводятся их вольт-амперные характеристики (рис. 91), кото-

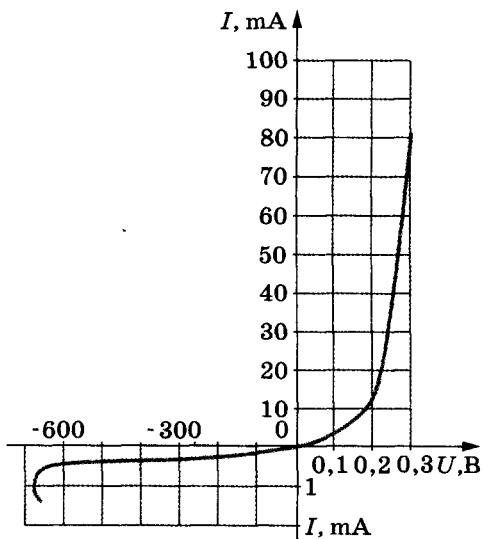


Рис. 91

рые графически показывают зависимость силы тока от напряжения. Из графика видно, что прямой ток, начиная с некоторого значения напряжения (0,2 В), зависит от напряжения почти линейно, обратный, наоборот, почти не зависит от приложенного напряжения. Следовательно, прямое сопротивление перехода с повышением внешнего напряжения вначале постепенно уменьшается, а затем остается почти постоянным. Обратное же сопротивление возрастает почти пропорционально приложенному напряжению.

У плоскостных диодов (они используются в выпрямителях), у которых площадь соприкосновения  $p-n$ -областей сравнительно велика, прямое сопротивление составляет несколько Ом, обратное — несколько кОм или несколько десятков кОм. У точечных диодов (они используются в качестве детектора), где площадь соприкосновения  $p-n$ -областей мала, прямое сопротивление несколько десятков Ом, обратное — сотни кОм.

**Цель работы:** на опыте убедиться в односторонней проводимости диода и графически представить токи на нагрузке после выпрямления переменного тока.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, плоскостной диод на колодке, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Соберите электрическую цепь: вначале по схеме на рисунке 92, а затем по схеме на рисунке 93 и в каждом случае фиксируйте показания амперметра и состояние индикатора (лампочки).

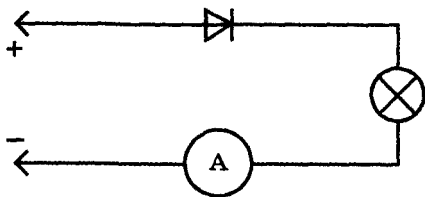


Рис. 92

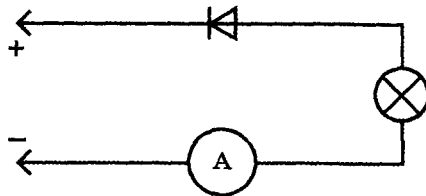


Рис. 93

2. Результаты измерений и наблюдений запишите в таблицу 37.

Таблица 37

| Схема | Показания амперметра | Состояние индикатора (лампочки) | Включение диода |
|-------|----------------------|---------------------------------|-----------------|
|       |                      |                                 |                 |
|       |                      |                                 |                 |

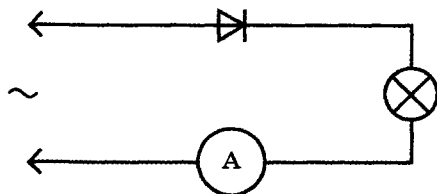


Рис. 94

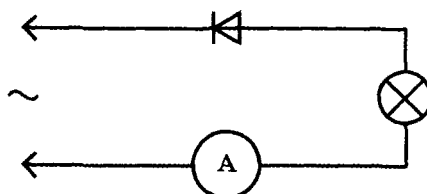


Рис. 95

3. Соберите электрическую цепь: вначале по схеме на рисунке 94, а затем по схеме на рисунке 95 и в каждом случае фиксируйте показания амперметра и состояние индикатора (лампочки).

4. Результаты наблюдений и измерений запишите в таблицу 38.

Таблица 38

| Схема | Показания амперметра | Состояние индикатора (лампочки) | Включение диода |
|-------|----------------------|---------------------------------|-----------------|
|       |                      |                                 |                 |

5. Переключатель функции мультиметра переведите в положение «Ω». Красный щуп присоедините к аноду, а черный — к катоду полупроводникового диода. С дисплея мультиметра снимите показания прямого падения напряжения (в милливольтках) на  $n - p$  или  $p - n$ -переходе диода. Это важно при подборе диодов с одинаковыми параметрами.

Поменяйте полярность включения диода на обратную, и если он исправен, то на дисплее появляется знак «1».

6. При измерении обратного тока диода (в микроамперах) подключите его к гнездам: «С» — коллектор, «Е» — эмиттер на транзисторной панели мультиметра. При правильном включении наблюдаются мерцающие показания на дисплее.

## Лабораторная работа 40

### СБОРКА И ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

**Теоретический материал.** Кроме первичных источников электропитания (гальванические элементы, генераторы, солнечные батареи и т. д.), в электрорадиотехнике широко распространены источники вторичного электропитания — выпрямители.

Остановимся на изучении работы выпрямителей, собранных по одно- и двухполупериодным схемам со средней точкой и мостовой схеме.

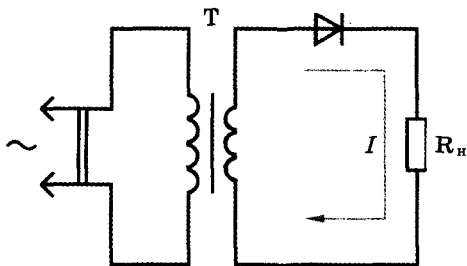


Рис. 96

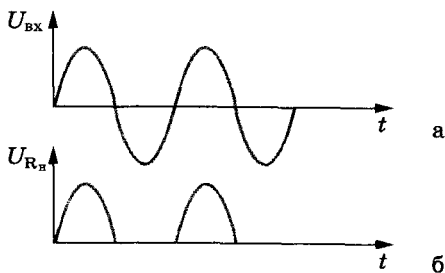


Рис. 97

**Однополупериодный выпрямитель** (рис. 96), как правило, состоит из понижающего трансформатора, во вторичную цепь которого включены полупроводниковый диод и нагрузка (резистор). Под действием внешнего переменного напряжения запирающий слой полупроводникового диода «пульсирует», т. е. меняется его толщина и сопротивление (рис. 97, а). Это создает благоприятные условия для прохождения электрического тока от дырочного полупроводника к электронному (пропускное направление) и неблагоприятные условия для прохождения тока в обратном направлении. Иначе говоря, в течение второго полупериода ток становится настолько слабым, что практически его можно не принимать во внимание (рис. 97, б).

Однополупериодный выпрямитель работает через такт, использует энергию только одного полупериода переменного напряжения. При этом частота импульсов (см. рис. 97, б) такая же, как и частота сетевого напряжения (50 Гц), а постоянная составляющая тока на нагрузке примерно равна 32% от амплитудного импульса.

**Двухполупериодный выпрямитель** (рис. 98) выпрямляет оба полупериода переменного напряжения. На нагрузке  $R_n$  (рис. 99, а) ток протекает без пауз, частота пульсации равна 100 Гц, а постоянная составляющая тока на нагрузке достигает 64% от амплитудного. Когда на конце одной обмотки (точнее, одной секции) «плюс» относительно средней точки вторичной обмотки трансформатора, а на конце другой «минус» — один диод открыт, а другой — закрыт. Когда во время следующего полупериода

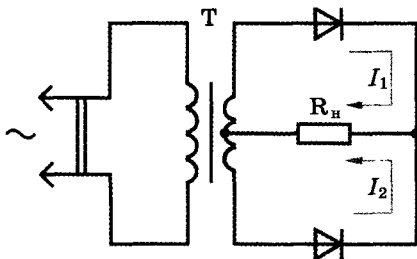


Рис. 98

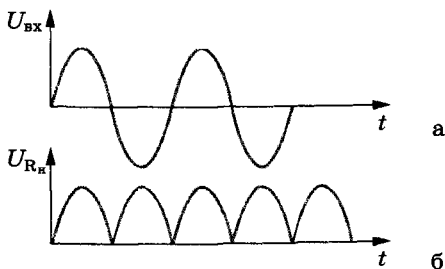


Рис. 99

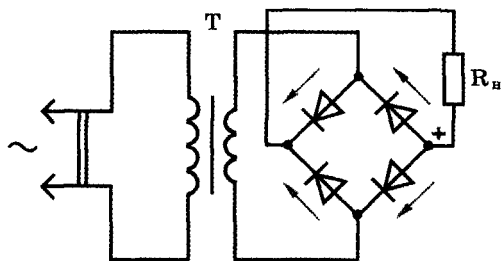


Рис. 100

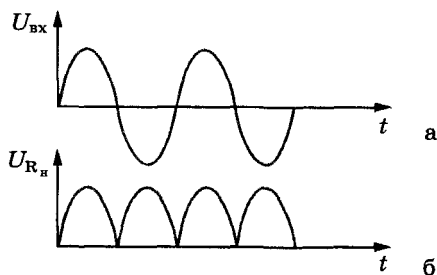


Рис. 101

напряжения полярность во вторичной обмотке меняется, то первый диод закрывается, а второй — открывается (рис. 99, б).

Двухполупериодное выпрямление получают и с помощью мостовой схемы (рис. 100). В ней в каждый полупериод ток проходит через два последовательно включенных диода.

Полученное на выходе выпрямителя пульсирующее постоянное напряжение (рис. 101) в большинстве случаев отрицательно сказывается на нормальной работе электронных схем. Так, для питания входных каскадов радиоприемной аппаратуры пульсации напряжения источника питания не должны превышать 0,1% амплитудного значения постоянного напряжения, для выходных каскадов — 1%, для приборов автоматики и телемеханики — 2%.

Для снижения пульсации выходного напряжения на выходе выпрямителя устанавливают сглаживающие фильтры различных конструкций.

Наиболее простым и распространенным фильтром является емкость конденсатора, включаемая параллельно нагрузке выпрямителя (рис. 102). Сглаживающее действие конденсатора состоит в следующем. Конденсатор заряжается все время, пока напряжение на выходе выпрямителя больше напряжения на нагрузке (рис. 102). Когда напряжение на выходе выпрямителя начинает уменьшаться, конденсатор разряжается, отдавая накопленную энергию в нагрузку. Если емкость конденсатора выбрана достаточно большой, то за время уменьшения напряжения на выходе выпрямителя он не успевает достаточно глубоко разрядиться и колебания напряжения на нагрузке (пульсация напряжения) будут относительно небольшими (рис. 103).

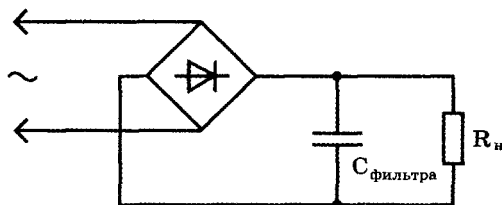


Рис. 102

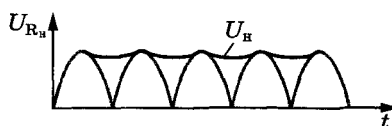


Рис. 103

Подобного рода фильтр установлен в адаптере. Недостатком этого фильтра является значительная зависимость амплитуды пульсации напряжения от силы тока нагрузки. Например, если сила тока в нагрузке возрастает, то ее сопротивление уменьшается. Следовательно, до того момента, пока напряжение на выходе выпрямителя начнет возрастать, конденсатор отдаст в нагрузку больше запасенной энергии, т. е. разрядится до более низкого напряжения. Амплитуда пульсации на нагрузке возрастает. Вот почему емкость конденсатора фильтра выбирают исходя из максимальной силы тока нагрузки.

**Цель работы:** сконструировать одно- и двухполупериодный выпрямитель, измерить основные выходные параметры.

**Приборы и материалы:** адаптер с выводами для переменного тока, мультиметр M890G, резистор-потенциометр, конденсатор электролитический, плоскостной диод на колодке, мостиковый выпрямитель в сборке, провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Соберите однополупериодный выпрямитель по схеме на рисунке 96.
2. Переключателем функции переведите мультиметр в режим частотомера и измерьте на нагрузке выпрямителя частоту тока.
3. Соберите двухполупериодный выпрямитель по схеме на рисунке 100.
4. Частотомером мультиметра измерьте на нагрузке выпрямителя частоту тока.
5. Переведите мультиметр в режим работы вольтметра постоянного тока. Измерьте напряжение на нагрузке выпрямителя: однополупериодного и двухполупериодного.
6. К нагрузке подключите конденсатор электролитический (см. рис. 102) и снова измерьте напряжение на выходе выпрямителя.
7. Результаты измерений, наблюдений и размышлений запишите в таблицу 39.

Таблица 39

| Тип выпрямителя              | Частота тока $\nu$ на выходе, Гц | Напряжение $U$ на нагрузке, В | Графическое изображение изменения напряжения на нагрузке |
|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Однополупериодный            |                                  |                               |                                                          |
| Однополупериодный с фильтром |                                  |                               |                                                          |
| Двухполупериодный            |                                  |                               |                                                          |
| Двухполупериодный с фильтром |                                  |                               |                                                          |

**Примечание.** Нагрузка должна быть постоянной для любой схемы выпрямителя.

## Лабораторная работа 41

### ТРАНЗИСТОР И ИЗМЕРЕНИЕ ЕГО СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ

**Теоретический материал.** Транзистор изготовлен из пластинки (кристалла) германия, в грани которой вплавлены атомы индия (рис. 104). В результате в пластинке образуются три области: эмиттер Э, база Б, коллектор К, на границах которых выделяют два электронно-дырочных перехода: Э — Б-эмиттерный, Б — К-коллекторный (рис. 105).

В зависимости от комбинации включения областей с  $p$ - и  $n$ -проводимостями различают транзисторы структуры  $n-p-n$  (рис. 105) и  $p-n-p$  (рис. 106). Принцип действия транзисторов обеих структур одинаков, отличие состоит в полярности подключения источника питания. Так как в транзисторах структуры  $n-p-n$  основными носителями тока являются электроны, то к коллектору транзистора подводят «минус» источника тока, а к эмиттеру — «плюс».

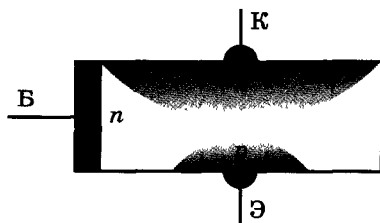


Рис. 104

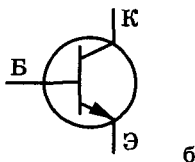
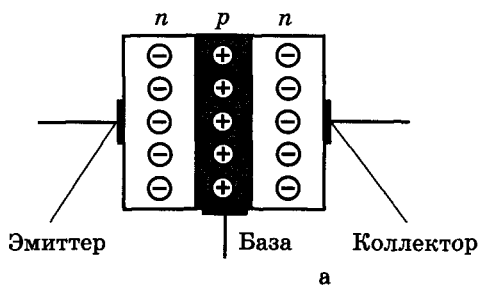


Рис. 105

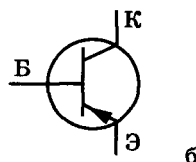
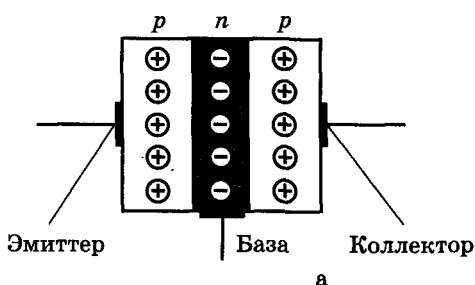


Рис. 106

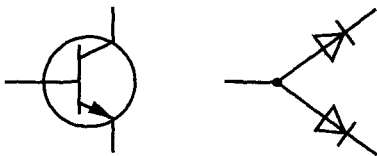


Рис. 107

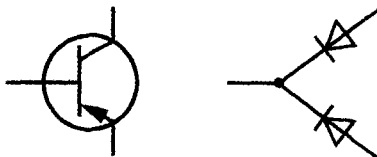


Рис. 108

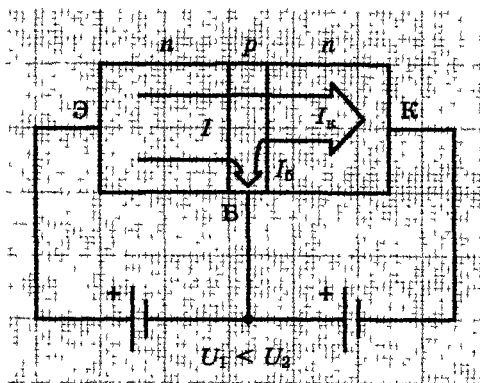


Рис. 109

Каждый переход транзистора можно рассматривать как полупроводниковый диод, а в целом транзистор — как бы состоящим из двух диодов, соединенных в зависимости от структуры анодами (рис. 107) или катодами (рис. 108). При этом точка соединения диодов соответствует выводу базы транзистора.

В основу принципа действия транзистора положен эффект влияния базы на прохождение носителей тока (дырок, электронов) из области эмиттера в область коллектора через область базы.

При подключении источника питания (рис. 109) переход  $\mathcal{E} - Б$  включен в прямом (пропускном) направлении и через него протекает ток. Базовая область в транзисторе имеет малую толщину, поэтому носители тока, попадая в нее, оказываются под воздействием относительно высокого напряжения коллектора. Благодаря этому они приобретают значительную скорость и преодолевают сопротивление коллекторного перехода.

В результате основная часть носителей тока из области  $\mathcal{E}$ , пройдя

через область  $Б$ , переходит в область  $К$  и обеспечивает коллекторный ток.

Незначительное увеличение напряжения на переходе  $\mathcal{E} - Б$  (это аналогично прохождению тока через диод, включенный в прямом направлении) ведет к увеличению числа носителей тока, поступающих из области эмиттера в области коллектора и базы.

Для транзистора  $p - n - p$ -типа (см. рис. 109) подача небольшого отрицательного напряжения (до 1 В) на эмиттерный переход («плюс» на эмиттер, «минус» на базу) приводит к открытию этого перехода и движению дырок из эмиттера в базу. Небольшая часть дырок рекомбинирует (поглощается) при встречах с электронами в базе и тем самым создает ток базы ( $I_Б$ ). Основная же часть дырок достигает коллекторного перехода и создает ток в цепи коллектора ( $I_К$ ).

В итоге транзистор можно рассматривать как устройство, распределяющее ток, протекающий через эмиттер в заданном соотношении между базой и коллектором.

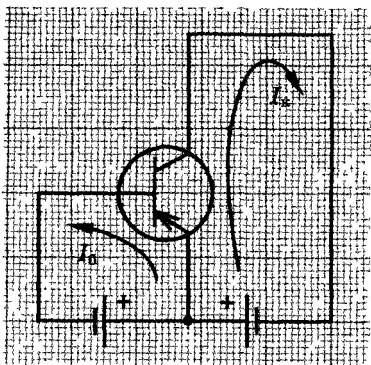


Рис. 110

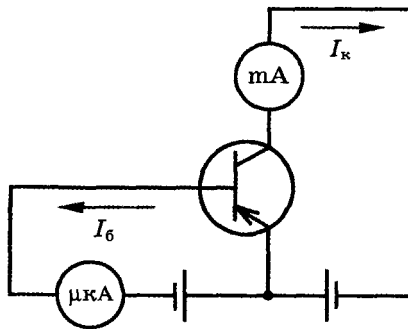


Рис. 111

Учитывая, что напряжение, подводимое к базе, гораздо меньше напряжения, подводимого к коллектору, а произведение силы тока на напряжение — это мощность тока, можно сделать вывод, что малая входная мощность управляет большой выходной. Это значит, что транзистор обладает усилительными свойствами. Коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером (рис. 110) показывает, во сколько раз коллекторный ток больше базового тока:

$$\beta = I_k / I_б.$$

Для измерения статического коэффициента усиления транзистора, включенного в цепь с общим эмиттером, необходимо измерить токи коллектора и базы при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером (рис. 111). Эта процедура длительная, требующая разных измерительных приборов и источников тока.

В настоящее время статический коэффициент усиления транзистора измеряют прямым и простым методом, т. е. с помощью цифрового мультиметра.

**Цель работы:** определить структуру и выводы транзисторов, измерить статический коэффициент усиления транзистора.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, резистор на 22 кОм (из комплекта для сборки детекторного радиоприемника), провода соединительные.

#### Указания к работе:

1. Переведите мультиметр в разряд омметра.
2. Подключите омметр к эмиттеру и базе транзистора и, меняя полярность включения, убедитесь в односторонней проводимости перехода Э — Б.

Аналогично установите одностороннюю проводимость перехода Б — К.

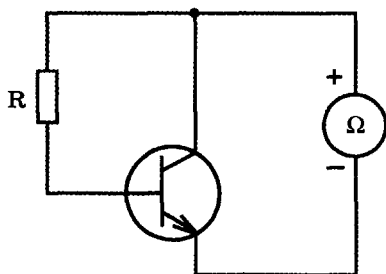
Измерьте прямые сопротивления эмиттерного и коллекторного переходов. Результаты измерений занесите в таблицу 40.

| Тип транзистора | Сопротивление $R$ перехода Э — Б, Ом |          | Сопротивление $R$ перехода Б — К, Ом |          |
|-----------------|--------------------------------------|----------|--------------------------------------|----------|
|                 | прямое                               | обратное | прямое                               | обратное |
|                 |                                      |          |                                      |          |
|                 |                                      |          |                                      |          |

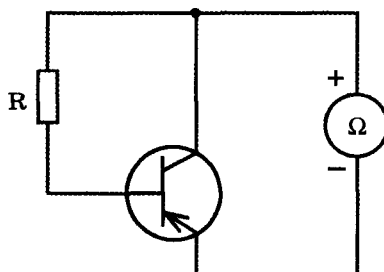
3. Установите омметр на предел измерения «МОм» и измерьте обратные сопротивления обоих переходов транзистора.

Примечание. Если при малом сопротивлении переходов транзистора плюсовой щуп омметра касался одного и того же вывода, то это вывод базы и транзистор имеет структуру  $n - p - n$ . Если в данной ситуации этого вывода касался минусовой щуп, то транзистор имеет структуру  $p - n - p$ .

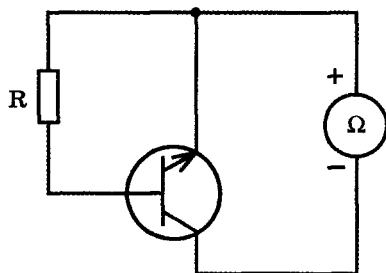
4. Измерьте статический коэффициент усиления транзистора. Для этого переключатель функции мультиметра переведите в положение « $hFE$ » и выводы транзистора вставьте в соответствующие гнезда панельки.



а

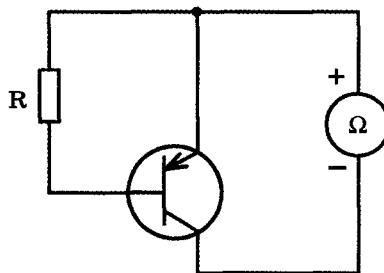


а



б

Рис. 112



б

Рис. 113

5. Определите соответствие выводов эмиттера и коллектора, поскольку базовый вывод был уже определен ранее (см. примечание). Собирают электрические цепи (рис. 112) для транзистора  $n - p - n$  или цепи (рис. 113) для транзистора  $p - n - p$ . Правильному выбору выводов коллектора и эмиттера соответствует меньшее сопротивление, фиксируемое омметром.

6. Подключите в гнезда панельки («Е» — эмиттер, «В» — база, «С» — коллектор), и на дисплее мультиметра появится число — коэффициент усиления транзистора, включенного в цепь с общим эмиттером.

## Лабораторная работа 42

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ СВЕТОДИОДА

**Теоретический материал.** Как у выпрямительного диода, так и у светодиода в основе конструкции лежит  $p - n$ -переход. Поэтому механизмы прохождения тока через диод и светодиод в основном одинаковы.

Светодиод — это излучающий полупроводниковый прибор с  $p - n$ -переходом, предназначенный для непосредственного преобразования электрической энергии в энергию некогерентного светового излучения.

В качестве материала для изготовления светодиодов обычно используют полупроводниковые соединения: карбид кремния  $\text{SiC}$ , фосфид галлия  $\text{GaP}$ , арсенид галлия  $\text{GaAs}$  и др. Спектр излучения зависит от используемого материала, от рода и концентрации примесей.

Электронно-дырочные переходы в кристаллах полупроводников для светодиодов изготавливают методом диффузии примесей в монокристалл либо методом сплавления.

При отсутствии внешнего электрического поля на электродах светодиода диффузии основных носителей заряда через  $p - n$ -переход (электронов из  $n$ - в  $p$ -область и дырок в противоположном направлении) препятствует внутреннее электрическое поле, называемое контактным. Из-за наличия контактного поля для перевода электрона из  $n$ - в  $p$ -область и дырки в противоположном направлении требуется совершить работу, равную произведению заряда электрона на контактное напряжение (рис. 114), т. е.  $A = eU_k$ .

Когда к электродам диода подводят напряжение источника в пропускном направлении, то контактное напряжение убывает и запирающий слой сужается. Это значит, что часть основных носителей заряда получает возможность преодолевать  $p - n$ -переход, и тем самым они обеспечивают прямой ток. При равенстве внешнего напряжения контактное электроны и дырки беспрепятственно устремляются навстречу друг другу, и сила тока

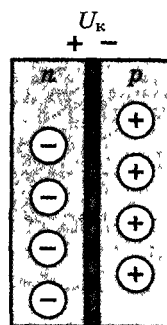


Рис. 114

резко возрастает. При этом дырки и электроны рекомбинируют в соответствующих областях. Процесс рекомбинации сопровождается свечением  $p-n$ -перехода, т. е. свечением светодиода.

**Цель работы:** измерить контактное напряжение, напряжение зажигания и прямой ток светодиода.

**Приборы и материалы:** адаптер, мультиметр M890G, светодиод, резистор-потенциометр, провода соединительные.

### Указания к работе:

1. Переведите мультиметр в режим вольтметра постоянного тока с пределом «2 В» или «20 В», щупы вольтметра присоедините к выводам светодиода и зафиксируйте показания прибора при освещенном и затемненном светодиоде. При отсутствии показаний прибора поменяйте полярность подключения светодиода.

2. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 115 и наблюдайте за показаниями вольтметра в момент зажигания светодиода, т. е. измерьте напряжение в момент зажигания.

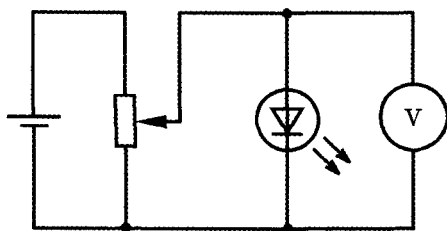


Рис. 115

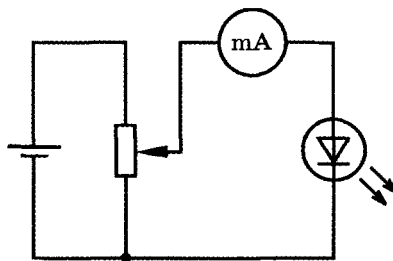


Рис. 116

3. Соберите электрическую цепь по схеме на рисунке 116 и при повороте ручки потенциометра фиксируйте показания амперметра, т. е. силу тока, протекающего через светодиод.

4. Результаты измерений и наблюдений занесите в таблицу 41.

Таблица 41

| Тип светодиода | Контактное напряжение $U_k$ , В | Напряжение свечения $U_c$ , В | Прямой ток светодиода $I$ , А |
|----------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                |                                 |                               |                               |
|                |                                 |                               |                               |

5. Соотнесите экспериментальные данные с основными теоретическими положениями.

## ИЗУЧЕНИЕ И СБОРКА ДЕТЕКТОРНОГО РАДИОПРИЕМНИКА

**Теоретический материал.** Изучение детекторного радиоприемника удобнее начинать с рассмотрения принципиальной схемы (рис. 117). Сразу отметим, что в ней нет источника тока.

Радиоволны, идущие от передающих станций, согласно законам электромагнитной индукции, возбуждают в антенне *A* быстропеременные токи разных частот. Антенна соединена с колебательным контуром. Изменяют емкость конденсатора *C* в колебательном контуре и тем самым настраивают его в резонанс с частотой одной из передающих радиостанций. При резонансе токи от этой радиостанции будут преобладать над токами от других станций.

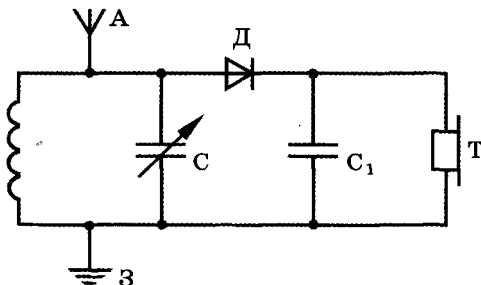


Рис. 117

К колебательному контуру присоединен детектор — диод *D*, который выпрямляет переменные высокочастотные токи и преобразует их в пульсирующие. Сопротивлением нагрузки детектора является катушка телефона *T*. Фильтром, пропускающим токи высокой частоты, служит конденсатор *C*<sub>1</sub>, присоединенный параллельно телефону. Через телефон течет пульсирующий ток звуковой частоты. Этот ток очень слаб, так как он возникает только за счет энергии электромагнитной волны передающей станции. Поэтому детекторный приемник может принять сигнал только на телефон, и то от мощных радиостанций.

**Цель работы:** собрать и настроить детекторный радиоприемник, объяснить принцип его работы.

**Приборы и материалы:** набор деталей для сборки детекторного радиоприемника (см. рис. 15).

### Указания к работе:

1. Соберите из катушки индуктивности ДВ и конденсатора переменной емкости колебательный контур.

2. К колебательному контуру подключите детектор — точечный диод, гнезда для телефона с блокировочным конденсатором так, как показано на рисунке 118. Детектор при этом соедините с зажимом, подключенным к неподвижным пластинам конденсатора переменной емкости. В гнезда на панельке с блокировочным конденсатором вставьте штекеры, идущие от головных телефонов.

3. Подключите к собранному приемнику наружную (комнатную) антенну и заземление. Для исключения возникновения дополнительной

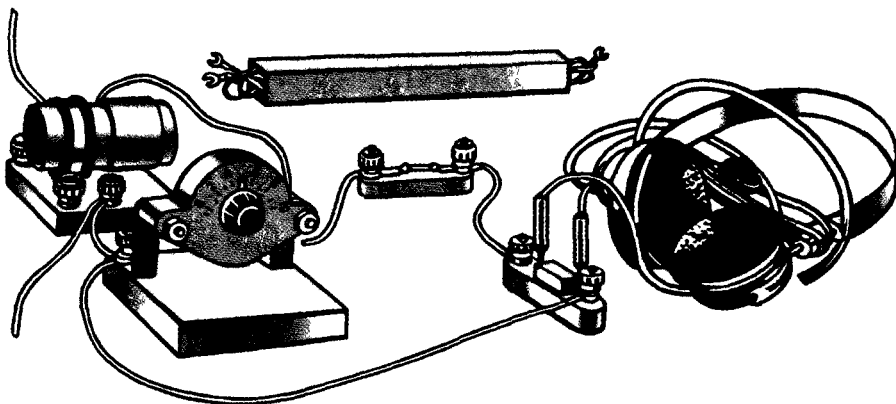


Рис. 118

емкости, которая вносится рукой при настройке приемника, провод от заземления подключите к зажиму, соединенному с подвижными пластинами конденсатора переменной емкости.

4. После надевания головных телефонов медленно вращайте ручку конденсатора переменной емкости, т. е. настраивайте приемник на работающие в данном диапазоне радиостанции и слушайте их радиопередачи.

5. Вместо длинноволновой катушки в контур приемника включите катушку СВ, производите настройку и прием радиостанций.

6. Для осознания принципа действия приемника запишите: назначение открытого колебательного контура (антенна, катушка, земля) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ ,  
закрытого колебательного контура (катушка, конденсатор переменной емкости) \_\_\_\_\_ ,

детектора-диода \_\_\_\_\_ ,

телефона \_\_\_\_\_ ,

конденсатора блокировочного \_\_\_\_\_ .

### *Лабораторная работа 44*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТА**

**Теоретический материал.** Если к полюсу магнита площадью поперечного сечения  $S$  поднести якорь из мягкой стали, то он притянется к магниту. Максимальная сила  $F$ , которую нужно приложить к якорю, чтобы оторвать от полюса магнита, называется подъемной силой магни-

та. Работа этой силы на бесконечно малом отрезке пути  $\Delta x$  равна  $A = F \cdot \Delta x$ .

В то же время эта работа равна изменению энергии магнитного поля, которую определяют по формуле  $w_0 = \frac{W_m}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0}$ . Эта формула плотности энергии магнитного поля получена английским физиком Дж. Максвеллом, она не доказывается теоретически, а лишь подтверждается опытами.

**Плотность энергии магнитного поля** — это энергия, приходящаяся на единицу объема. Для воздуха  $\mu \approx 1$ , поэтому  $w_0 = \frac{B^2}{2\mu_0}$ , где  $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$  Гн/м (магнитная постоянная).

Если к полюсу магнита с площадью поперечного сечения  $S$  поднести якорь из мягкой стали, то он притянется к нему. Для отрыва якоря необходимо совершить работу  $A = F \cdot \Delta x$ . В то же время эта работа равна изменению энергии магнитного поля  $A = \Delta W_m$ , т. е. энергии, заключенной в объеме  $\Delta V = S \cdot \Delta x$ . Так как  $A = \Delta W_m$ , то  $F \cdot \Delta x = w_0 \cdot \Delta V$  или  $F \cdot \Delta x = \frac{B^2}{2\mu_0} \cdot \Delta V = \frac{B^2 S \Delta x}{2\mu_0}$  или  $F = \frac{B^2 S}{2\mu_0}$ , отсюда  $B = \sqrt{\frac{\mu_0 F}{S}}$ .

Из анализа последней формулы следует, что для определения магнитной индукции необходимо измерить подъемную силу магнита и площадь поперечного сечения его полюса.

**Цель работы:** определить магнитную индукцию постоянного магнита.

**Приборы и материалы:** Поршень шприца с магнитом (рис. 119), динамометр, кнопка канцелярская.

### Указания к работе:

1. Положите поршень шприца с одной приклеенной магнитной шайбой на стол и приблизьте якорь. Якорем является канцелярская железная кнопка, острие которой загнуто вовнутрь и под него подведена замнутая нить. Якорь притягивается (рис. 119).

2. К свободной петле нити прикрепите лабораторный динамометр и, удерживая одной рукой поршень, другой приведите в медленное движение динамометр. При этом постоянно следите за показаниями динамометра. В момент отрыва якоря зафиксируйте показания динамометра.

Поскольку якорь не всегда отрывается при одних и тех же показаниях динамометра, то опыт повторите несколько раз, а затем найдите среднее значение.

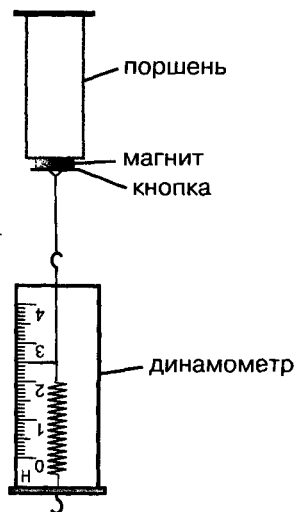


Рис. 119

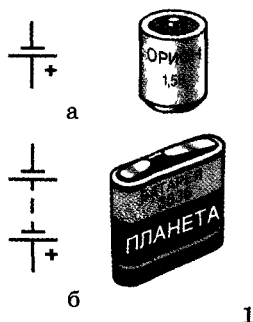
3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 42.

Таблица 42

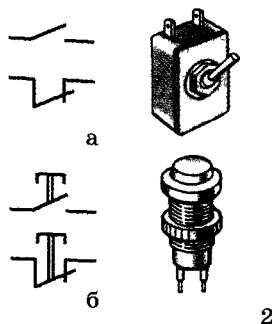
| № опыта | Сила $F$ , Н      | Площадь полюса магнита $S$ , м <sup>2</sup> | Магнитная индукция $B$ , Тл |
|---------|-------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|
| 1.      |                   |                                             |                             |
| 2.      |                   |                                             |                             |
| 3.      |                   |                                             |                             |
| 4.      |                   |                                             |                             |
| 5.      |                   |                                             |                             |
|         | $F_{\text{ср}} =$ |                                             | $B_{\text{ср}} =$           |

## Приложение

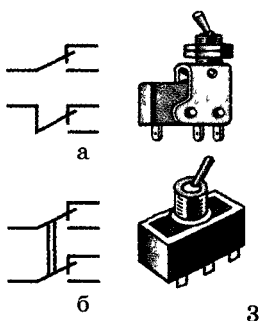
### Условные графические обозначения в электрических и радиотехнических схемах



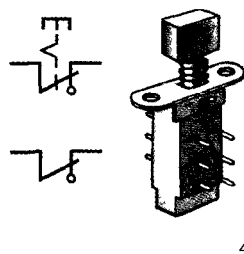
Гальванический элемент или аккумулятор 1, а, батарея таких элементов или аккумуляторов 1, б.



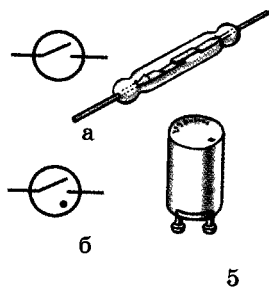
Выключатель с одной группой замыкающих или размыкающих контактов 2, а; кнопочный выключатель 2, б. Наклонная черта — символ подвижного контакта, управляемого ручкой или кнопкой.



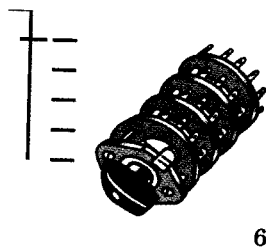
Переключатель с одной (3, а) и двумя (3, б) группами переключающих контактов.



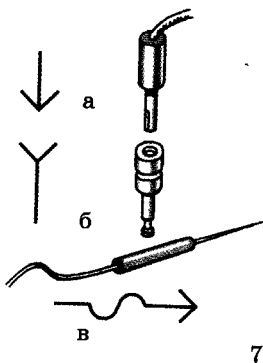
Кнопочный переключатель с фиксацией положения 4; знак фиксации — кружок на нижнем подвижном контакте.



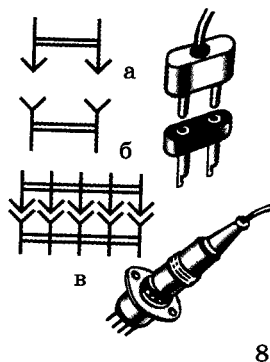
Геркон 5, а; стартер 5, б.



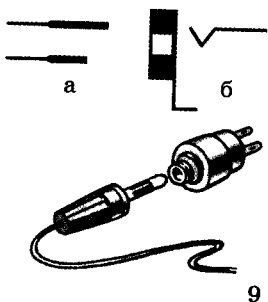
Галетный переключатель 6.



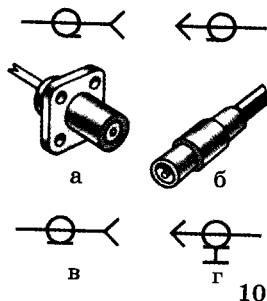
Штырь или штепсель 7, а; шуп измерительного прибора 7, в; гнездо 7, б.



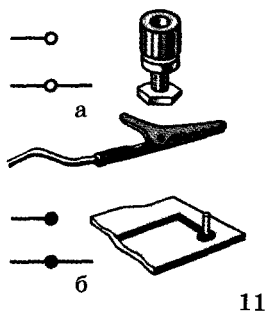
Сетевая вилка 8, а; розетка 8, б; многоконтактный разъем 8, в.



Разъем 9 в малогабаритных приемниках, плеерах.

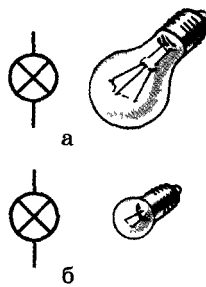


Высокочастотное гнездо 10, а; штырь 10, б.



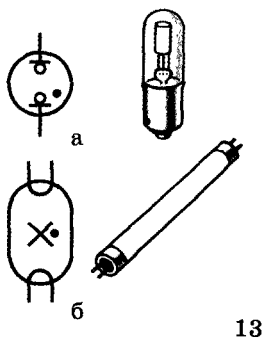
11

Контакт соединения:  
разборного 11, а; неразборного  
11, б.



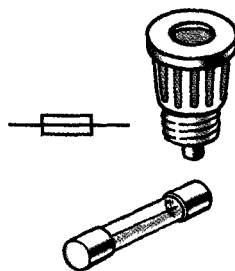
12

Осветительная (12, а), индикаторная  
(12, б) лампы накаливания.



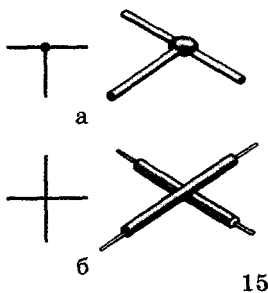
13

Неоновая индикаторная (13, а), лю-  
минесцентная осветительная (13, б)  
лампы.



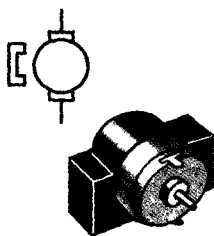
14

Плавкий предохранитель 14.



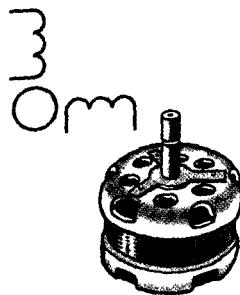
15

Соединение (15, а),  
пересечение (15, б) проводников.



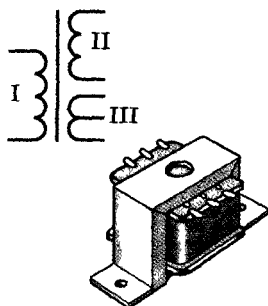
16

Коллекторный электродвигатель постоянного тока 16: окружность символизирует ротор, касающиеся ее узкие прямоугольники — щетки, П-образная скоба — постоянные магниты статора.



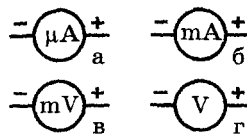
17

Электродвигатель переменного тока 17: окружность — символ ротора, цепочка полуокружностей над окружностью — основная обмотка, другая цепочка — фазосдвигающая обмотка.



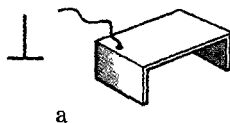
18

Трансформатор 18: I — первичная обмотка, II, III — вторичные.

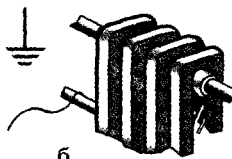


19

Стрелочный индикатор: микроамперметр 19, а; миллиамперметр 19, б; милливольтметр 19, в; вольтметр 19, г.



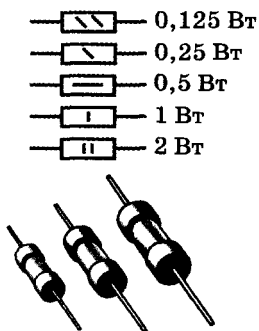
а



б

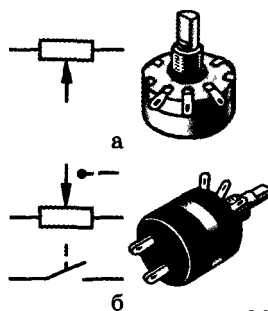
20

Общий провод или металлическое шасси 20, а; заземление 20, б.



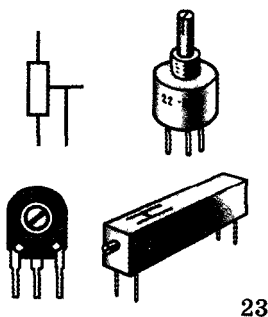
21

Постоянный резистор 21. Прямые и наклонные черточки внутри условного обозначения обозначают мощность резистора.



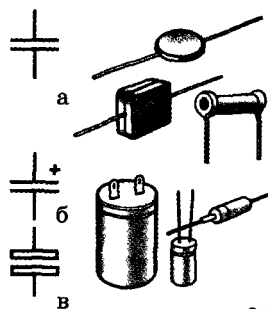
22

Переменный резистор 22, а; переменный резистор с выключателем 22, б.



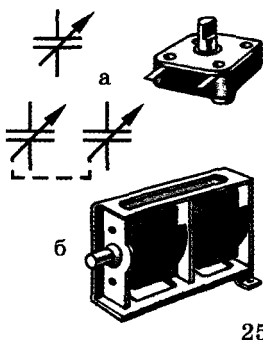
23

Подстроечный резистор 23.



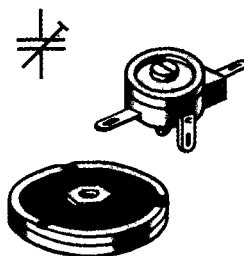
24

Конденсатор постоянной емкости 24, а; оксидный полярный 24, б; оксидный неполярный 24, в.



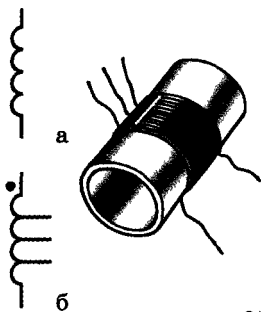
25

Конденсатор переменной емкости одинарный 25, а; двойной 25, б.



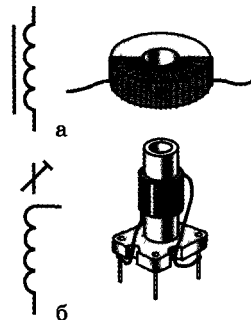
26

Подстроечный конденсатор 26.



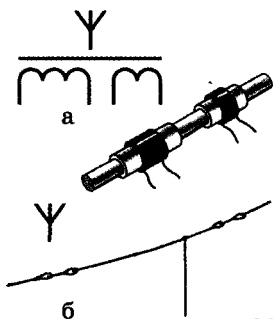
27

Катушка индуктивности без отводов 27, а; с отводами 27, б.



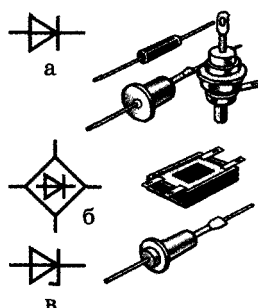
28

Катушка индуктивности с магнитопроводом 28, а; без магнитопровода 28, б.



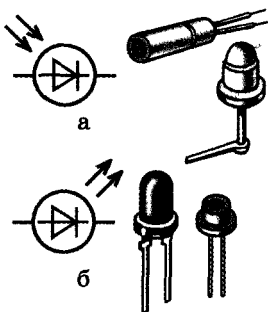
29

Магнитная (29, а) и наружная (29, б) приемные антенны.



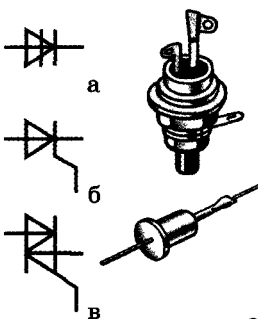
30

Полупроводниковый диод 30, а; диодный мост 30, б; полупроводниковый стабилизатор 30, в.



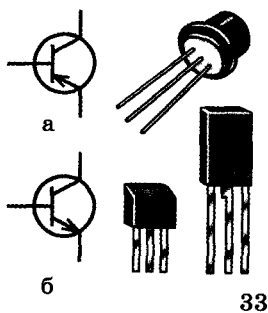
31

Фотодиод 31, а; светодиод 31, б.

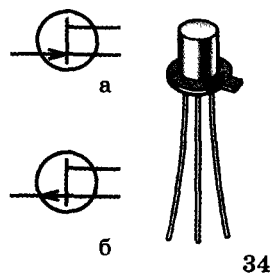


32

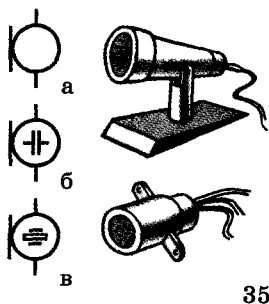
Тиристоры: динистор 32, а; триак 32, б; симистор 32, в.



Транзисторы биполярные 33.



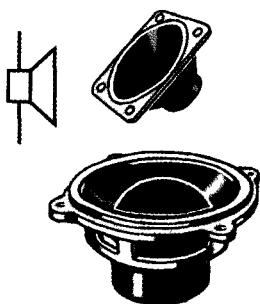
Транзисторы полевые 34.



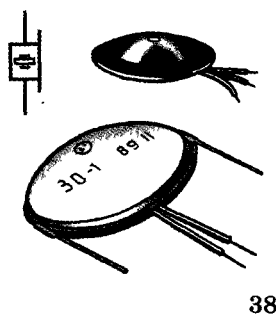
Микрофоны: электродинамический 35, а; конденсаторный 35, б; пьезоэлектрический и электретный 35, в.



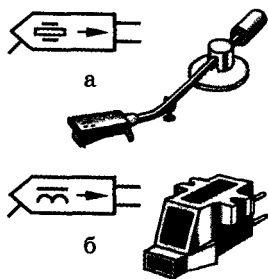
Головные телефоны 36.



Динамические громкоговорители 37.

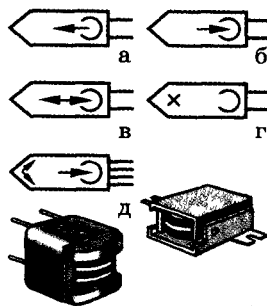


Пьезоэлектрический звукоизлучатель 38.



39

Звукосниматель пьезоэлектрический 39, а; электромагнитный 39, б.



40

Магнитная головка записывающая 40, а; воспроизводящая 40, б; записывающая и воспроизводящая 40, в; стирающая 40, г; стереофоническая универсальная 40, д.

## Оглавление

---

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Предисловие                                                                                               | 3         |
| Введение                                                                                                  | 4         |
| <b>Глава I. Новые приборы</b>                                                                             | <b>7</b>  |
| § 1. Лабораторные источники электропитания                                                                | —         |
| § 2. Новые электроизмерительные приборы                                                                   | 9         |
| § 3. Потребители и другие компоненты электрических цепей                                                  | 14        |
| § 4. Самодельные индикаторы и приспособления                                                              | 16        |
| <b>Глава II. Лабораторные работы</b>                                                                      | <b>19</b> |
| Лабораторная работа 1. Расчет и измерение емкости плоского конденсатора                                   | —         |
| Лабораторная работа 2. Измерение емкости конденсатора и расчет диэлектрической проницаемости              | 21        |
| Лабораторная работа 3. Расчет и измерение емкости батареи параллельно соединенных конденсаторов           | 22        |
| Лабораторная работа 4. Расчет и измерение емкости батареи последовательно соединенных конденсаторов       | 23        |
| Лабораторная работа 5. Изучение зависимости емкости конденсатора от угла поворота ротора                  | 25        |
| Лабораторная работа 6. Измерение энергии электрического поля заряженного конденсатора                     | 27        |
| Лабораторная работа 7. Измерение напряжения на зажимах источника постоянного тока                         | 29        |
| Лабораторная работа 8. Измерение силы тока в цепи потребителя, подключенного к источнику постоянного тока | 30        |
| Лабораторная работа 9. Изучение зависимости силы тока от напряжения                                       | 32        |
| Лабораторная работа 10. Изучение нелинейной зависимости силы тока от напряжения                           | 33        |
| Лабораторная работа 11. Измерение работы и мощности электрической лампы                                   | 35        |
| Лабораторная работа 12. Расчет и измерение сопротивления проводника                                       | 36        |
| Лабораторная работа 13. Расчет и измерение сопротивлений резисторов при их последовательном соединении    | 38        |
| Лабораторная работа 14. Расчет и измерение сопротивлений резисторов при их параллельном соединении        | 39        |
| Лабораторная работа 15. Расчет и измерение напряжения на последовательно соединенных проводниках          | 41        |
| Лабораторная работа 16. Расчет и измерение силы тока при параллельном соединении проводников              | 42        |

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Лабораторная работа 17. Измерение удельного сопротивления проводника . . . . .                                                                        | 44 |
| Лабораторная работа 18. Измерение температуры проводников, включенных в электрическую цепь, при параллельном и последовательном соединениях . . . . . | 45 |
| Лабораторная работа 19. Сборка и изучение принципа действия гальванического элемента . . . . .                                                        | 47 |
| Лабораторная работа 20. Сборка и изучение принципа действия аккумулятора . . . . .                                                                    | 49 |
| Лабораторная работа 21. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока (первый вариант) . . . . .                                           | 51 |
| Лабораторная работа 22. Измерение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока (второй вариант) . . . . .                                           | 53 |
| Лабораторная работа 23. Определение заряда электрона . . . . .                                                                                        | 54 |
| Лабораторная работа 24. Определение заряда иона водорода . . . . .                                                                                    | 55 |
| Лабораторная работа 25. Электрохимическое покрытие и травление . . . . .                                                                              | 57 |
| Лабораторная работа 26. Зарядка гальванических элементов . . . . .                                                                                    | 59 |
| Лабораторная работа 27. Изучение магнитного поля катушки с током . . . . .                                                                            | 60 |
| Лабораторная работа 28. Изучение устройства и принципа действия электромагнитного реле . . . . .                                                      | 62 |
| Лабораторная работа 29. Действие магнитного поля на проводник с током . . . . .                                                                       | 64 |
| Лабораторная работа 30. Изучение явления электромагнитной индукции . . . . .                                                                          | 66 |
| Лабораторная работа 31. Изучение направления индукционного тока. Правило Ленца . . . . .                                                              | 69 |
| Лабораторная работа 32. Получение и изучение переменного тока . . . . .                                                                               | 71 |
| Лабораторная работа 33. Измерение коэффициента трансформации . . . . .                                                                                | 73 |
| Лабораторная работа 34. Измерение КПД трансформатора . . . . .                                                                                        | 75 |
| Лабораторная работа 35. Катушка индуктивности в цепи переменного тока . . . . .                                                                       | 76 |
| Лабораторная работа 36. Конденсатор в цепи переменного тока . . . . .                                                                                 | 78 |
| Лабораторная работа 37. Терморезистор и простейшее термореле . . . . .                                                                                | 80 |
| Лабораторная работа 38. Фоторезистор. Простейшее фотореле . . . . .                                                                                   | 82 |
| Лабораторная работа 39. Односторонняя проводимость полупроводникового диода . . . . .                                                                 | 84 |
| Лабораторная работа 40. Сборка и изучение работы выпрямителя . . . . .                                                                                | 87 |
| Лабораторная работа 41. Транзистор и измерение его статического коэффициента усиления . . . . .                                                       | 91 |
| Лабораторная работа 42. Изучение работы светодиода . . . . .                                                                                          | 95 |
| Лабораторная работа 43. Изучение и сборка детекторного радиоприемника . . . . .                                                                       | 97 |
| Лабораторная работа 44. Определение магнитной индукции постоянного магнита . . . . .                                                                  | 98 |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Приложение. Условные графические обозначения в электрических и радиотехнических схемах . . . . . | 101 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

Учебное издание

**Шилов Валентин Федорович**

**Лабораторные работы в школе и дома**

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА**

Зав. редакцией *В. И. Егудин*  
Редактор *В. В. Жумаев*  
Художественный редактор *Т. В. Морозова*  
Художник *В. С. Давыдов*  
Технические редакторы *Н. В. Лукина, С. В. Щербакова*  
Корректоры *М. А. Тереньтьева, Н. А. Юсупова*

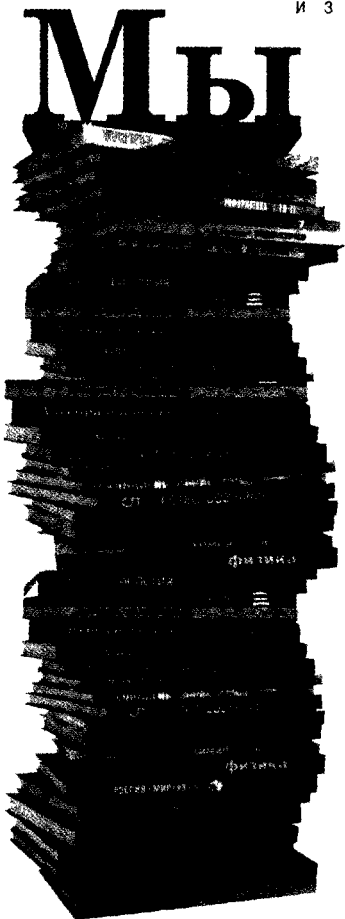
Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать с оригинал-макета 14.03.06. Формат 70×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага писчая. Гарнитура NewtonС. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 6,53. Тираж 5000 экз. Заказ № 16450.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение».  
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано в ОАО «Саратовский полиграфический комбинат».  
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.



**ПРОСВЕЩЕНИЕ**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО



### ***Выпускаем***

- Учебники
- Методическую литературу
- Научно-популярную литературу
- Справочную литературу
- Наглядные пособия и карты
- Учебные мультимедийные курсы

### ***Обушаем***

Интернет-школа «Просвещение.ру»  
[www.internet-school.ru](http://www.internet-school.ru)

Институт повышения квалификации работников образования  
[www.prosv-ipk.ru](http://www.prosv-ipk.ru)

### ***Представляем***

На сайте издательства для наших покупателей

- Каталог выпускаемой продукции
- Ежемесячные новинки издательства
- Планы печати учебной литературы
- Адреса магазинов «Просвещение» в регионах

### ***Предлагаем***

Оптовикам и книготорговым структурам

- Гибкую систему скидок
- Крупный и мелкий опт со склада издательства
- Контейнерную отгрузку во все регионы России и страны СНГ
- Внимательное отношение к каждому!

### ***Служба «Книга — почтой»***

Заказ и отправка книг по почте  
102001, Москва, а/я «Почтовый Торговый Дом»  
Тел.: (495) 540-6061  
E-mail: [prosv@post.ru](mailto:prosv@post.ru), [zakaz@ptdom.ru](mailto:zakaz@ptdom.ru)  
<http://www.ptdom.ru>

### ***Фирменные магазины «Просвещение»***

119311, Москва, пр-т Вернадского, 11/19  
Тел.: (495) 930-5050  
Тел./факс: (495) 930-5040  
E-mail: [mag-info@prosv.ru](mailto:mag-info@prosv.ru)

115304, Москва, ул. Лутанская, 7  
Тел.: (495) 322-2822  
E-mail: [mag-info@prosv.ru](mailto:mag-info@prosv.ru)

### **Издательство «Просвещение»**

127521, Москва,  
3-й проезд Марьиной рощи, 41  
Тел.: (495) 789-3040  
Факс: (495) 789-3041  
E-mail: [prosv@prosv.ru](mailto:prosv@prosv.ru)  
<http://www.prosv.ru>

Лабораторные работы

в школе и дома

В. Ф. Шилов

## ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Квантовая физика

Геометрическая и волновая оптика

**Оригинальная методика известного автора  
В. Ф. Шилова позволяет:**

- проводить физические эксперименты с использованием широкодоступных цифровых измерительных приборов
- получить необходимые теоретические сведения об изучаемых физических явлениях
- изучить и понять принципы работы современных технических устройств, используемых в повседневной жизни

ISBN 5-09-014559-8



9 785090 145596



ПРОСВЕЩЕНИЕ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

интернет-магазин

**OZON.ru**



18883211