

ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Методические указания к лабораторной работе

Иркутск 1994

Печатается по решению научно-методического совета Иркутского государственного университета

Содержит краткую теорию и описание выполнения лабораторной работы, контрольные вопросы. Предназначена студентам 1 и 2 курсов дневной, вечерней, заочной формы обучения.

Ил. .9.

Составитель доц. Л.И. Алексеева  
(кафедра общей и космической физики)

Рецензент Г.Т. Тимощенко

## ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОТЕКАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Цель работы: Изучение особенностей протекания тока в электрической цепи. Знакомство с электроизмерительными приборами и способами расширения их пределов измерений.

Работа состоит из четырех заданий и рассчитана на два занятия. По усмотрению преподавателя на одно лабораторное занятие могут быть предложены любые задания.

Особенности составления схем, используемые приборы и принадлежности приводятся в каждом разделе.

### Краткая теория

Электрическим током называется направленное движение свободных заряженных частиц. В металлах, из которых изготовлены соединительные провода, реостаты, катушки трансформаторов и измерительных приборов и т.д., свободные электроны могут перемещаться хаотически  $V_{\text{тепл}} \sim 10^5 \text{ м/с}$  или направленно  $V_{\text{эл}} \sim 10^{-2} \text{ м/с}$  внутри кристаллической решетки, в узлах которой расположены положительные ионы. Для одновалентных металлов число электронов соответствует числу ионов. Направленное движение электронов осуществляется под действием разности потенциалов приложенного электрического поля ( $\Delta\varphi$  или  $U$ ).

Количественной мерой электрического тока служит сила тока  $J$  - скалярная физическая величина, определяемая электрическими зарядами, проходящими через поперечное сечение проводника в единицу времени. Тогда для постоянного или переменного тока можно записать

$$J = \frac{q}{t} \quad \text{или} \quad J = \frac{dq}{dt}. \quad (1)$$

По закону сохранения заряда через любые сечения последовательной цепи проходят за одинаковые промежутки времени равные количества электричества. В противном случае они где-то накапливались бы или исчезали, чего не наблюдается. Поэтому сила тока во всех сечениях последовательной цепи одна и та же.

За счет работы сил электрического поля электроны получают ускорение, возрастает их кинетическая энергия, которую они отдают частицам вещества при всякого рода взаимодействиях. Затем процесс повторяется

$$A = \Delta W_k; \quad q \Delta\varphi = \Delta \frac{mV^2}{2}. \quad (2)$$

Падение напряжения на участке цепи измеряется энергией, которую единица заряда отдает данному участку цепи  $\Delta\varphi = \frac{A}{q}$ . Рассеяние энергии

упорядоченного движения электронов происходит на искажениях (дефектах) кристаллической структуры. Энергия переходит во внутреннюю энергию вещества, и оно нагревается. Тогда закон Джоуля - Ленца можно записать:

$$Q = A = qU = JU\tau, \quad (3)$$

здесь  $\tau$  - время протекания электрического тока.

Величина, характеризующая свойство проводника уменьшать скорость упорядоченного движения свободных зарядов, называется электрическим сопротивлением  $R$  данного проводника (активное сопротивление).

$$R = \rho_{уд} \frac{l}{S}, \quad (4)$$

здесь  $\rho_{уд}$  - удельное сопротивление металла,  $l$  и  $S$  - длина и площадь поперечного сечения проводника.

В электрических и радиотехнических схемах сопротивления соединяются в различные сложные конфигурации. Простейшими из них являются последовательное и параллельное соединение сопротивлений (рис.1, 2). В этих схемах малым сопротивлением соединительных проводов пренебрегают.

При последовательном соединении (рис.1) сила тока, протекающая по различным участкам электрической схемы, одна и та же. Для ее измерения амперметр включается в схему последовательно. Напряжение на отдельных участках цепи прямо пропорциональны сопротивлениям этих участков и могут быть измерены вольтметром, который включается параллельно

$$\begin{aligned} U_1 = JR_1; \quad U_2 = JR_2; \quad U = U_1 + U_2; \\ R_{носл} = R_1 + R_2 + r_a; \quad J = \frac{U}{R_1 + R_2 + r_a}. \end{aligned} \quad (5)$$

Известно, что всякий измерительный прибор (зонд) не должен вносить искажения в измеряемую величину. Отсюда следует, что внутреннее сопротивление амперметра должно быть много меньше сопротивления схемы, чтобы им можно было пренебречь, т.е.

$$r_a \ll R_1 + R_2. \quad (6)$$

При параллельном соединении сопротивлений (рис.2) ток в точке соединения нескольких проводников разделяется на составляющие, напряжение при этом остается одинаковым

$$\begin{aligned} U_1 = U_2 = U; \quad J = J_1 + J_2; \quad J_1 = \frac{U}{R_1}; \quad J_2 = \frac{U}{R_2}; \\ J = \frac{U}{R_{нар}} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \quad R_{нар} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Силы тока в параллельных ветвях обратно пропорциональны сопротивлениям в этих ветвях.

$$U = J_1 \cdot R_1 = J_2 \cdot R_2; \quad \frac{J_1}{J_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (8)$$

При измерении напряжении между двумя точками вольтметр подключается параллельно участку цепи. Но при этом его внутреннее сопротивление должно быть достаточно большим, что бы можно было пренебречь величиной тока, протекающего через вольтметр. Если это условие не соблюдается, необходимо учитывать его сопротивление. Тогда

$$\frac{1}{R_{нар}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i} + \frac{1}{r_V}; \quad J = J_1 + J_2 + \dots + J_V. \quad (9)$$

Отклонение стрелки амперметра и вольтметра пропорционально току  $i_0$ , текущему через прибор. Но ток этот по закону Ома однозначно связан с напряжением на приборе  $V_0$ :

$$r \cdot i_0 = V_0,$$

где  $r$  - сопротивление прибора.

Таким образом, по отклонению стрелки прибора можно судить и о токе, текущем через прибор, и о напряжении на приборе. У амперметра на шкале проставлены значения тока, у вольтметра – значения напряжения.

Пусть  $i_0$  - ток, отклоняющий стрелку на всю шкалу. Тогда напряжение на приборе  $V_0$ , отклоняющее стрелку на всю шкалу, будет равно

$$V_0 = i_0 r. \quad (10)$$

Зная любые две из величин  $V_0$ ,  $i_0$ ,  $r$ , можно определить и третью.

Основой большинства амперметров и вольтметров служит чувствительный прибор, для которого  $i_0$  и  $V_0$  - малые величины ( $i_0$  - несколько микро- или миллиампер,  $V_0$  - несколько милливольт). На практике же возникает необходимость измерения и больших токов и больших напряжений. Эти задачи решаются следующим образом.

Если параллельно чувствительному прибору (например, миллиамперметру) присоединить малое сопротивление  $R_{ш}$  (шунт) и все это устройство включить в разрыв цепи (рис.3), то ток  $J$ , текущий в цепи, разветвится: часть пойдет через шунт, а часть – через миллиамперметр.

Подбором сопротивления шунта можно добиться того, что бы отклонение стрелки на всю шкалу соответствовало заданному току  $J_{max}$ . При этом через миллиамперметр должен течь ток  $i_0$  (т.к. именно такой ток отклоняет стрелку на всю шкалу), а остальная часть тока ( $J_{max} - i_0$ ) пойдет через шунт. По закону Ома  $V_0 = i_0 r = (J_{max} - i_0) \cdot R_{ш}$ , откуда находится необходимое сопротивление шунта:

$$R_{ш} = \frac{i_0 r}{J_{max} - i_0}.$$

Таким образом, с помощью шунта миллиамперметр можно превратить в прибор, измеряющий гораздо больший ток, чем  $i_0$ . Если  $J_{\max} \gg i_0$ , то последняя формула значительно упрощается:

$$R_{ш} = r \cdot \frac{i_0}{J_{\max}}. \quad (11)$$

Если последовательно с амперметром соединить большое сопротивление  $R_{\partial}$  (добавочное сопротивление), то этим устройством можно пользоваться как вольтметром (рис.4), причем измеряемое напряжение будет тем больше, чем больше величина добавочного сопротивления. Пусть нам надо, чтобы отклонение стрелки на всю шкалу отвечало заданному значению измеряемого напряжения  $V_{\max}$ . Через миллиамперметр в этом случае должен идти ток  $i_0$ . По закону Ома  $V_{\max} = i_0 (r + R_{\partial}) = i_0 r + i_0 R_{\partial}$ .

Откуда находится необходимое сопротивление  $R_{\partial}$ :

$$R_{\partial} = \frac{V_{\max}}{i_0} - r = r \cdot \left( \frac{V_{\max}}{V} - 1 \right). \quad (12)$$

Если  $V_{\max} \gg V_0$ , то формула (12) упрощается:

$$R_{\partial} = r \frac{V_{\max}}{V_0}. \quad (13)$$

## Экспериментальная часть

### 1. Изготовление плавкого предохранителя

Прохождение тока по проводам вызывает их нагревание. Если сила тока в проводе значительно выше нормальной, может возникнуть пожар. Для ограничения силы тока применяют плавкие предохранители. Оценить опасные значения силы тока и заменить сгоревший предохранитель вам поможет это исследование.

1. Соберите схему. ИП – источник питания П001 (до 10 А), R – реостат на 16 см, А – амперметр на 10 А.

2. Зачистите проволоку, измерьте микрометром диаметр образца, закрепите его на панели.

3. При подключении источника напряжения проверьте положение движка реостата ( R должно быть максимально большим), что бы не вывести его из строя большим током.

4. Проведите измерения тока перегорания для проводов разных диаметров. Результаты измерений занесите в таблицу.

5. Получите формулу зависимости силы тока перегорания от площади сечения проводника, учитывая, что работа электрического тока (3) расходуется на нагревание вещества

$$Q = J^2 R \tau = mc \Delta t ,$$

здесь  $C$  – удельная теплоемкость,  $\Delta t$  – интервал температур. Массу выразите через плотность,  $R$  – по формуле (4). Уравнения какой математической кривой описывает полученная формула?

6. Постройте график зависимости силы тока перегорания от площади сечения проводника.

7. Продолжая график в область больших и малых токов, можно оценить силу тока перегорания проводников любого диаметра. Допустимый (нормальный) ток обычно составляет менее одной десятой тока перегорания. Оцените допустимый ток для проводов диаметром  $0,13\text{ мм}$ .

8. Найдите толщину провода для изготовления плавкого предохранителя на  $3\text{ А}$ .

## 2. Расширение пределов измерений амперметра. Подбор шунта.

В практике электрических измерений часто приходится менять пределы измерений прибора (обычно расширять). Расширением пределов измерений (уменьшением чувствительности) основных электроизмерительных приборов вы займетесь в следующих занятиях.

### Рабочая схема

1. Соберите схему (рис.7). ИП – источник питания,  $R_1$  - магазин Р32 (реостат),  $R_{ш}$  - шунт (магазин Р33),  $mA$  - амперметр на  $3\text{ mA}$ .

Как видно из рисунка, она состоит из двух частей: расширенного амперметра (обведенного контуром) и источника тока. Ток задается сопротивлением  $R_1$  (почему?). И если значение его слишком (мало? велико?), то амперметр может выйти из строя. Это основная опасность при работе с амперметром. Поэтому перед подключением источника питания проверьте величину  $R_1$ . Затем выполните следующие действия:

2. Изменяя сопротивление  $R_1$ , установите стрелку амперметра на максимальное положение  $J_{\max}$ . При этом сопротивление шунта должно быть максимально большим, а ток через шунт – минимальным ( $R_{ш} \rightarrow \infty; J_{ш} \rightarrow 0$ ).

3. Не изменяя тока в общей цепи, т.е.  $U$  и  $R_1$  сохраняются прежними, уменьшите  $R_{ш}$  так, чтобы ток через амперметр уменьшился вдвое  $J_A = 1/2 J_{\max}$ . Это означает, что ток в параллельных ветвях одинаков ( $J_A = J_{ш}$ ), тогда  $r_A = R_{ш}$  (8). Определите внутреннее сопротивление амперметра. Проверьте, выполняется ли условие (6).

4. Расширьте пределы измерений прибора до  $2\text{ А}$ , для чего по формуле (11) рассчитайте соответствующий шунт. Определите цену деления вашего измерительного прибора.

5. Проверьте свои расчеты на практике. Для этого замените магазин сопротивлений  $R_1$  (он не рассчитан на большой ток) на реостат (16 Ом, 5 А), Подключите в схему ваш прибор, а для контроля последовательно в схему включите амперметр на 5 А. Убедитесь, что с помощью миллиамперметра вы можете измерить ток значительно большей величины.

### 3. Расширение пределов измерений вольтметра. Изготовление вольтметра из амперметра.

Известно, что отклонение стрелки измерительных приборов пропорционально току, протекающему по катушке прибора (устройство приборов, магнитоэлектрической и электромагнитной системы изложено в методической разработке 3-0). Поэтому один и тот же электроизмерительный прибор может быть использован как амперметр или как вольтметр в зависимости от способа включения и соотношения величин сопротивлений схемы и прибора. Для углубления этих знаний вам предлагается выполнить следующие задания.

#### Рабочая схема

1. Соберите схему (рис.8). ИП – источник питания,  $R$  - магазин P33,  $V$  - вольтметр на 3 В.

Эта схема может рассматриваться двояко: во-первых, как последовательное соединение сопротивления  $R$  и измерительного прибора, во-вторых, как вольтметр (обведен пунктиром) для измерения напряжения  $U$  источника питания.

2. Определите внутреннее сопротивление вольтметра  $r_V$ . Для этого, изменяя сопротивлением  $R$  величину тока, протекающего в цепи, установите стрелку прибора на максимальное значение

$$U = J_{\max} (R_1 + r_V).$$

Затем, изменяя  $R$ , установите стрелку на середину шкалы, т.е.

$$J_2 = \frac{1}{2} J_{\max}, \quad U = J_2 (R_2 + r_V).$$

Запишите значения  $R_1$  и  $R_2$ , найдите величину  $r_V$ .

3. Вычислите величину добавочного сопротивления  $R_\delta$  по формуле (13) для расширения пределов измерений прибора до 75 В.

4. Изготовьте вольтметр на 75 В (пунктир схемы 8) с использованием вольтметра на 3 В и магазина сопротивлений P33. В этом случае при последовательном соединении  $R_\delta$  и  $r_V$  сумма падений напряжений на этих сопротивлениях равна величине входного (измеряемого) напряжений  $U = U_\delta + U_V$ .



5. Установите величину добавочного сопротивления. Определите цену деления вашего измерительного прибора. Проверьте его на другом источнике питания (УИП-2 выход  $50\text{ В}$ ). Сравните показания вашего прибора и вольтметра на УИП-2 и запишите их.

6. Замените в вашем вольтметре на  $75\text{ В}$  измерительный прибор на амперметр на  $3\text{ мА}$ . Рассчитайте величину добавочного сопротивления по формуле (12), учитывая, что  $r_A = 80\text{ Ом}$ . Проведите измерения в соответствии с пунктом 5.

#### 4. Изготовление омметра.

Для измерения сопротивлений могут быть использованы амперметры или вольтметры, включенные в схему последовательно с источником постоянного напряжения и проградуированные в соответствующих единицах. Чтобы познакомиться с устройством омметра. Необходимо выполнить следующие задания.

##### Рабочая схема

1. Для изготовления омметра соберите схему (рис.9). ИП – источник питания,  $R$  - магазин Р33,  $R_{изм}$  - магазин Р32,  $mA$  - амперметр на  $3\text{ мА}$ . ВНИМАНИЕ!  $R$  должно быть достаточно большим, чтобы не сжечь миллиамперметр.

2. Замкните щупы 1-2 и подберите такое значение  $R$  на магазине Р33, чтобы произошло полное отклонение стрелки  $mA$ . Это соответствует  $R_{изм} = 0\text{ Ом}$ .

3. Подключите омметр к магазину Р33, проградуируйте его, составьте таблицу, постройте градуировочную кривую  $J_{дел} = f(R_{изм})$ .

4. По градуировочному графику определите число делений  $mA$  соответствующих округленным значениям сопротивлений. Начертите шкалу  $mA$ , на ней укажите шкалу делений омметра. Обратите внимание на неравномерность этой шкалы.

5. Измерьте сопротивление вольтметра на  $3\text{ В}$  и сравните с величиной  $r_V$ , полученной в разделе 3.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электрический ток? Каковы условия его существования в электрической цепи? В каких единицах измеряется сила тока?

2. Что называется потенциалом и разностью потенциалов электрического поля? В каких единицах они измеряются?

3. Что называется падением напряжения на участке цепи? В каких единицах и каким прибором можно его измерить?

4. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем? Что можно измерять такими приборами?

5. Чему пропорционально отклонение стрелки электроизмерительного прибора? В чем сходство между амперметром и вольтметром и в чем их различие? Как они включаются в электрическую схему и почему так?

6. Как можно расширить пределы измерений амперметра и вольтметра? Как рассчитывается добавочное сопротивление и сопротивление шунта? Начертите схемы их включения.

7. Что означает надпись  $3\text{ mA}$  на панели вольтметра на  $3\text{ B}$ ?

8. Объясните назначение предохранителя? Как они изготавливаются, почему перегорают? Запишите закон Джоуля-Ленца.

9. Что называют сопротивлением цепи, от чего оно зависит? Как можно измерить сопротивление? Расскажите о принципиальном устройстве омметра.

10. Пользуясь маркировкой на реостатах и магазинах сопротивлений, объясните, почему в схеме 3 (пункт 5 раздел 2) магазин  $R_{33}(R_1)$  необходимо заменить на реостат, а магазин, используемый в качестве шунта ( $R_{ш}$ ), заменять не нужно?