Областное государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Рязанский строительный колледж имени Героя Советского Союза В.А. Беглова»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Рязань 2018

УДК 53
ББК 22.3

Одобрено
методической комиссией
МиОЕНЦ
Протокол №___
от «__» _____ 2018 г.
Председатель МК: _____(Доронкина М.В.)

Составлено в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по всем специальностям колледжа.

Авторы-составители: П.В. Абросимов, Е.В. Зенякина.

Рецензент: к.п.н., доцент РГУ И.А.Ильдяев

Лабораторные работы по электричеству и магнетизму. Методические указания по выполнению лабораторных работ / Авторы-составители П.В. Абросимов, Е.В. Зенякина / Рязанский строительных колледж. – Рязань: ОГБПОУ РСК, 2018. - 55 с.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения Рязанского строительного колледжа, выполняющих лабораторный практикум по курсу «Физика», раздел «Электричество и магнетизм».

© ОГБПОУ РСК, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. Техника безопасности при работе в лабораториях физики и правила внутреннего распорядка 5

2. Лабораторная работа №3.1 «Определение удельного сопротивления проводника»..... 7

3. Лабораторная работа №3.2 «Изучение закона Ома для участка цепи»..... 14

4. Лабораторная работа №3.3 «Изучение последовательного и параллельного соединения проводников»..... 23

5. Лабораторная работа №3.4 «Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока» 34

6. Лабораторная работа №3.5 «Изучение устройства и принципа работы трансформатора» 41

7. Оценка лабораторных работ по физике..... 50

8. Приложение (правила работы с цифровым мультиметром)..... 53

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные занятия являются одной из ведущих форм учебной работы по физике. На этих занятиях студенты самостоятельно проводят физический эксперимент. При этом они изучают теоретические обоснования работы, проводят монтаж экспериментальной установки, планируют последовательность выполнения отдельных этапов работы, проводят наблюдения и измерения, а затем выполняют вычисления и делают вывод о проделанной работе.

Особенностями лабораторных занятий по физике являются:

- ✓ на занятиях в физической лаборатории студенты должны пользоваться не только учебными моделями приборов, но и современной аппаратурой, употребляющейся в настоящее время в передовой технике и научно-исследовательских лабораториях;
- ✓ в процессе лабораторных занятий студенты должны понять, что диалектический метод познания закономерностей физических процессов является единственным научным методом познания, что научные теории и представления отражают объективную реальность и что правильность этого отражения проверяется экспериментом или практикой;
- ✓ лабораторные занятия по физике развивают познавательные способности студентов, их наблюдательность, мышление, память, воображение, внимание;
- ✓ измерения физических величин должны производиться наиболее совершенными приборами, которые употребляются в настоящее время в научных учреждениях и промышленности;
- ✓ лабораторные занятия по физике способствуют развитию у студентов навыков производства вычислительных операций, в том числе и с помощью современных электронно-вычислительных машин (персональных компьютеров);
- ✓ физический практикум организуется так, что студенты получают, возможно, больше навыков в самостоятельной работе, как в экспериментальной части, так и при усвоении теоретического материала.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ ФИЗИКИ И ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА

Выполнение основных правил работы в лабораториях физики обязательно для всех студентов. Эти правила обеспечивают личную безопасность студентов, а также сохранность приборов и оборудования. Все студенты должны быть ознакомлены на первом занятии с этими правилами, после чего студенты и преподаватель, проводивший занятие, расписываются в книге учёта инструктажа по технике безопасности. Студенты, не прошедшие инструктаж, к работе в лабораториях не допускаются.

Общие правила работы в физических лабораториях

1. Студенты находятся в лаборатории только в присутствии преподавателя или лаборанта. Входить в лабораторию и выходить из неё в часы занятий можно только с разрешения преподавателя.
2. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только с разрешения преподавателя. До этого студент имеет право внешне ознакомиться с приборами, но включать их и приводить в действие *категорически* запрещается.
3. Студентам запрещается включать общие выключатели (рубильники) на аудиторных щитах.
4. Запрещается трогать приборы, не относящиеся к выполняемой работе, а также использовать приборы с других установок. В случае отсутствия нужного прибора обращаться следует к преподавателю или лаборанту.
5. Запрещается поворачивать какие-либо рукоятки или винты, нажимать кнопки и т.д., назначение которых неизвестно студенту.
6. Запрещается оставлять, даже на короткое время, включенную установку. В случае необходимости отойти, необходимо выключить установку.
7. В случае невыполнения пунктов 3-6 ремонт прибора или покупка производится полностью за счёт студента.

8. На рабочем столе, кроме необходимых приборов, могут находиться: методическое руководство по выполнению лабораторной работы, рабочая тетрадь, ручка, карандаш, линейка, микрокалькулятор. После работы необходимо убрать своё рабочее место.
9. В лабораториях необходимо соблюдать чистоту. Категорически запрещается находиться в лабораториях в верхней одежде.
10. Работа в лаборатории требует большого внимания и аккуратности ко всем выполняемым операциям. Во время работы старайтесь не ходить без необходимости по лаборатории.
11. Студенты, пропустившие лабораторное занятие, должны отработать его в часы свободные от занятий под руководством преподавателя или лаборанта. При этом полученные данные заверяются подписью преподавателя, проводящего занятие.
12. О любой замеченной неисправности или неполадке студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.
13. Собранную электрическую схему нельзя подключать к источнику тока до проверки её преподавателем или лаборантом.
14. После проведения измерений цепь обязательно размыкается. После выполнения работы и одобрения полученных результатов преподавателем студент приводит своё рабочее место в состояние, которое оно имело до начала работы.

Лабораторная работа № 3.1
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Цель работы: освоить приборы и методы измерения сопротивления проводников, определить удельное сопротивление проводника.

Приборы и принадлежности: компьютер с установленной программой моделирования электрических цепей «Начала электроники».

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрическое сопротивление характеризует противодействие проводника или электрической цепи упорядоченному перемещению носителей тока. Согласно закону Ома, сила тока в однородном участке цепи равна отношению напряжения U на его концах к сопротивлению этого участка R:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{1}$$

В этом случае электрическое сопротивление R называют **омическим** или **активным**. Оно зависит от материала проводника, его размеров и формы. Для однородного по составу линейного проводника с поперечным сечением S и длиной ℓ:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}, \tag{2}$$

где ρ – коэффициент пропорциональности, характеризующий материал проводника, называемый **удельным электрическим сопротивлением** и численно равный сопротивлению однородного цилиндрического проводника, изготовленного из данного материала, имеющего единичную длину и единичную площадь поперечного сечения.

Из формулы (2) следует, что:

$$\rho = R \frac{S}{\ell}, \tag{3}$$

то есть, чтобы определить удельное сопротивление однородного по химиче-

скому составу проводника, имеющего постоянную площадь поперечного сечения, необходимо измерить его сопротивление постоянному току и геометрические параметры.

Для провода длиной ℓ и диаметром d площадь поперечного сечения будет равна $S = \frac{\pi d^2}{4}$, тогда удельное электрическое сопротивление провода:

$$\rho = R\frac{\pi d^2}{4\ell}. \qquad (4)$$

Сопротивление R проводника можно определить двумя способами:

1. Используя закон Ома для участка цепи: $I = \frac{U}{R}$;
2. С помощью прибора – омметра, который может использоваться отдельно или входит в состав универсального измерительного устройства – мультиметра. Этот способ позволяет измерить сопротивление проводника непосредственно.

Применим сначала первый способ. Если подать на исследуемый проводник напряжение U, то по нему пойдёт ток I. Из закона Ома для участка цепи: $I = \frac{U}{R}$ найдём сопротивление R и подставим в формулу (3). Тогда имеем:

$$\rho = \frac{S \cdot U}{\ell \cdot I}. \qquad (5)$$

Таким образом, зная величины: площадь поперечного сечения S провода, его длину ℓ, напряжение U на концах проводника и силу тока I в проводнике, можно вычислить удельного сопротивление данного проводника.

Второй способ позволяет найти удельное сопротивление проводника проще, но требует для работы третий измерительный прибор – омметр (кроме амперметра и вольтметра). Можно воспользоваться и универсальным измерительным устройством – *мульти́метром*, объединяющем в себе много приборов. Для этого клеммы прибора нужно подключить к концам проводника, не

включенного в электрическую цепь – на индикаторе будет значение электрического сопротивления исследуемого проводника.

Далее, воспользовавшись формулой (3), можно вычислить удельное сопротивление предложенного проводника.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Рабочее пространство программы «Начала электроники» представляет собой монтажный стол, набор радиотехнических деталей и приборов для измерения электрических величин (рис.1).

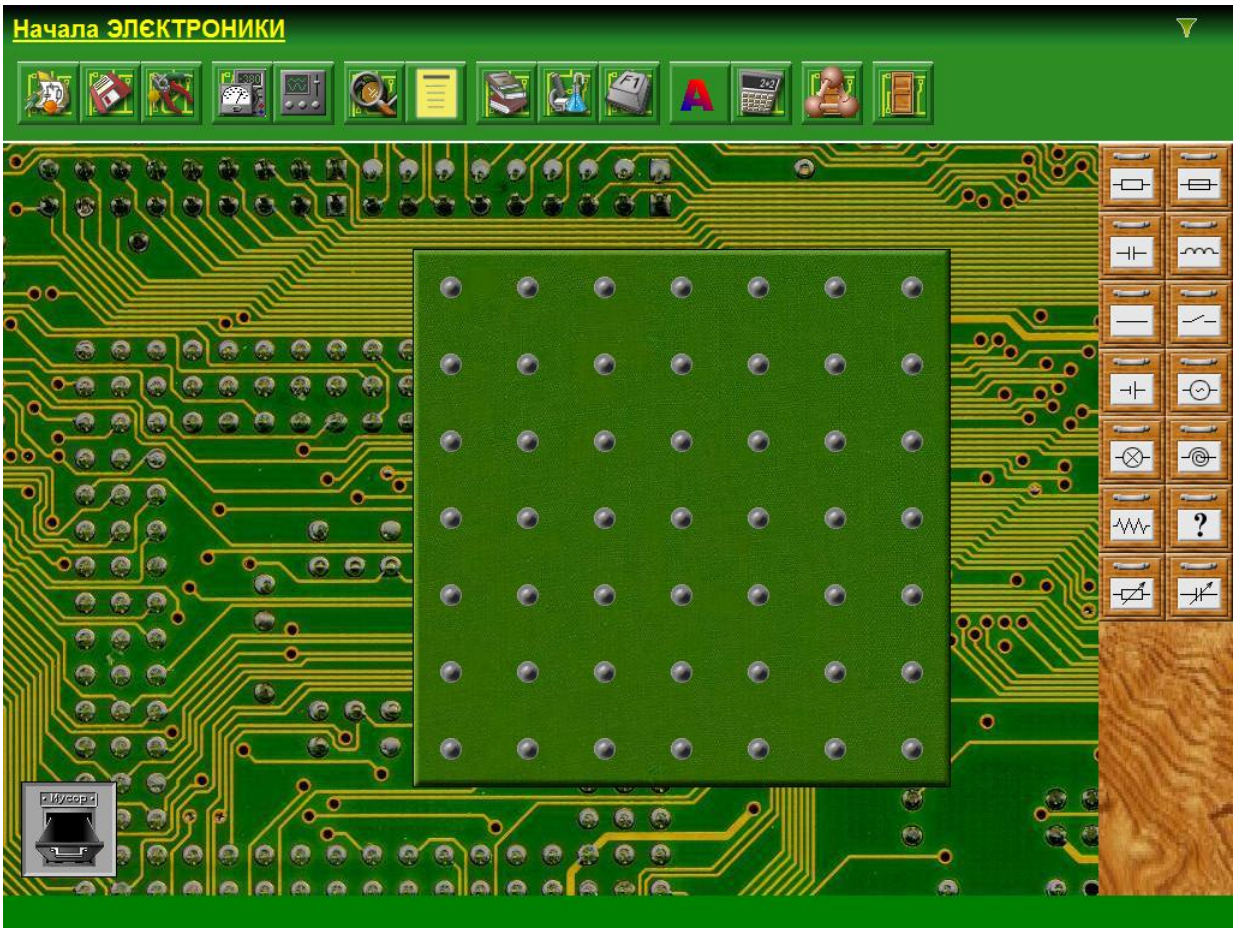


Рис. 1

Для определения удельного электрического сопротивления первым способом, необходимо собрать электрическую цепь по схеме (рис. 2). По второму способу достаточно выставить на монтажный стол исследуемый проводник, вызвать мультиметр, перевести его в режим омметра и непосредственно измерить электрическое сопротивление исследуемого проводника.

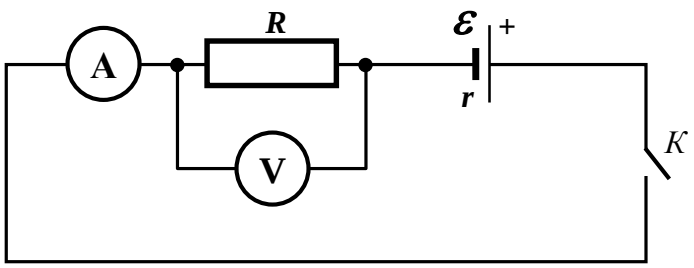


Рис. 2

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Запустите программу «Начала электроники».

2. Соберите на виртуальной монтажной плате электрическую цепь по схеме, изображённой на рис. 2. Для этого на панели с радиодеталями (рис. 3) курсором «мышки» выбирайте необходимые элементы и переносите их на монтажную плату. Мультиметры вызываются нажатием клавиши, изображённой на рис.5б. Один из них переведите в режим амперметра постоянного тока, другой – в режим вольтметра постоянного напряжения (правила работы с цифровым мультиметром приведены в приложении или «Контекстной справке», вызываемой клавишей, изображение которой приведено на рис. 5в).

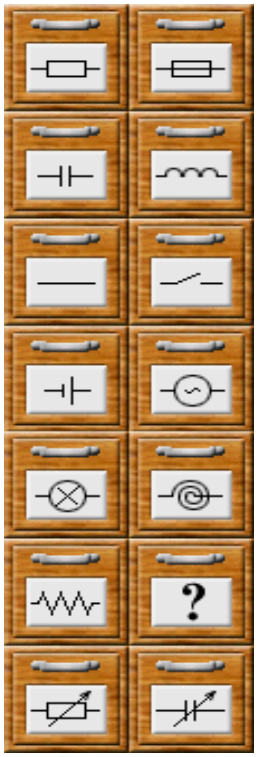


Рис. 3

3. Выставьте параметры проводника: материал «Нихром», длина «1,5 м», площадь сечения «0,1 мм^2» или другие, указанные преподавателем. Для этого выделите проводник, щёлкнув по нему «мышкой», и откройте окно «Параметры детали» (рис. 4), щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 5а. В открывшемся списке выберите необходимые параметры и нажмите клавишу «Применить».

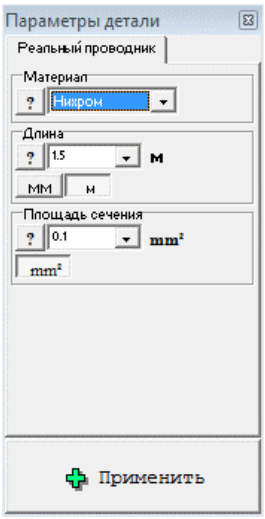


Рис. 4

4. Замкните ключ К и измерьте значения силы тока и напряжения на проводнике (*выбирайте диапазон измерения величин, позволяющий получить максимальную точность!*). Запишите их в первую строку таблицы измерений.

5. Разомкните ключ К, закройте один из мультиметров, а оставшийся переведите в режим омметра. Подключите его клеммы к концам проводника и измерьте сопротивление исследуемого проводника. Результат запишите во вторую строку таблицы измерений.

Рис. 5

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Используя данные из таблицы измерений, по формуле (5) вычислите удельное сопротивление ρ_1 исследуемого проводника первым способом. Для расчётов можно вызвать калькулятор, щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 5г.

2. Вычислите удельное сопротивление ρ_2 того же проводника вторым способом по формуле (3).

3. Погрешности измерений вычислите по формулам:

$$\frac{\Delta\rho_1}{\rho_1} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{\Delta I}{I}; \qquad \Delta\rho_1 = \rho_1 \cdot \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1};$$

$$\frac{\Delta\rho_2}{\rho_2} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \ell}{\ell}; \qquad \Delta\rho_2 = \rho_2 \cdot \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2},$$

где ΔS = 0,005 мм^2; $\Delta\ell$ = 0,05 м; ΔU, ΔI, ΔR равны двум единицам младшего разряда мультиметра (например, если мультимерт показывает 3,5 В, то погрешность измерения напряжения составляет 0,2 В; для силы тока 1,21 А погрешность измерения составит 0,02 А).

4. Полностью заполните таблицу измерений.

5. Сделайте общий вывод по работе с указанием вычисленного двумя способами удельного сопротивления исследуемого проводника:

$$\rho = (\rho_{изм} \pm \Delta\rho)\ Ом \cdot м,$$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx \ldots\% \text{ (округлите до целого числа!)}$$

Сравните полученные значения с табличным значением для исследуемого материала и между собой.

Материал	Удельное сопротивление ρ, Ом·м (при 20 °С)
Серебро	$1{,}59\cdot10^{-8}$
Медь	$1{,}75\cdot10^{-8}$
Золото	$2{,}44\cdot10^{-8}$
Латунь	$(2{,}5\text{-}10{,}8)\cdot10^{-8}$
Алюминий	$2{,}82\cdot10^{-8}$
Иридий	$4{,}74\cdot10^{-8}$
Вольфрам	$5{,}60\cdot10^{-8}$
Цинк	$5{,}90\cdot10^{-8}$
Молибден	$5{,}90\cdot10^{-8}$
Никель	$6{,}99\cdot10^{-8}$
Бронза	$(9{,}5\text{-}10{,}0)\cdot10^{-8}$
Железо	$10{,}0\cdot10^{-8}$
Сталь	$(10{,}3\text{-}13{,}7)\cdot10^{-8}$
Олово	$12\cdot10^{-8}$
Свинец	$22\cdot10^{-8}$
Никелин (сплав меди, никеля и цинка)	$42\cdot10^{-8}$
Манганин (сплав меди, никеля и марганца)	$(43\text{-}51)\cdot10^{-8}$
Константан (сплав меди, никеля и алюминия)	$50\cdot10^{-8}$
Титан	$60\cdot10^{-8}$
Нихром (сплав никеля, хрома, железа и марганца)	$(105\text{-}140)\cdot10^{-8}$
Фехраль	$(115\text{-}135)\cdot10^{-8}$
Висмут	$120\cdot10^{-8}$
Хромаль	$(130\text{-}150)\cdot10^{-8}$

Таблица измерений.

Материал проводника – _____								
№	ℓ, м	S, мм^2	I, А	U, В	R, Ом	ρ_i, Ом·м	$\Delta\rho_i$, Ом·м	$\frac{\Delta\rho_i}{\rho_i}$, %
1.					–			
2.			–	–				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электрический ток?
2. Каковы условия для возникновения и существования электрического тока?
3. Дайте определения и запишите формулы для следующих величин: сила тока, электрическое напряжение, сопротивление.
4. От чего и как зависит электрическое сопротивление?
5. Что называют удельным электрическим сопротивлением? Какова единица измерения удельного электрического сопротивления?
6. Расскажите о методах, которыми можно определить электрического сопротивление данного проводника.
7. Моток медной проволоки массой 210 г имеет сопротивление 0,83 Ом. Какова длина проволоки и площадь её поперечного сечения? Плотность меди – 8900 кг/м^3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

Лабораторная работа № 3.2
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

Цель работы: знакомство с простейшими электрическими схемами и приобретение навыков работы с электроизмерительными приборами; установить на опыте зависимость силы тока от напряжения и сопротивления.

Приборы и принадлежности: компьютер с установленной программой моделирования электрических цепей «Начала электроники».

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Носителями тока в металлах являются *свободные* электроны, т.е. электроны, слабо связанные с ионами кристаллической решётки металла. Это представление о природе носителей тока в металлах основывается на электронной теории проводимости металлов, созданной немецким физиком П. Друде[1] (1863-1906) и разработанной нидерландским физиком Х. Лоренцем[2], а также на ряде классических опытов, подтверждающих положения электронной теории.

Существование свободных электронов в металлах на основании электронной теории объясняется следующим образом: при образовании кристаллической решётки (в результате сближения изолированных атомов) валентные электроны, сравнительно слабо связанные с атомными ядрами, отрываются от атомов металла, становятся "свободными" и могут перемещаться по всему объёму. Таким образом, в узлах кристаллической решётки располагаются ионы металла, а между ними хаотически движутся свободные электроны, образуя своеобразный электронный газ, обладающий свойствами идеального газа.

При наложении внешнего электрического поля на металлический проводник кроме теплового движения электронов возникает их упорядоченное

---

[1] Пауль Друде Карл Людвиг (1863-1906) – немецкий физик.

[2] Хе́ндрик А́нтон Ло́ренц (1853-1928) – нидерландский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии по физике (1902).

движение, т.е. **электрический ток**.

Количественной мерой электрического тока служит **сила тока** I – *скалярная величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени*.

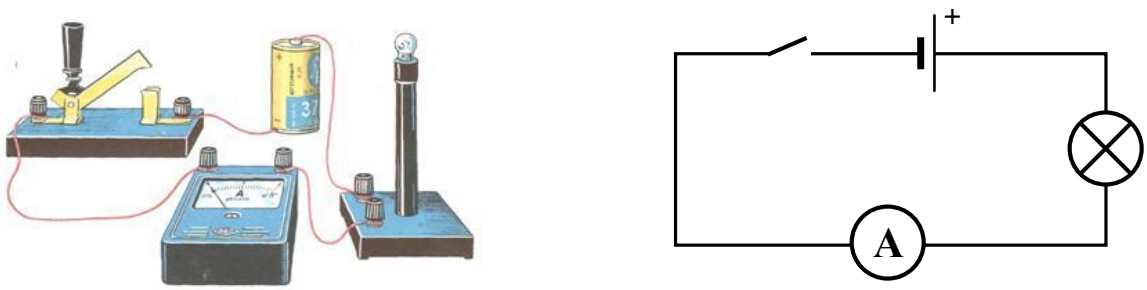
Для **постоянного тока** – тока, сила и направление которого не изменяются с течением времени – сила тока по определению:

$$I = \frac{q}{t}, \qquad (1)$$

где q – электрический заряд, проходящий за время t через поперечное сечение проводника.

Единица силы тока – ампер (А). **Ампер** – сила, не изменяющегося тока, который при прохождении по двум прямолинейным параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого сечения, расположенными в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, создаёт между этими проводниками силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Прибор для измерения силы тока называется **амперметр**. Он включается в цепь последовательно с участком цепи, силу тока на котором нужно измерить (рис. 1а). На схемах электрических цепей (рис. 1б) амперметр обозначается (А).



а) б)

Рис.1

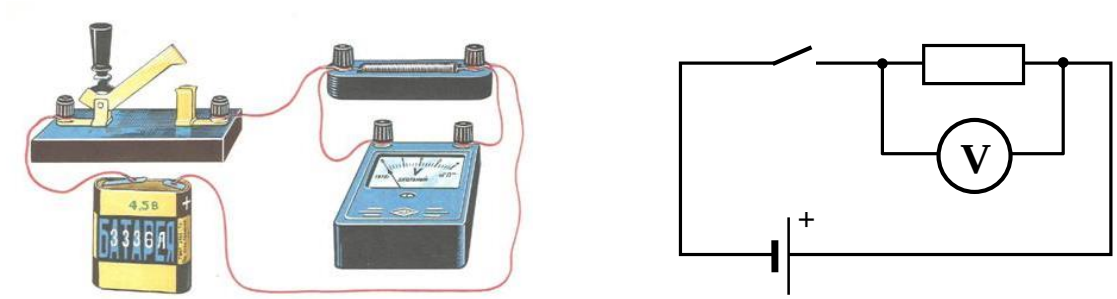
Когда говорят об электрических приборах или сети, то характеристика *напряжения* звучит в первую очередь. Именно от него зависят сила и мощность электрического тока.

Под **электрическим напряжением** понимают *работу, совершаемую электрическим полем для перемещения заряда в 1 Кл (кулон) из одной точки проводника в другую*:

$$U = \frac{A}{q}. \qquad (2)$$

Единица измерения напряжения – **вольт** (В).

Прибор для измерения напряжения – **вольтметр**. Он включается в цепь параллельно тому участку цепи, на котором измеряется напряжение (рис. 2а). На схемах электрических цепей (рис. 2б) вольтметр обозначается (V).



а) б)

Рис.2

Величина, характеризующая противодействие электрическому току в проводнике, которое обусловлено внутренним строением проводника и хаотическим движением его частиц, называется **электрическим сопротивлением проводника**.

Электрическое сопротивление проводника, в частности, зависит от размеров, формы проводника и от материала, из которого изготовлен проводник:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \qquad (3)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, т.е. сопротивление проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м^2); l – длина проводника; S – площадь поперечного сечения проводника.

Единица измерения электрического сопротивления – **ом** (Ом).

Электрическое сопротивление определяет какой ток пойдёт по участку цепи при данном напряжении.

Графическая зависимость силы тока ***I*** от напряжения ***U*** называется **вольт-амперной характеристикой**. Наиболее простой вид (линейная зависимость) вольт-амперная характеристика имеет для металлических проводников (рис. 3). Впервые в 1826 г её установил немецкий физик Г. Ом[3], поэтому зависимость силы тока от напряжения носит название *закона Ома*.

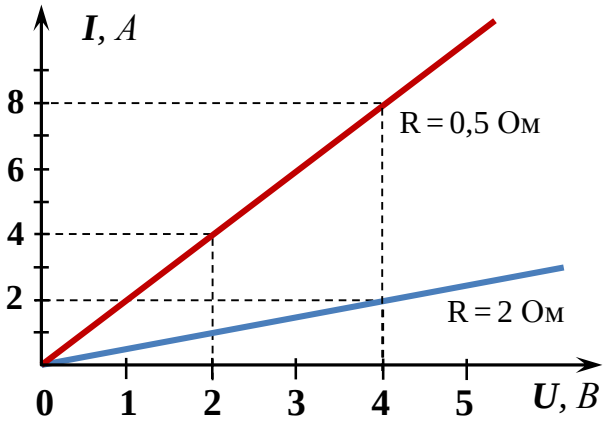


Рис. 3

Закон Ома для однородного[4] участка цепи: *сила тока на участке цепи прямо пропорциональна приложенному к нему напряжению U и обратно пропорциональная сопротивлению R этого участка:*

$$I = \frac{U}{R}. \qquad (4)$$

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Рабочее пространство программы «Начала электроники» представляет собой монтажный стол, набор радиотехнических деталей и приборов для измерения электрических величин (рис.4).

---

3 Гео́рг Си́мон Ом (1787-1854) – немецкий физик.

[4] Однородный участок цепи не содержит источника тока.

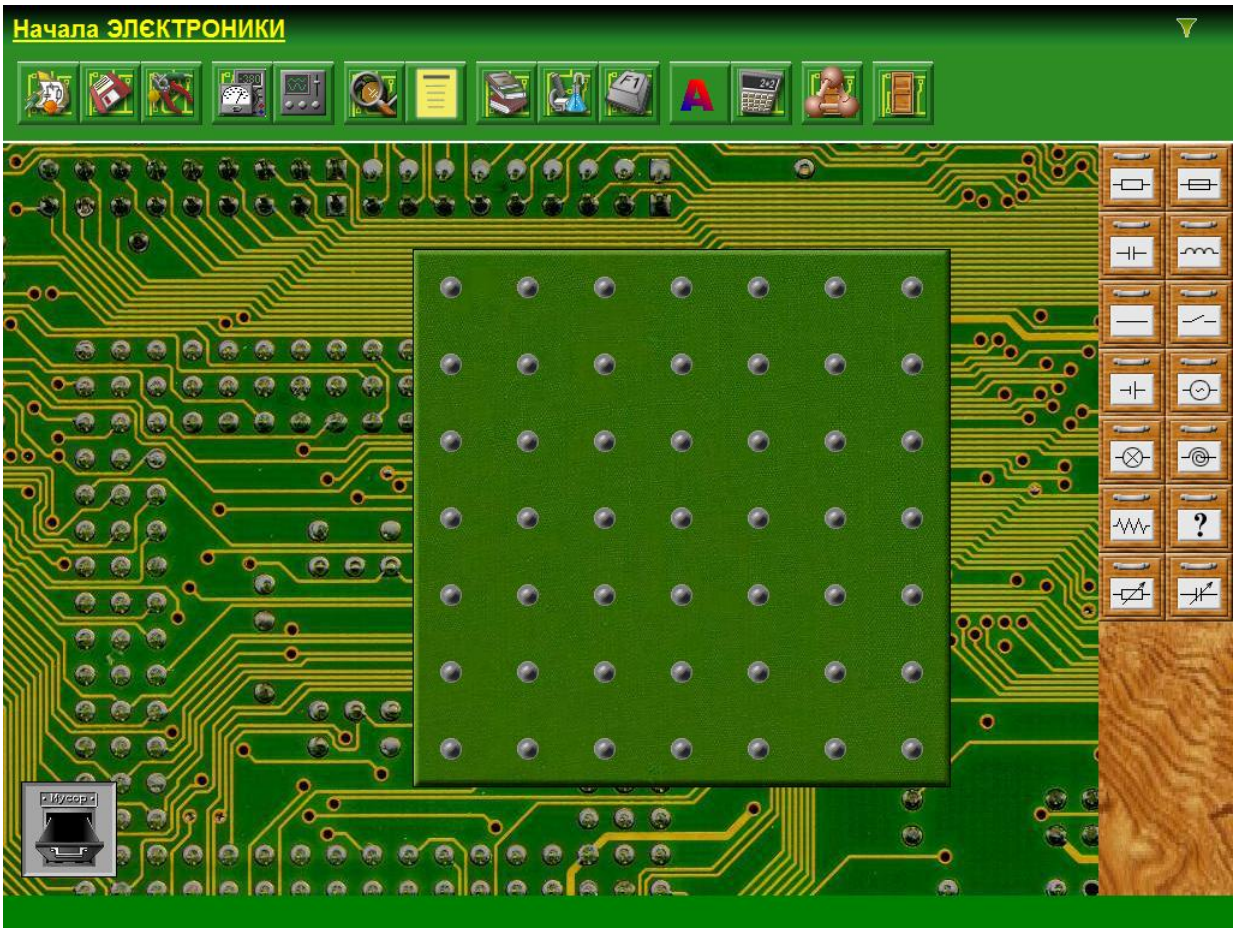


Рис. 4

Работа выполняется на электрической цепи, схема которой показана на рис. 5, и состоящей из: источника тока (*ИТ*), реостата (*РС*), амперметра (*А*), резистора (*R*), вольтметра (V) и ключа (К).

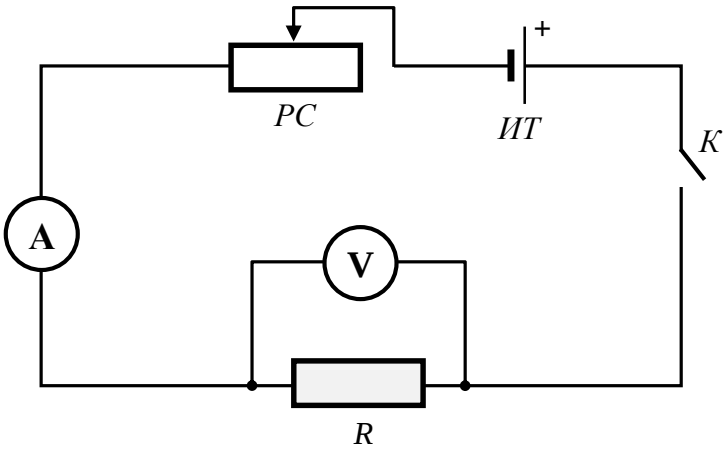


Рис. 5

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

I. Исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи

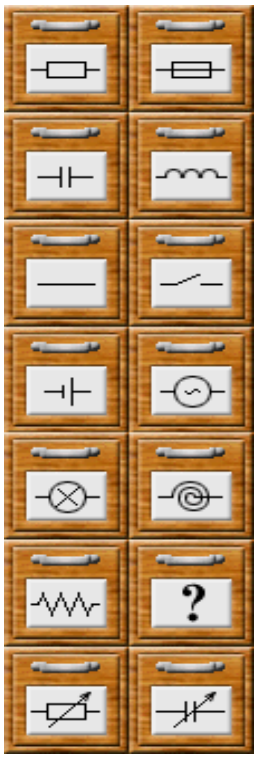


Рис. 6

1. Запустите программу «Начала электроники».
2. Соберите на виртуальной монтажной плате электрическую цепь по схеме, изображённой на рис. 5. Для этого на панели с радиодеталями (рис. 6) курсором «мышки» выбирайте необходимые элементы и переносите их на монтажную плату. Мультиметры вызываются нажатием клавиши, изображённой на рис.7б. Один из них переведите в режим *амперметра постоянного тока*, другой – в режим *вольтметра постоянного напряжения* (правила работы с цифровым мультиметром приведены в приложении или «Контекстной справке», вызываемой клавишей, изображение которой приведено на рис. 7в).

а) б)

в) г)

Рис. 7

3. Выставьте параметры элементов электрической цепи: рабочее напряжение элемента питания «42 В», сопротивление реостата «500 Ом», сопротивление резистора 2 Ом и мощность резистора 10 Вт. Для этого выделите нужный элемент цепи, щёлкнув по нему «мышкой», и откройте окно «Параметры детали» (рис. 8), щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 7а. В открывшемся списке выберите необходимый параметр и нажмите клавишу «Применить».

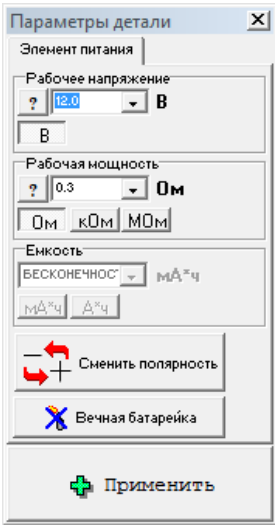


Рис. 8

4. Замкните ключ К, щёлкнув по нему курсором мыши.
5. Изменяя реостатом напряжение U на резисторе R, снимайте значения силы тока I с амперметра и записывайте в таблицу 1.

II. Исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах

1. Эксперимент проводится на той же установке. Выделите резистор *R*, щёлкнув по нему «мышкой», и откройте окно «Параметры детали» (рис. 8), щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 7а. В открывшемся списке выберите сопротивление 0,5 Ом и нажмите клавишу «Применить».
2. При помощи реостата установите на концах участка напряжение, например, 0,3 В (оно в ходе опыта должно поддерживаться постоянным с помощью реостата!).
3. Измеряйте силу тока при данном сопротивлении и запишите значения сопротивления и силы тока в таблицу 2.
4. Изменяя сопротивление с шагом 0,5 Ом до 3,5 Ом (можете использовать значения, отличные от предложенных) и, нажимая клавишу «Применить», продолжайте измерять силу тока, контролируя реостатом напряжение (п.2) на исследуемом резисторе. Получающиеся значения заносите в таблицу 2.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. По данным опытов первой части «Исследование зависимости силы тока от напряжения на данном участке цепи» (таблица 1) постройте график зависимости силы тока от напряжения. Сделайте вывод.
2. По данным опытов второй части «Исследование зависимости силы тока от сопротивления участка цепи при постоянном напряжении на его концах» (таблица 2) постройте график зависимости силы тока от сопротивления. Сделайте вывод.
3. Сделайте общий вывод по работе.

Таблица 1

Постоянное сопротивление участка цепи R = 2 Ом							
U, В							
I, А							

Таблица 2

Постоянное напряжение на участке U = 0,3 В							
R, Ом							
I, А							

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электрический ток? Что является носителями тока в металлах?
2. Дайте определение силы тока. Как обозначается? По какой формуле находится? Какова единица измерения силы тока?
3. Каким прибором измеряется сила тока? Как он включается в электрическую цепь?
4. Дайте определение электрического напряжения. Как обозначается? По какой формуле находится? Какова единица измерения напряжения?
5. Каким прибором измеряется электрическое напряжение? Как он включается в электрическую цепь?
6. Дайте определение электрического сопротивления. Как обозначается? По какой формуле находится? Какова единица измерения сопротивления?
7. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
8. Какое сопротивление имеет лампа, показанная на рис. 1а, если при замыкании ключа, амперметр показал силу тока в цепи 0,2 А? Напряжение на лампе равно напряжению на полюсах гальванического элемента и составляет 1,5 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

Лабораторная работа № 3.3

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель работы: продолжить формирование умений и навыков составлять электрические цепи с разными типами соединений и проверить справедливость законов электрического тока для последовательного и параллельного соединения проводников.

Приборы и принадлежности: компьютер с установленной программой моделирования электрических цепей «Начала электроники».

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Потребители электрической энергии – электрические лампы, электронагревательные приборы, провода и т. п. – обладают определённым сопротивлением, поэтому их часто называют «проводниками» или резисторами. Обычно электрическая цепь состоит из нескольких резисторов, соединённых последовательно, параллельно или смешанно.

Последовательное соединение проводников – соединение, при котором конец первого проводника соединяют с началом второго, конец второго – с началом третьего и т.д.

1. При последовательном соединении проводников (рис.1) **сила тока *I* во всех проводниках одинакова и равна общей силе тока в цепи**:

$$I = I_1 = I_2. \qquad (1)$$

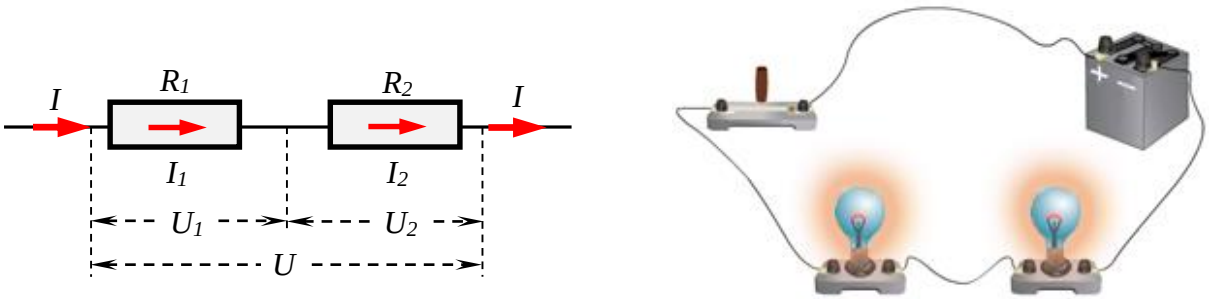


Рис. 1. Последовательное соединение проводников

2. **Общее напряжение *U* на обоих проводниках равно сумме напряжений U_1 и U_2**:

$$U = U_1 + U_2. \qquad (2)$$

3. По закону Ома, напряжения U_1 и U_2 на проводниках вычисляются по формулам: $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, следовательно,

$$U = IR_{общ} = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2),$$

откуда

$$R_{общ} = R_1 + R_2.$$

Для системы из n-проводников:

$$R_{общ} = \sum_{i=1}^{n} R_i. \qquad (3)$$

Полное сопротивление цепи (эквивалентное сопротивление) при последовательном соединении проводников равно сумме сопротивлений отдельных проводников.

Преимуществами последовательного соединения являются: проводники, рассчитанные на небольшие напряжения, соединяя последовательно можно включать в сети с большим напряжением; подбирая лампочки с разными сопротивлениями можно создавать различную освещённость.

Недостатком последовательного соединения проводников является то, что при выходе из строя одного из элементов соединения отключаются и остальные. Так, например, если перегорит одна из ламп ёлочной гирлянды, то погаснут и все другие. Указанный недостаток может обернуться и достоинством – предохранитель автоматически защитит цепь от перегрузки.

Применение последовательного соединения проводников

Последовательное соединение проводников широко применяется на практике, например: выключатели, соединение источников тока (гальванических элементов); резисторов (проводников, имеющих сопротивление); электрических ламп (ёлочные гирлянды); обмотки трансформаторов; конденсаторы.

Параллельное соединение проводников

Параллельное соединение – соединение, при котором начала всех проводников присоединяются к одной точке цепи, а их концы к другой.

1. При параллельном соединении проводников (рис.2) **напряжения U_1 и U_2 на всех проводниках одинаковы и равны общему напряжению**:

$$U = U_1 = U_2. \tag{4}$$

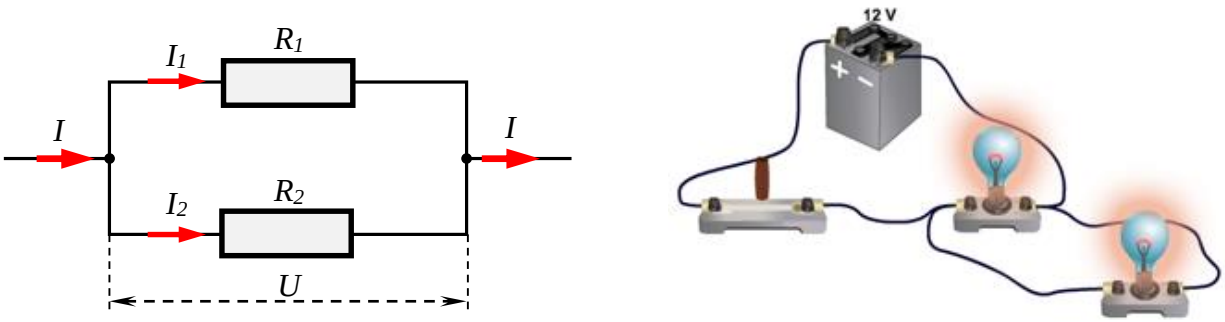


Рис. 2. Параллельное соединение проводников

2. **Сумма токов I_1 и I_2, протекающих по обоим проводникам, равна току в неразветвлённой цепи**:

$$I = I_1 + I_2. \tag{5}$$

3. По закону Ома, напряжения токи I_1 и I_2 в проводниках вычисляются по формулам: $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$, следовательно,

$$\frac{U}{R_{общ}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}),$$

откуда

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

Для системы из n-проводников:

$$\frac{1}{R_{общ}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}. \tag{6}$$

Величина, обратная общему сопротивлению цепи при параллельном соединении проводников, равна сумме величин, обратных сопротивлениям параллельно включенных проводников.

Достоинство параллельного соединения – включение (или выключение) одного (нескольких) прибора (приборов) независимо друг от друга в одну и

туже электрическую сеть, например, для освещения комнат в квартире, т.к. часто нет необходимости, чтобы одновременно светили все лампы; выход из строя одного из потребителей тока никак не влияет на работу остальных потребителей тока.

Недостаток параллельного соединения – все потребители тока должны быть рассчитаны на одно и тоже напряжение сети; если же включить в такую цепь потребитель, рассчитанный на меньшее напряжение, он выйдет из строя.

Применение параллельного соединения проводников

Параллельное соединение проводников широко применяется на практике, например: в одну и ту же цепь параллельно могут быть включены самые различные потребители электрической энергии (но рассчитанные на именно это сетевое напряжение!); соединение ламп уличного освещения; резисторов; конденсаторов.

Формулы для последовательного и параллельного соединения проводников позволяют во многих случаях рассчитывать сопротивление *сложной цепи*, состоящей из многих резисторов. На рис. 3 приведён пример такой сложной цепи (смешанное соединение проводников) и указана последовательность вычислений.

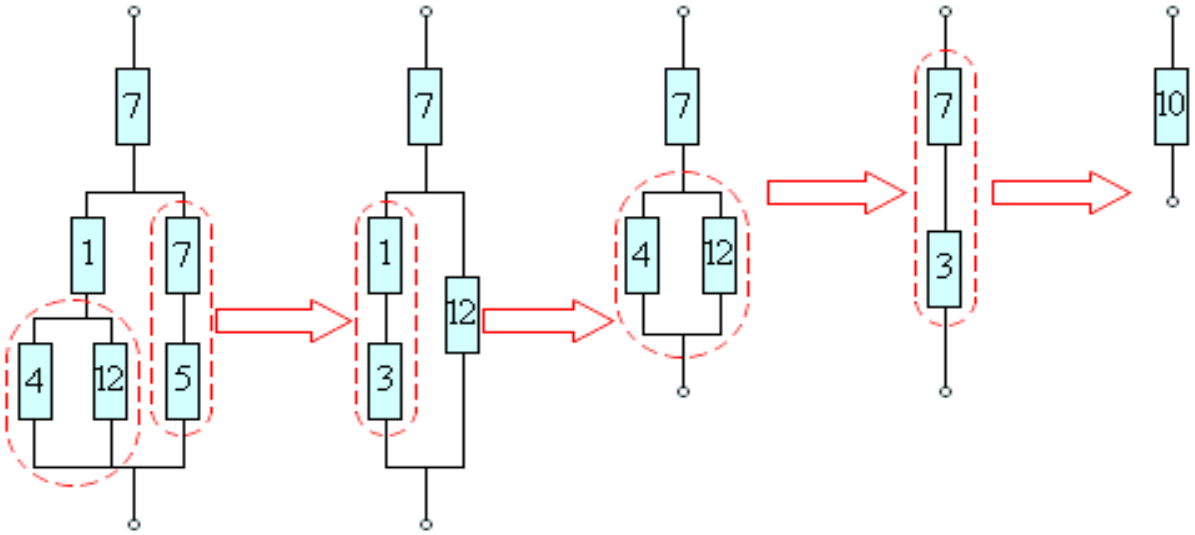


Рис. 3. Расчёт сопротивления сложной цепи
(сопротивления всех проводников указаны в омах (Ом))

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Рабочее пространство программы «Начала электроники» представляет собой монтажный стол, набор радиотехнических деталей и приборов для измерения электрических величин (рис.4).

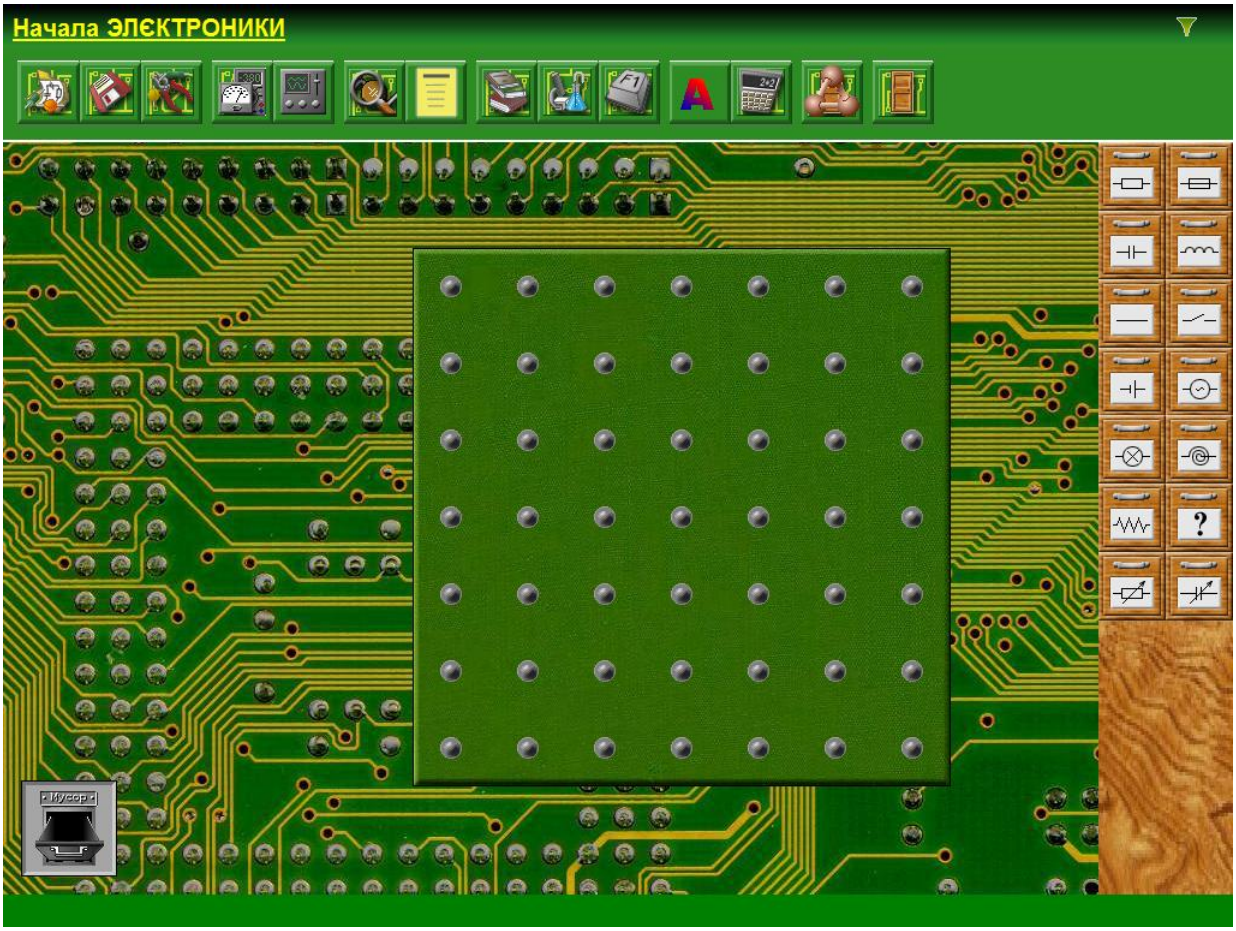


Рис. 4

Работа выполняется с электрическими цепями, схемы которых показаны на рис. 5 и рис. 6, и состоящих из: источника тока (*ИТ*), резисторов (R_1, R_2, R_3), амперметра (*A*), вольтметра (V) и ключа (К). Параметры любых элементов электрической цепи можно менять независимо друг от друга, но лучше придерживаться приведённых в «Порядке выполнения работы» или данных преподавателем, в противном случае резистор может выйти из строя («сгореть»)и его придётся заменять на новый: ⇨

.

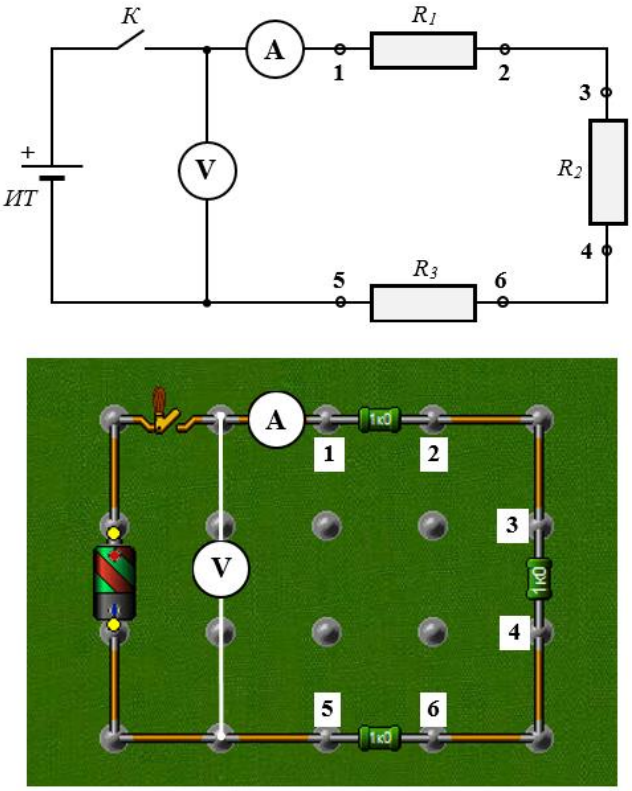


Рис. 5. Схема и рисунок последовательного соединения резисторов

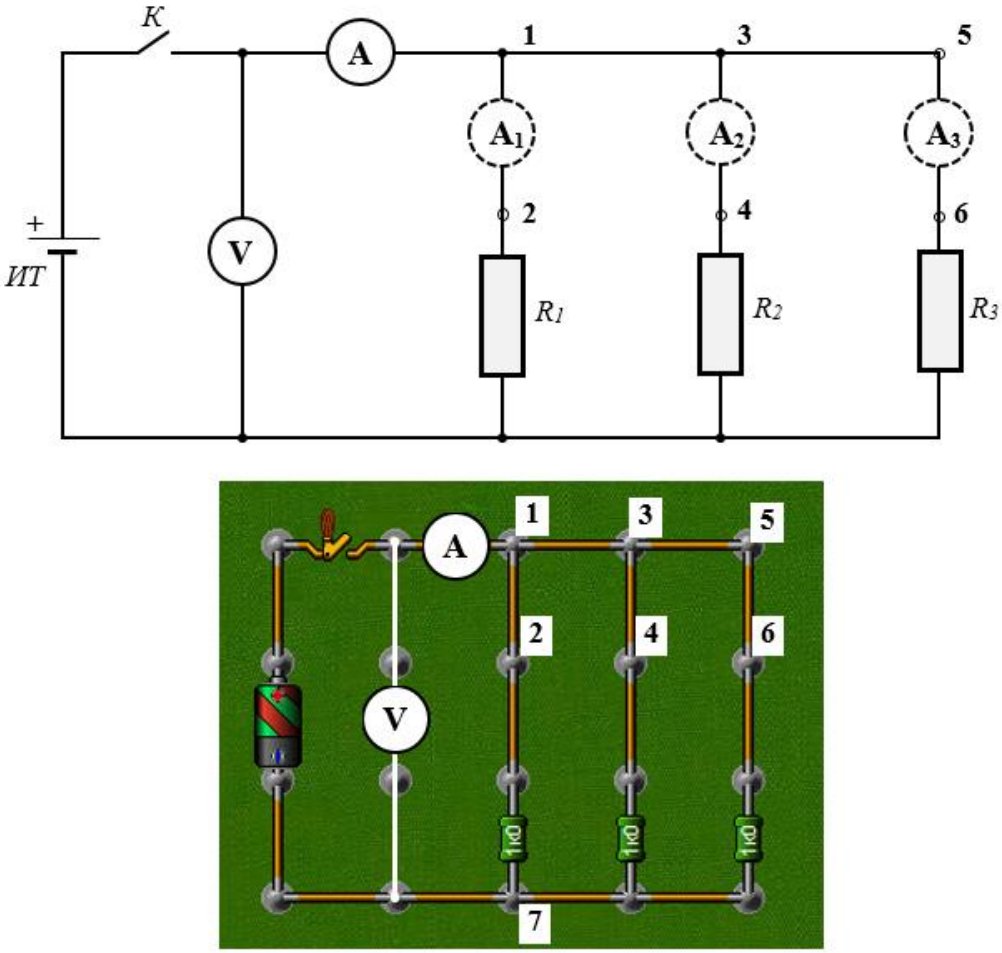


Рис. 6. Схема и рисунок параллельного соединения резисторов

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Последовательное соединение

1. Запустите программу «Начала электроники».
2. Соберите на виртуальной монтажной плате электрическую цепь по схеме, изображённой на рис. 5. Для этого на панели с радиодеталями (рис. 6) курсором «мышки» выбирайте необходимые элементы и переносите их на монтажную плату. Мультиметры вызываются нажатием клавиши, изображённой на рис.8б. Один из них переведите в режим амперметра постоянного тока, другой – в режим вольтметра постоянного напряжения (правила работы с цифровым мультиметром приведены в приложении или «Контекстной справке», вызываемой клавишей, изображение которой приведено на рис. 8в).
3. Выставьте параметры элементов электрической цепи: рабочее напряжение элемента питания «9 В», сопротивление резисторов: R_1 = 5,0 Ом, R_2 = 10,0 Ом, R_3 = 15,0 Ом (или другие, указанные преподавателем). мощности всех резисторов по 50 Вт. Для этого выделите нужный элемент цепи, щёлкнув по нему «мышкой», и откройте окно «Параметры детали» (рис. 7), щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 8а. В открывшемся списке выберите необходимый параметр и нажмите клавишу «Применить». Занесите значения выставленных сопротивлений в таблицу 1 и таблицу 2.
4. Замкните ключ К и снимите показания с вольтметра и амперметра. Это будут общее напряжение U и общий ток I в цепи. Результаты запишите в таблицу 1.

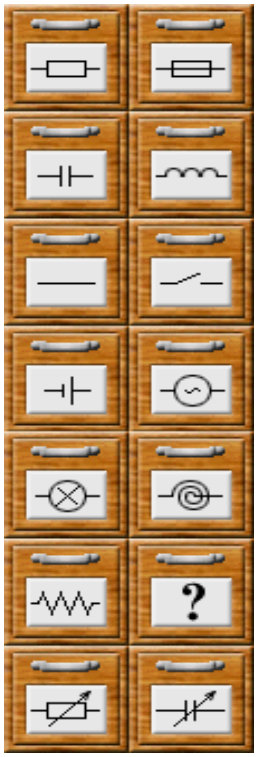


Рис. 6

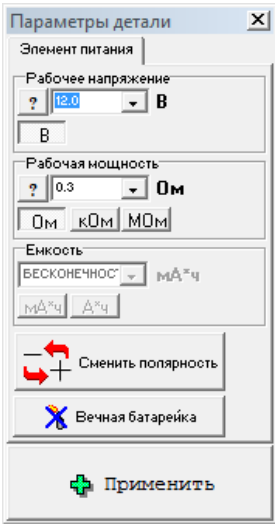


Рис. 7

а) б) в) г)

Рис. 8

5. Измерьте напряжения на каждом из резисторов: U_1, U_2, U_3 поочерёдно подключая вольтметр к точкам: 1-2, 3-4, 5-6. Занесите получение значения в таблицу 1.
6. Подключая амперметр поочерёдно после первого, второго, третьего резистора, измерьте токи I_1, I_2, I_3 и, убедившись, что ток в цепи с последовательным соединением элементов везде одинаков, занесите полученные значения в таблицу 1.
7. Разомкните ключ *К* и измерьте мультиметром (режим омметра) общее сопротивление цепи. Для этого подключите клеммы мультиметра к точкам 1-5 (см. рис. 5). Запишите полученное значение в таблицу 1.

2. Параллельное соединение

1. Измените собранную цепь так, чтобы она соответствовала схеме на рис. 6.
2. Замкните ключ К и снимите показания с вольтметра и амперметра. Это будут общее напряжение U и общий ток в цепи I для параллельного включения резисторов. Результаты запишите в таблицу 2.
3. Измерьте напряжения на каждом из резисторов: U_1, U_2, U_3 и, убедившись, что напряжения на всех резисторах одинаковые, что характерно для параллельного соединения элементов, занесите получение значения в таблицу 2.
4. Подключая амперметр поочерёдно к точкам 1-2, 3-4, 5-6 (не забывайте при этом вынуть провод между соответствующими точками и поставить его на место после измерения силы тока!) первого, второго, третьего резистора, измерьте токи, текущие по ним, и запишите полученные значения в таблицу 2.
5. Разомкните ключ *К* и измерьте мультиметром (режим омметра) общее сопротивление $R_{опыт}$ цепи. Для этого подключите клеммы мультиметра к точкам 1-7 (см. рис. 6). Запишите полученное значение в таблицу 2.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Выполнив расчёты, убедитесь, что при <u>последовательном</u> соединении:

   $U = U_1 + U_2 + U_3$; $I = I_1 = I_2 = I_3$; $R_1 = \frac{U_1}{I}, R_2 = \frac{U_2}{I}, R_3 = \frac{U_3}{I}$;

   $R_{теор} = R_{1теор} + R_{2теор} + R_{3теор}$ и занесите полученные результаты в таблицу 1.

2. Оцените погрешности для сопротивления при <u>последовательном</u> соединении по формулам:

$$\Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3;$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \ldots;$$

   где $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3$ и равно двум единицам младшего разряда мульметра в режиме омметра.

3. Выполнив расчёты, убедитесь, что при <u>параллельном</u> соединении:

   $U = U_1 = U_2 = U_3$; $I = I_1 + I_2 + I_3$; $R_1 = \frac{U}{I_1}, R_2 = \frac{U}{I_2}, R_3 = \frac{U}{I_3}$;

   $\frac{1}{R_{теор}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$, откуда $R_{теор} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}$ и занесите полученные результаты в таблицу 2.

4. Оцените погрешности для сопротивления при <u>параллельном</u> соединении по формулам:

$$\frac{\Delta R}{R} = \Delta R_i \cdot \left(\frac{3}{R_1 R_2 R_3} + \frac{2\left(R_1 + R_2 + R_3\right)}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2} \right);$$

$$\Delta R = R \cdot \left(\frac{\Delta R}{R} \right).$$

   где $\Delta R_i = \Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3$ и равно двум единицам младшего разряда мульметра в режиме омметра.

5. Сделайте общий вывод по работе с указанием вычисленных значений сопротивлений при последовательном и параллельном соединениях:

$$R_{посл} = (R_{посл}^{опыт} \pm \Delta R_{посл})\ Ом,$$

$$\frac{\Delta R_{посл}}{R_{посл}} \approx \ldots \% \ (\textit{округлите до целого числа}!)$$

$$R_{парал} = (R_{парал}^{опыт} \pm \Delta R_{парал})\ Ом,$$

$$\frac{\Delta R_{парал}}{R_{парал}} \approx \ldots \% \ (\textit{округлите до целого числа}!)$$

Таблица 1. Последовательное соединение резисторов

№	*Участок цепи*	R_i, *Ом*		U_i, *Ом*	I_i, *А*
		Теория	*Опыт*		
1	*Резистор* R_1				
2	*Резистор* R_2				
3	*Резистор* R_3				
4	*Вся цепь*				

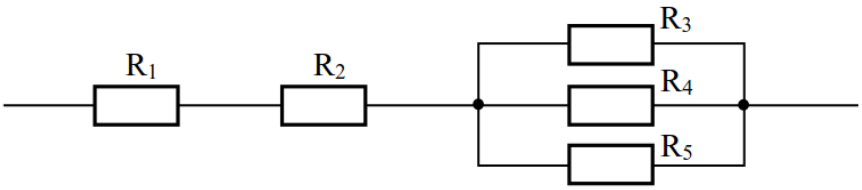
Таблица 2. Параллельное соединение резисторов

№	*Участок цепи*	R_i, *Ом*		U_i, *Ом*	I_i, *А*
		Теория	*Опыт*		
1	*Резистор* R_1				
2	*Резистор* R_2				
3	*Резистор* R_3				
4	*Вся цепь*				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое соединение резисторов называется последовательным и какое параллельным?
2. Как определить общее сопротивление резисторов при последовательном и при параллельном соединении?

3. Чему равен общий ток цепи и напряжение на участках цепи при последовательном соединении?
4. Чему равен общий ток цепи и напряжение на участках цепи при параллельном соединении?
5. Назовите достоинства и недостатки каждого вида соединения проводников (потребителей тока).
6. Приведите примеры последовательно и параллельного соединений потребителей тока у вас дома.
7. Чему равно общее сопротивление электрической цепи, изображённой на схеме, если все сопротивления одинаковы и равны 12 Ом?



ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

Лабораторная работа № 3.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС И ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

Цель работы: опытным путём определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

Приборы и принадлежности: компьютер с установленной программой моделирования электрических цепей «Начала электроники».

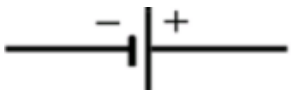
КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Источник тока – *устройство, в котором происходит преобразование какого-либо вида энергии в электрическую энергию.*

В любом источнике тока совершается работа по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц, которые накапливаются на полюсах источника. Существуют различные виды источников тока, например,

- ✓ механический (электрофорная машина, динамо-машина, генераторы),
- ✓ химический (гальванический элемент, аккумулятор),
- ✓ тепловой (термоэлемент),
- ✓ световой (фотоэлементы)

Условное обозначение источника тока на электрической схеме:



или батареи, состоящей из нескольких источников:

Возникновение разности потенциалов на полюсах любого источника является результатом разделения в нем положительных и отрицательных зарядов. Это разделение происходит благодаря работе, совершаемой сторонними силами. **Сторонние силы** – *любые силы, действующие на электрически заряженные частицы, за исключением сил электростатического происхождения (т.е. кулоновских)*.

При перемещении электрических зарядов по цепи постоянного тока сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу. *Физическая величина, равная отношению работы $A_{ст}$ сторонних сил при перемещении заряда q внутри источника тока к величине этого заряда, называется* **электродвижущей силой источника (ЭДС)**:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}. \qquad (6)$$

В замкнутом проводящем контуре ЭДС численно равна работе, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда вдоль всего контура. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в вольтах [В]. Эта работа совершается за счёт энергии, затрачиваемой в источнике тока.

Чтобы измерить ЭДС источника, надо при разомкнутой цепи **присоединить** к нему **вольтметр**, сопротивление $R_в$ которого должно быть много больше внутреннего сопротивления r источника тока (обычно на практике это условие выполняется).

Источник тока является проводником и всегда имеет некоторое сопротивление, поэтому прохождение тока через него сопровождается выделением тепла. Это сопротивление называют **внутренним сопротивлением** источника и обозначают r.

Если цепь разомкнута, то работа сторонних сил превращается в потенциальную энергию источника тока. При замкнутой цепи эта потенциальная энергия расходуется на работу по перемещению зарядов во внешней цепи с сопротивлением R и во внутренней части цепи с сопротивлением r, т.е.

$$\mathcal{E} = I \cdot R + I \cdot r, \qquad (7)$$

где $I \cdot R$ – напряжение на внешнем участке цепи, а $I \cdot r$ – напряжение на внутреннем участке цепи.

Таким образом, для участка цепи, содержащего ЭДС:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}. \qquad (8)$$

Формула (3) выражает **закон Ома для полной цепи**: *сила тока в полной цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи*.

Величины $\boldsymbol{\varepsilon}$ и $\boldsymbol{r}$ можно определить опытным путём.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Рабочее пространство программы «Начала электроники» представляет собой монтажный стол, набор радиотехнических деталей и приборов для измерения электрических величин (рис.1).

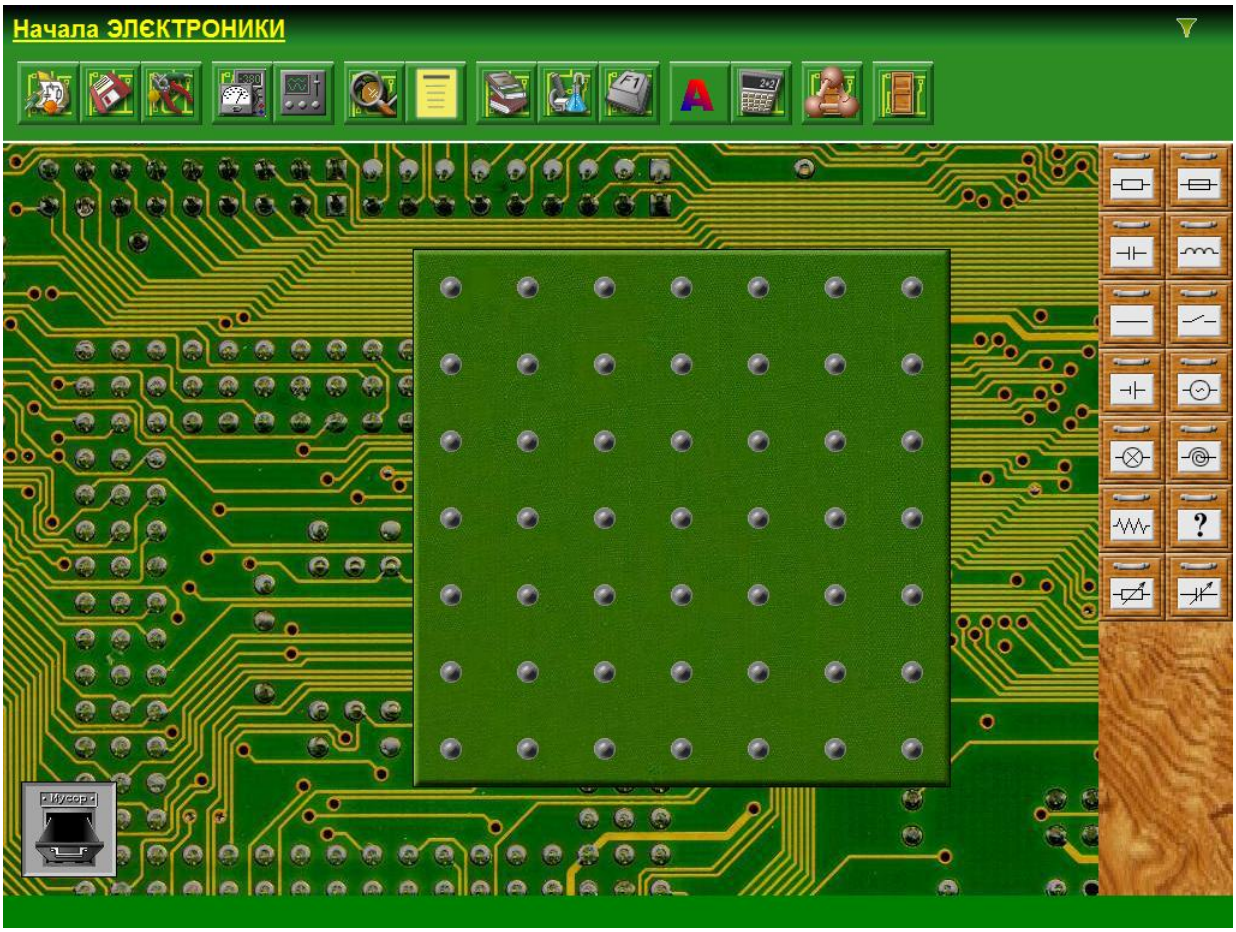


Рис. 1

Для определения ЭДС и внутреннего сопротивление источника тока, необходимо собрать электрическую цепь по схеме (рис. 2). Непосредственное измерение ЭДС источника тока (гальванического элемента) производится

мультиметром, включенным в режим вольтметра постоянного тока при разомкнутом ключе К. Все остальные измерения проводятся при замкнутом ключе.

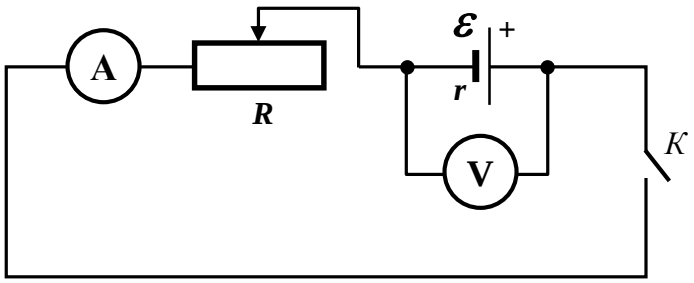


Рис. 2

Поставив ползунок реостата в среднее положение, измеряют силу тока I_1 в цепи и напряжение U_1 на внешнем участке цепи. Передвинув ползунок реостата вправо или влево, измеряют новые значения силы тока I_2 и напряжения U_2.

Использую формулу (2), можем записать:

$$\mathcal{E} = U_1 + I_1 \cdot r,$$
$$\mathcal{E} = U_2 + I_2 \cdot r.$$

Откуда

$$\mathcal{E} = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{I_2 - I_1}, \tag{9}$$

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}. \tag{10}$$

Таком образом измерив силы токов (I_1, I_2) и напряжения (U_1, U_2) можем вычислить искомые ЭДС ($\mathcal{E}$) и внутреннее сопротивление (r) источника тока.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

8. Запустите программу «Начала электроники».

9. Соберите на виртуальной монтажной плате электрическую цепь по схеме, изображённой на рис. 2. Для этого на панели с радиодеталями (рис. 3) курсором «мышки» выбирайте необходимые элементы и переносите их на монтажную плату. Мультиметры вызываются нажатием клавиши, изображённой на рис.5б. Один из них переведите в режим амперметра постоянного тока, другой – в режим вольтметра постоянного напряжения (правила работы с цифровым мультиметром приведены в приложении или «Контекстной справке», вызываемой клавишей, изображение которой приведено на рис. 5в).

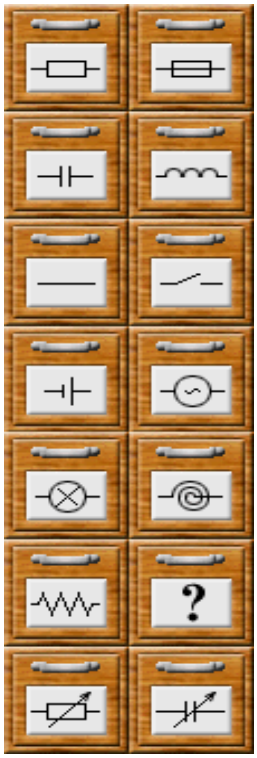


Рис. 3

10. Выставьте параметры элементов электрической цепи: рабочее напряжение элемента питания «12 В», сопротивление реостата «10 Ом». Для этого выделите нужный элемент цепи, щёлкнув по нему «мышкой», и откройте окно «Параметры детали» (рис. 4), щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 5а. В открывшемся списке выберите необходимый параметр и нажмите клавишу «Применить».

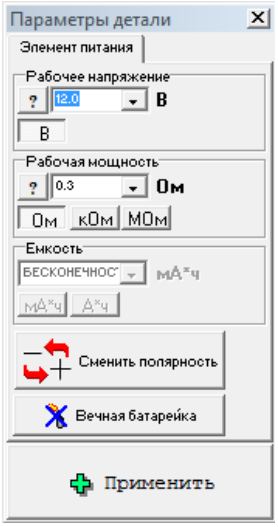


Рис. 4

11. Проверьте, чтобы ключ К был разомкнут и измерьте значения ЭДС $\varepsilon_{изм}$ (*здесь и далее, выбирайте диапазон измерения величины, позволяющий получить максимальную точность!*) Запишите $\varepsilon_{изм}$ в таблицу измерений.

12. Замкните ключ К, поставьте ползунок реостата в среднее положение и снимите показания силы тока I_1 и напряжения U_1. Результаты запишите в таблицу измерений.

а) б)

в) г)

Рис. 5

13. Уменьшите или увеличьте значение сопротивления реостата, сместив ползунок влево или вправо. Снимите новые показания силы тока I_2 и напряжения U_2. Результаты запишите в таблицу измерений.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Используя данные из таблицы измерений, по формулам (4) и (5) вычислите ЭДС $\boldsymbol{\varepsilon}$ используемого источника тока и его внутреннее сопротивление $\boldsymbol{r}$. Полученные данные внесите в таблицу. Для расчётов можно вызвать калькулятор, щёлкнув по кнопке, изображённой на рис. 5г.
2. Сравните полученные значения ЭДС (непосредственно измеренное и вычисленное в ходе эксперимента).
3. Погрешности измерений вычислите по формулам:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\frac{\Delta I}{I_1} + \frac{\Delta I}{I_2} + \frac{\Delta U}{U_1} + \frac{\Delta U}{U_2}}{I_2U_1 - I_1U_2}; \qquad \Delta\varepsilon = \varepsilon \cdot \frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon};$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{2\Delta I}{I_2 - I_1} + \frac{2\Delta U}{U_1 - U_2}; \qquad \Delta r = r \cdot \frac{\Delta r}{r},$$

где ΔI, ΔU равны двум единицам младшего разряда мультиметра (например, если мультиметр показывает 2,5 А, то погрешность измерения силы тока составляет 0,2 А; для напряжения 10,71 В – 0,02 В).

4. Сделайте общий вывод по работе с указанием вычисленных ЭДС источника тока и его внутреннего сопротивления:

$$\varepsilon = (\varepsilon_{изм} \pm \Delta\varepsilon)\ B,$$
$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \approx \ldots\%$$
$$\varepsilon = (\varepsilon_{выч} \pm \Delta\varepsilon)\ B,$$
$$\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \approx \ldots\% \ (\textit{округлите до целого числа}!)$$
$$r = (r \pm \Delta r)\ Ом,$$
$$\frac{\Delta r}{r} \approx \ldots\% \ (\textit{округлите до целого числа}!)$$

Таблица измерений.

$\varepsilon_{изм}$, В	I_1, А	U_1, В	I_2, А	U_2, В	$\varepsilon_{выч}$, В	r, Ом

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое источник тока? Назовите виды источников тока. Как изображается источник тока на схемах?
2. Какие силы называются сторонними?
3. Что такое ЭДС источника тока? В каких единицах она измеряется?
4. Назовите известные Вам способы измерения ЭДС источника тока.
5. Какое сопротивление в электрической цепи называется внешним и какое внутренним?
6. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.
7. При подключении к гальваническому элементу резистора сопротивлением 16 Ом сила тока в цепи была 1 А, а при подключении резистора сопротивлением 8 Ом сила тока стала 1,8 А. Найдите ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока. При возможности выполните работу экспериментально в программе «Начала электроники», используя два резистора, сопротивления которых известны, и амперметр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

Лабораторная работа № 3.5

ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И ПРИНЦИПА РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: опытным путём изучить устройство и принцип действия трансформатора; измерить коэффициент трансформации.

Приборы и принадлежности: трансформатор лабораторный, амперметр, вольтметр, реостат ползунковый, ключ замыкания тока, комплект провод; компьютер с установленной программой моделирования работы трансформатора.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В радиотехнике, электротехнике, электронике широко используют трансформатор. **Трансформатор** – *статическое электромагнитное устройство, преобразующее переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения при неизменной частоте*.

Он состоит из замкнутого сердечника, изготовленного из специальной листовой трансформаторной, стали, на которой располагаются две катушки (их называют *обмотками*) с разным числом витков из медной проволоки. Одна из обмоток, называемая первичной, подключается к источнику *переменного* напряжения. Устройства, потребляющие электроэнергию, подключаются к *вторичной* обмотке, их может быть несколько.

Обмотки имеют между собой магнитную связь, осуществляемую переменным магнитным полем. Ферримагнитный магнитопровод предназначен для усиления магнитной связи между обмотками. Обмотки изолируют как друг от друга, так и от магнитопровода. Внешний вид и схема одного из них (простейшего) показаны рис. 1.

Если первичную обмотку подключить к источнику переменного напряжения, а вторичную оставить разомкнутой (это 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 обмотки равную ЭДС, поэтому ЭДС индукции во всей обмотке прямо пропорциональна числу витков в этой обмотке, т.е.

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}. \qquad (1)$$

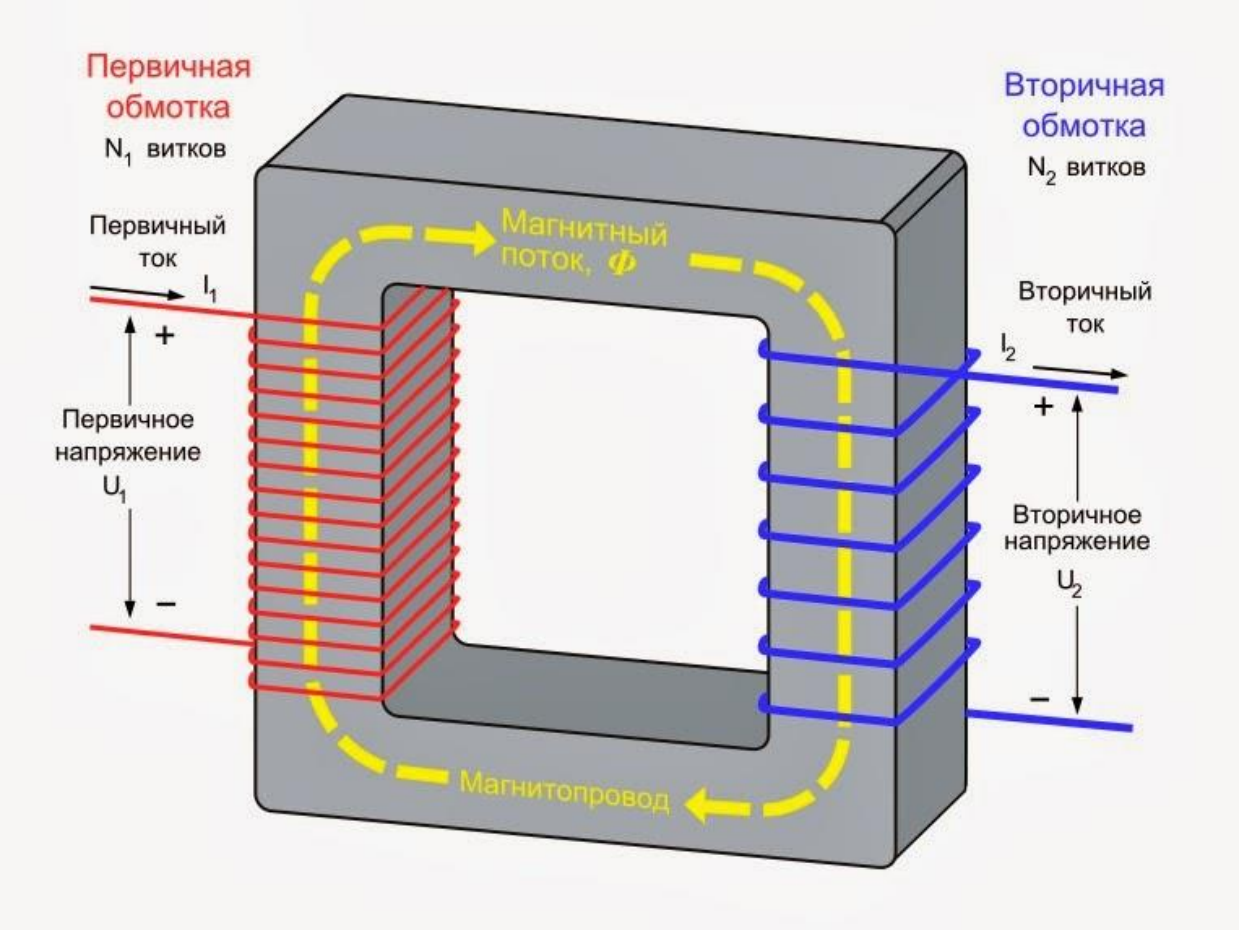


Рис. 1

При разомкнутой вторичной обмотке напряжение на её зажимах U_2 будет равно наводимой в ней ЭДС $\mathcal{E}_2$. В первичной обмотке ЭДС $\mathcal{E}_1$ по числовому значению мало отличается от подводимого к этой обмотке напряжения U_1, практически их можно считать равными, поэтому

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = k, \qquad (2)$$

где k – коэффициент трансформации.

При k >1 трансформатор называется повышающим (повышает напряжение), при k <1 – понижающим, при k =1 – трансформатор связи. Коэффициент трансформации может быть определён и как отношение N_2/N_1, т.к. принципиальной разницы в этом нет.

Если во вторичную цепь трансформатора включить нагрузку, то во вторичной обмотке возникает ток. Этот ток создаёт магнитный поток, который, согласно правилу Ленца, должен уменьшить изменение магнитного потока в сердечнике, что, в свою очередь, приведёт к уменьшению ЭДС индукции в первичной обмотке. Но эта ЭДС равна напряжению, приложенному к первичной обмотке, поэтому ток в первичной обмотке должен возрасти, восстанавливая начальное изменение магнитного потока. При этом увеличивается мощность, потребляемая трансформатором от сети.

Переменный ток в обмотках вызывает вихревые индукционные токи в стальном сердечнике трансформатора, вызывающие их нагревание. Поэтому их выполняют из тонких, изолированных друг от друга пластин. Мощность тока в первичной обмотке можно считать равной мощности тока во вторичной обмотке, т.к. потери мощности в трансформаторах составляет 2-3 % от мощности источника в первичной обмотке.

Любой трансформатор может быть использован и как повышающий, и как понижающий. Повышающие трансформаторы применяют для передачи электроэнергии на большие расстояния, а понижающие – для её распределения между потребителями.

Поскольку потери на нагревание провода согласно закона Джоуля-Ленца пропорциональны квадрату тока через провод, при передаче электроэнергии на большое расстояние выгодно использовать большие напряжения и небольшие токи. Поэтому для наиболее выгодной транспортировки электроэнергии в электросети применяют повышающие трансформаторы, а для применения в быту с помощью понижающих трансформаторов напряжение линии электропередач снижают до приемлемого для потребителей уровня.

Для питания разных узлов электроприборов требуются самые разнообразные напряжения. Например, в телевизоре используются напряжения от 20 кВ, в компьютере также необходимы напряжения 5 и 12 В для питания разных блоков. Все эти напряжения преобразуются из напряжения электрической сети с помощью трансформатора со *многими* вторичными обмотками.

При выполнении работы следует изучить устройство трансформатора, включить его в сеть переменного тока. В режиме холостого хода измерить напряжение на обмотках и вычислить коэффициент трансформации, а при работе трансформатора «под нагрузкой» установить связь между токами и напряжениями в обмотках.

Схема электрической цепи для проведения работы, изображена на рис. 2, рабочее пространство моделирующей программы – рис. 3.

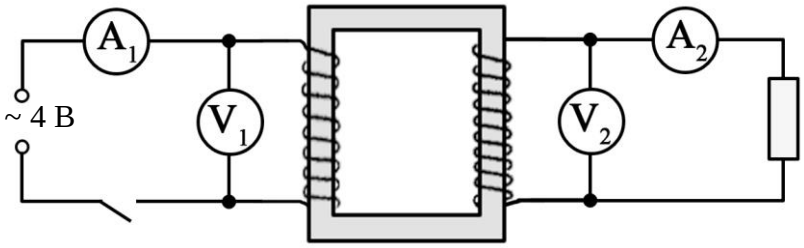


Рис. 2

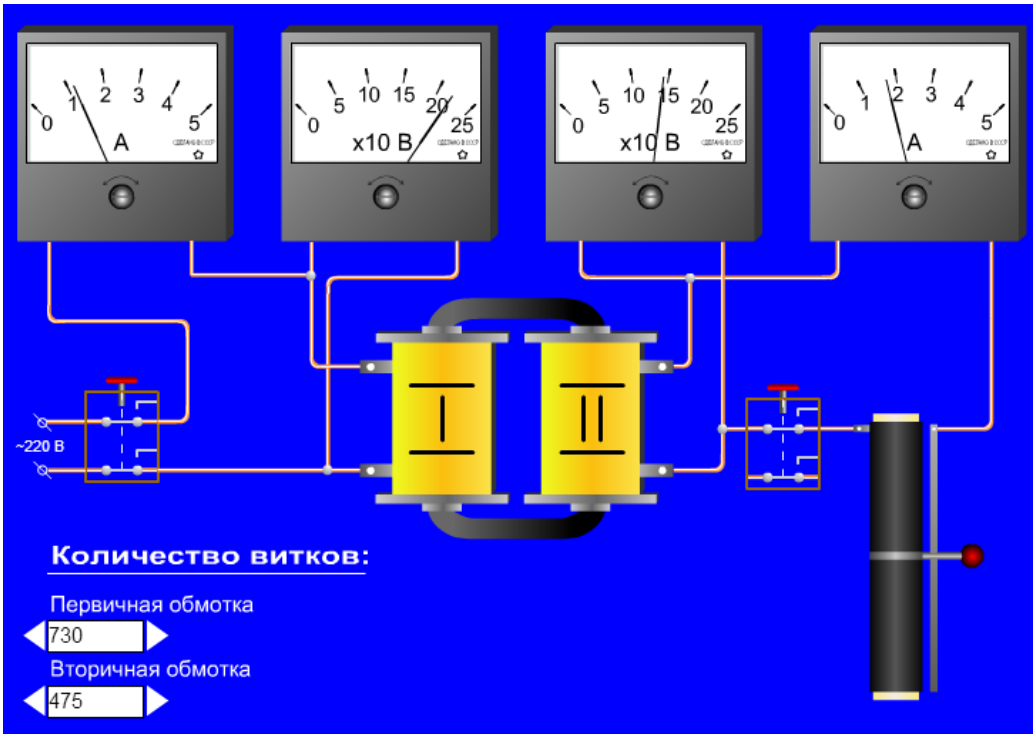


Рис. 3

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

I. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ТРАНСФОРМАТОРА

1. Рассмотрите устройство трансформатора. Определите первичную обмотку и вторичную.
2. Начертите электрическую схему трансформатора.
3. Разберите трансформатор. Для этого открутите две гайки крепления скобки. Выньте сердечник и рассмотрите его устройство.
4. Соберите трансформатор. Для этого вставьте сердечник со скобкой в катушку, установите трансформатор на основание и закрепите его гайками.
5. Подсоедините трансформатор к сети переменного напряжения и замкните цепь (если дальше используется моделирующая программа (рис. 3), то необходимо запустить её).
6. Запишите в таблицу измерений число витков N_1 в первичной и вторичной N_2 обмотках (выставьте значения $N_1 = 730$, $N_2 = 475$ или другие, указанные преподавателем).
7. Измерьте напряжение U_1 на первичной обмотке и силу тока I_1 в ней (результаты записывайте в таблицу измерений).
8. Измерьте напряжение U_2 на вторичной обмотке.
9. Отключите трансформатор от сети.
10. Во вторичную цепь включите через ключ реостат и амперметр.
11. Снова подсоедините трансформатор к сети переменного напряжения и замкните цепь. Измерьте силу тока I_2 во вторичной обмотке, предварительно убедившись в том, что сопротивление реостата примерно четверть от полного. Отключите трансформатор от сети.
12. Включите амперметр в первичную цепь и измерьте силу тока в первичной обмотке I_1.

13. Измерьте напряжение на первичной и вторичной обмотках U_1 и U_2.

14. Отключите трансформатор от сети.

15. Немного увеличьте сопротивление реостата, сдвинув ползунок к середине. Проведите измерения сил токов I_1, I_2 и напряжений U_1 и U_2 ещё раз. Результаты всех измерений запишите в таблицу.

II. ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА РАССТОЯНИЕ

Оборудование: трансформаторы на вертикальной панели (2 шт.); источник переменного напряжения на 4 В (В-24М); лампочка в патроне на 3,5 В; реостат; ключ; соединительные провода.

1. Соберите электрическую сеть по схеме, изображённой на рис.3.
2. Замкните ключ и, изменяя положение движка реостата, получите минимальный накал лампы.
3. Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рис.4, установите в этой цепи реостат с прежним сопротивлением (положение скользящего его контакта на меняйте!).
4. Замкните ключ и наблюдайте работу установки. Сравните накал лампы с накалом предыдущего опыта и сделайте вывод.

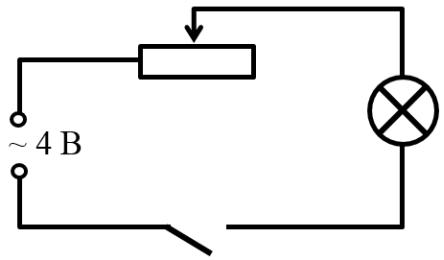


Рис. 3

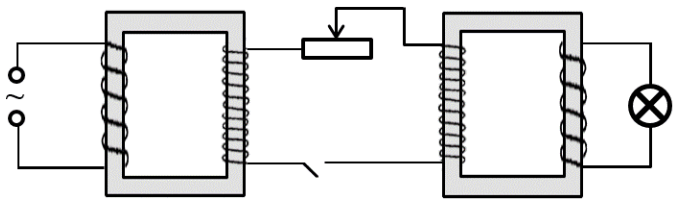


Рис. 4

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Вычислите по формуле (2) коэффициент трансформации k при режиме холостого хода по N_1 и N_2 (результаты записывайте в таблицу измерений).
2. Проделайте аналогичные вычисления для режима работы «под нагрузкой» по U_1 и U_2.
3. Рассчитайте погрешности измерения коэффициента трансформации на холостом ходу по формулам:

$$\frac{\Delta k_x}{k_x} = \frac{\Delta N_1}{N_1} + \frac{\Delta N_2}{N_2}; \qquad \Delta k_x = k_x \cdot \frac{\Delta k_x}{k_x},$$

где $\Delta N_1 = \Delta N_2 = 1$ – абсолютные погрешности числа витков в первичной и вторичной катушках.

4. Рассчитайте погрешности измерения коэффициента трансформации на рабочем ходу по формулам:

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{\Delta U_1}{U_1} + \frac{\Delta U_2}{U_2}; \qquad \Delta k = k \cdot \frac{\Delta k}{k},$$

где ΔU_1 и ΔU_2 – абсолютные погрешности измерений напряжений на первичной и вторичной обмотках (равны половине цены деления вольтметров в первичной и во вторичной цепи).

5. Вычислите мощность тока в первичной обмотке по формуле: $P_1 = I_1 \cdot U_1$.
6. Вычислите мощность тока во вторичной обмотке по формуле: $P_2 = I_2 \cdot U_2$.
7. Рассчитайте погрешности измерения мощностей тока на рабочем ходу по формулам:

$$\frac{\Delta P_1}{P_1} = \frac{\Delta I_1}{I_1} + \frac{\Delta U_1}{U_1}; \qquad \frac{\Delta P_2}{P_2} = \frac{\Delta I_2}{I_2} + \frac{\Delta U_2}{U_2};$$

$$\Delta P_1 = P_1 \cdot \frac{\Delta P_1}{P_1}; \qquad \Delta P_2 = P_2 \cdot \frac{\Delta P_2}{P_2}.$$

8. Сделайте общий вывод по работе с указанием вычисленных коэффициентов трансформации:

$$k = (k_{изм} \pm \Delta k),$$
$$\frac{\Delta k}{k} \approx \ldots \%$$

Также укажите есть ли (и какие) потери мощности в трансформаторе.

Таблица измерений

Сила тока в обмотках:		Напряжение на концах обмоток:		Коэффициент трансформации	Мощность, выделяемая первичной обмоткой	Мощность, выделяемая вторичной обмоткой
Режим холостого хода						
первичной I_1, А	вторичной I_2, А	первичной U_1, В	вторичной U_2, В	k	P_1, Вт	P_2, Вт
	–					–
Режим работы «под нагрузкой»						
Число витков в первичной катушке N_1 = … Число витков в первичной катушке N_2 = …						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое электрическое устройство называют трансформатором?
2. Назовите основные элементы трансформатора.
3. Какая обмотка называется первичной? вторичной?
4. 5. Какой трансформатор называется повышающим? понижающим?
5. Дайте определение коэффициента трансформации.
6. Какое физическое явление положено в основу принципа действия трансформатора?
7. Для какой цели стальной сердечник выполняют из тонких, изолированных друг от друга листов магнитомягкой стали?
8. Почему для передачи электрической энергии на большие расстояния применяются повышающие трансформаторы?
9. Приведите примеры применения понижающих трансформаторов в быту?

10. Трансформатор, содержащий в первичной обмотке 840 витков, повышает напряжение с 220 до 660 В. Каков коэффициент трансформации? Сколько витков содержится во вторичной обмотке? В какой обмотке провод имеет большую площадь поперечного сечения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика для профессий и специальностей технического профиля: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 6-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. Физика для профессий и специальностей технического профиля. Сборник задач: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / В.Ф.Дмитриева. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

ОЦЕНКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ФИЗИКЕ

Оценка «5» *ставится в том случае, если студент:*

1. выполнил работу в полном объёме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;
2. правильно и грамотно работает с необходимым оборудованием, все опыты провёл в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью;
3. в представленном отчёте правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы;
4. правильно выполнил анализ погрешностей;
5. соблюдал требования безопасности труда.

Оценка «4» *ставится в том случае, если выполнены требования к оценке «5», но:*

1. опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерений;
2. или было допущено два-три недочёта, или не более одной негрубой ошибки и одного недочёта.

Оценка «3» *ставится, если работа выполнена не полностью, но объём выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, или если в ходе проведения опыта и измерений были допущены следующие ошибки:*

1. опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов большей погрешностью;
2. или в отчёте были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т.д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения;
3. или не совсем или выполнен неверно анализ погрешностей;

4. или работа выполнена не полностью, однако объём выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы.

Оценка «2» *ставится в том случае, если:*

1. работа выполнена не полностью, и объём выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов,
2. или опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно,
3. или в ходе работы и в отчёте обнаружились в совокупности все недостатки, отмеченные в требованиях к оценке «3».

Оценка «1» *ставится в тех случаях, когда студент совсем не выполнил работу или не соблюдал требований техники безопасности труда.*

В тех случаях, когда студент показал оригинальный и наиболее рациональный подход к выполнению работы и в процессе работы, но не избежал тех или иных недостатков, оценка за выполнение работы по усмотрению преподавателя может быть повышена по сравнению с указанными выше нормами.

Перечень ошибок

<u>Грубые ошибки:</u>

- ✓ незнание определений основных понятий, законов, правил, основных положений теории, формул, общепринятых символов обозначения физических величии, единиц их измерения;
- ✓ неумение выделить в ответе главное;
- ✓ неумение применять знания для решения задач и объяснения физических явлений; неправильно сформулированные вопросы задачи или неверные объяснения хода её решения; незнание приёмов решения задач, аналогичных ранее решённым в классе, ошибки, показывающие неправильное понимание условия задачи или неправильное истолкование решения;
- ✓ неумение читать и строить графики и принципиальные схемы;
- ✓ неумение подготовить к работе установку или лабораторное оборудование,

провести опыт, необходимые расчёты, или использовать полученные данные для выводов;

- ✓ небрежное отношение к лабораторному оборудованию и измерительным приборам;
- ✓ неумение определить показание измерительного прибора;
- ✓ нарушение требований правил безопасного труда при выполнении эксперимента.

Негрубые ошибки:

- ✓ неточности формулировок, определений, понятий, законов, теорий, вызванные неполнотой охвата основных признаков определяемого понятия, ошибки, вызванные несоблюдением условий проведении опыта или измерений;
- ✓ ошибки в условных обозначениях на принципиальных схемах, неточности чертежей, графиков, схем;
- ✓ пропуск или неточное написание наименований единиц физических величин;
- ✓ нерациональный выбор хода решения.

Недочёты:

- ✓ нерациональные записи при вычислениях, нерациональные приёмы вычислении, преобразований и решений задач;
- ✓ арифметические ошибки в вычислениях, если эти ошибки грубо не искажают реальность полученного результата;
- ✓ отдельные погрешности в формулировке вопроса или ответа;
- ✓ небрежное выполнение записей, чертежей, схем, графиков;
- ✓ орфографические и пунктуационные ошибки.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ЦИФРОВОЙ МУЛЬТИМЕТР

(правила работы с мультиметром)

1. Мультиметр (рис. 1) вызывается на экран (рабочий стол) нажатием кнопки «Получить мультиметр» на верхней панели окна программы. Следующее нажатие на эту кнопку вызывает второй прибор (при этом кнопка блокируется). Для удаления прибора нужно щелкнуть на кнопке ☒ в правом верхнем углу окна мультиметра. Прибор вместе со своими зажимами исчезает с экрана.

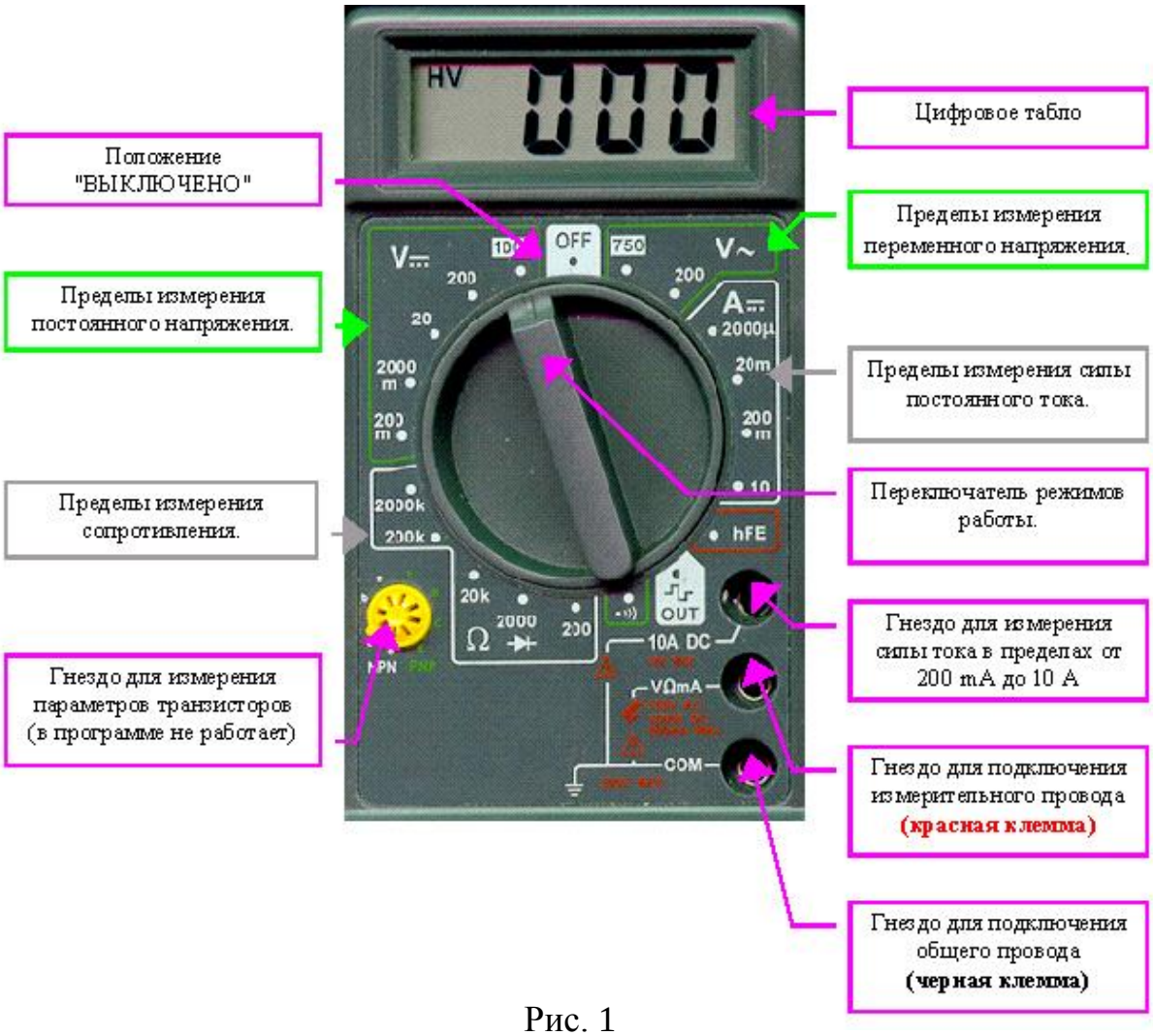


Рис. 1

2. Подключение мультиметра к точкам исследуемой схемы производится установкой в нужные места общего (темно-синего) и измерительного (красного)

зажимов, соединённых с соответствующими гнёздами прибора. Соединительные провода прибора на экране не показываются, чтобы не загромождать монтажный стол.

Для подключения прибора к исследуемой схеме необходимо:

- установить указатель "мышки" на нужный зажим прибора (указатель примет вид руки);
- нажать и удерживать левую кнопку "мышки";
- перетащить зажим (удерживая кнопку) в нужную точку схемы и отпустить кнопку "мышки".

Если в процессе работы требуется переключить зажимы в другие места схемы, то используется эта же процедура. Перенос зажима на область прибора приводит к его автоматической "парковке" на соответствующее входное гнездо мультиметра.

3. Переключение режимов работы прибора осуществляется установкой указателя "мышки" на соответствующую точку панели прибора (при этом указатель изменяет свой вид) и щелчком левой кнопки "мышки". Переключатель режимов работы мультиметра поворачивается в отмеченную позицию.
4. На цифровом табло прибора отображается числовое значение измеряемой величины (тока, напряжения, сопротивления) в единицах, указанных на выбранном пределе измерения. Если в левой части табло высвечивается -1 (переполнение), это говорит о том, что значение измеряемой величины превышает максимальное значение выбранного предела измерения. Необходимо переключить прибор на другой предел.
5. Вы можете использовать для работы один или два мультиметра, которые имеют номера 1 и 2. Зажимы приборов также имеют соответствующие номера. Приборы могут использоваться одновременно и независимо. Например, первым прибором можно измерять напряжение, а вторым – ток, в разных частях исследуемой схемы.

Областное государственное бюджетное профессиональное
образовательное учреждение «Рязанский строительный колледж
имени Героя Советского Союза В.А. Беглова»

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Абросимов Павел Викторович
Зенякина Елена Васильевна

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ

Подписано в печать __.__.18. Формат 84х108 1/32
Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Тираж 30 экз.
Бумага мелованная. Усл. печ. л. – 3,36.

Издательство ОГБПОУ РСК
390023, г. Рязань, ул. Циолковского, 22.
(4912) 445639, 442662