

**Министерство высшего и среднего специального образования  
Республики Узбекистан  
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского  
хозяйства**

---

---

**А. М. Плахтиев**

**Пособие  
к лабораторным работам  
по электротехническим  
материалам в  
приборостроении**

**Ташкент – 2020**

УДК 621.3 (0.75)

А.М. Плахтиев

Пособие к лабораторным работам по электротехническим материалам в приборостроении. Методическое пособие, Ташкент, 2020.

В методическом пособии приведены методические указания, общие рекомендации и программы подготовки и осуществления экспериментальных исследований электротехнических материалов, изучаемых студентами электротехнических специальностей в курсе «Электротехнические материалы в приборостроении».

Материал изложен в соответствии с методикой проведения лабораторных занятий, принятой в ТИИИМСХ, и предназначен студентам магистратуры.

Может быть полезным и студентам бакалавриата, а также аспирантам, научным сотрудникам и преподавателям, занимающимся разработкой учебных пособий к занятиям студентов электротехнических специальностей в электротехнических и физических лабораториях вузов.

Рецензенты: Шипулин Ю.Г. профессор кафедры «Системы обработки информации и управления» Ташкентского государственного технического университета, д.т.н.  
Байзаков Т.М. доцент кафедры «Электротехнологии и эксплуатация электрооборудования» Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, к.т.н.

*Утверждено к печати научно – методическим советом Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства.  
Протокол № 5 от 3 июля 2019 г.*

© - Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, 2020

## Предисловие

Предлагаемое пособие составлено в соответствии с методикой проведения занятий по электротехническим материалам в приборостроении, принятой на кафедре “Электротехника и мехатроника ” в Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, и предназначено студентам электрических специальностей вузов. Курс “Теоретические основы электротехники” по своему существу требует полного сочетания теории и практики. Для того, чтобы хорошо знать его, необходимо научиться самостоятельно решать разнообразные задачи, решение которых может быть получено, как известно, аналитическими или экспериментальными методами. Экспериментальные методы решения изучаются на лабораторных занятиях. Экспериментальные методы решения изучаются на лабораторных занятиях.

Цель лабораторного практикума:

- дать возможность подробно ознакомиться с устройством и характеристиками наиболее важных электротехнических приборов с целью их использования для снятия основных характеристик различных электротехнических материалов, составляющих предмет лабораторной практики;
- помочь овладеть практическими способами управления и настройки электротехнических устройств на заданный режим;
- научить технике проведения экспериментального исследования различных материалов или промышленных образцов электротехнических устройств;
- выработать умение выносить суждение о рабочих свойствах и степени пригодности исследованных электротехнических материалов и устройств для решения тех или иных практических задач.

Необходимо, чтобы еще до прихода в лабораторию каждый участник занятия обязан получить представление о сущности процессов, происходящих в объектах исследования, и экспериментальных методах их анализа. Тогда он сможет осмысленно и целеустремленно участвовать в поиске экспериментального решения поставленных задач. Все это студенты могут проделать или отыскать самостоятельно, руководствуясь рабочим

заданием к лабораторному занятию и учебной литературой, указанной в программе курса в качестве основной.

В соответствии с такой установкой и было подготовлено предлагаемое учебное пособие. В нем содержатся общие рекомендации и конкретные задания по осуществлению экспериментальных исследований электротехнических материалов с помощью измерительных приборов и устройств, а также и элементов электроники с учетом требований техники электробезопасности; приведены программы по выполнению рабочих заданий, пояснения к работе, предусматривающие обращение к учебникам; даны технические характеристики объектов исследований и средств измерений, предоставляемых в распоряжение участников занятий.

Приведенные лабораторные работы охватывают лишь самые существенные вопросы изучения электротехнических материалов.

Для проведения лабораторных работ необходимо знание физики, высшей математики, теоретической механики, теории электрических цепей и основ электроники в объеме программ электротехнических и энергетических факультетов и институтов.

При изложении материала применена Международная система единиц (СИ).

При подготовке к выполнению или защите каждой лабораторной работы студенты должны, прежде всего, изучить соответствующие разделы рекомендуемой литературы, так как приводимые в каждой работе пояснения без глубокого предварительного изучения соответствующих разделов учебника недостаточны для понимания разбираемого материала. В пояснениях даются лишь основные теоретические положения, дополняющие учебник, разбирается работа универсального стенда и измерительной аппаратуры, акцентируется внимание на методических особенностях выполняемых экспериментов, проводится оценка погрешностей измерений, рассматриваются области применения электротехнических материалов.

При разработке тематики лабораторных занятий стремились поставить такие задачи, которые служили бы иллюстрациями практических применений приобретенных навыков проведения экспериментальных исследований и получения различных основных характеристик электротехнических материалов для устройств контроля, регулирования и исследования инженерно – физических систем. Одновременно с этим рабочие задания составлены с учетом возможности их выполнения как на универсальных лабораторных стендах, так и с применением простых доступных устройств и приборов.

# **I. Общие рекомендации по проведению лабораторного эксперимента**

## **ПРАВИЛА**

### **выполнения работ в лаборатории электротехнических материалов**

1. Для выполнения работ студенты объединяются в бригады по 2-4 человека.
2. К предстоящей лабораторной работе они должны заранее подготовиться, ознакомившись с описанием работы и рекомендованной литературой.
3. Преподаватель проверяет подготовленность студентов, наличие у каждой бригады “Тетради протоколов” с заготовленными таблицами, схемами и расчетными формулами. Неподготовленные студенты к работе не допускаются.
4. Получив разрешение преподавателя, студенты приступают к монтажу схемы на закрепленном за ними рабочем месте.

Запрещается переносить приборы с одного рабочего места на другое.

5. Смонтированная схема проверяется и обсуждается всеми членами бригады, после чего предъявляется на проверку преподавателю. Не допускается включение схемы без разрешения преподавателя. Студенты несут материальную ответственность за повреждение приборов, произошедшее по их вине.
6. Получив разрешение преподавателя, студенты приступают к экспериментам, которые проводят с соблюдением правил техники безопасности. По окончании всех измерений, предусмотренных программой работы, производятся необходимые расчеты. Результаты наблюдений и вычислений вносятся в таблицы протокола.
7. По окончании работы протокол предъявляется преподавателю. Только после подписи протокола преподавателем студенты разбирают схему. Они должны аккуратно поставить приборы на соответствующие места и отнести соединительные проводники к месту хранения.
8. На основании своего протокола студенты производят обработку результатов наблюдений (выполняют расчеты, строят графики и диаграммы)

и оформляют отчеты. Только после сдачи отчетов по предыдущей работе студенты допускаются к следующей.

### **Указания к монтажу схем лабораторных работ**

1. Монтаж должен производиться в полном соответствии со схемой, приведенной в описании лабораторной работы, и паспортом к работе.

2. При монтаже схемы различные элементы ее (реостат, катушки и т. д.) и измерительные приборы следует расположить на рабочем месте так, чтобы:

а) соединительные проводники были наиболее короткими и возможно проще располагались по схеме, не переплетаясь между собой и не закрывая измерительных приборов;

б) удобно было производить отсчеты по измерительным приборам и на показания последних не оказывали влияния магнитные поля, создаваемые отдельными участками схемы;

в) регулирующие аппараты (реостаты, автотрансформаторы и т. д.) и все другие элементы схемы, с которыми приходится производить частые манипуляции при выполнении работы, были расположены в удобных для этого местах.

3. Сначала следует собирать основную токовую цепь схемы. В цепях постоянного тока и однофазных цепях переменного тока токовую цепь следует начинать собирать от одного из зажимов рубильника и соединять элементы схемы в той же последовательности, в которой они расположены на схеме в описании, пока цепь не будет подключена к другому зажиму рубильника.

В трехфазных цепях следует собирать токовую цепь каждой фазы, начиная от соответствующего зажима рубильника вдоль линии фазы.

4. После сборки основной токовой части схемы следует перейти к подключению цепей напряжения измерительных приборов и других вспомогательных ответвлений.

5. Следует по возможности избегать подключений к одному из зажимов большого числа соединительных проводников, размещая их, если возможно, на других равноценных по схеме зажимах или используя колодки с несколькими зажимами.

6. В монтаже схемы должны принимать участие все студенты бригады, но не одновременно, а по очереди.

### **Проведение эксперимента**

Получив разрешение преподавателя на проведение лабораторного исследования, следует, руководствуясь ранее составленной рабочей схемой, немедленно приступить к сборке электрических цепей на рабочем месте. Рекомендуется придерживаться следующего порядка, значительно облегчающего сборку элементов рабочего стенда и гарантирующего от многих ошибок при соединениях. Общим правилом является соединение сначала участков цепи с последовательным соединением элементов испытуемого устройства и приборов, а затем параллельных ветвей как объекта исследования, так и приборов. В последнюю очередь включают обмотки вольтметров и параллельные обмотки ваттметров.

Описанный прием позволяет сознательно подойти к оценке назначения каждого элемента цепи и тем самым правильно осуществить ее сборку.

Одновременно со сборкой цепей надо произвести маркировку измерительных приборов в соответствии с их условными обозначениями на предварительно составленной рабочей схеме соединений. Маркировку приборов на стенде осуществляют посредством бумажных или картонных бирок, которые заготавливает выполняющий лабораторное исследование.

Во избежание возможного возникновения больших токов в собранной цепи элементы регулирования потенциометров необходимо установить в положение, соответствующее минимуму напряжения на выходе, указатели лабораторных автотрансформаторов поставить в позицию “Нуль”, полностью ввести реостаты, в магнитопроводах дросселей создать минимальные воздушные зазоры, а тумблеры регулируемых конденсаторов установить в позиции, соответствующие минимуму емкости.

Собранную цепь следует обязательно показать для проверки преподавателю и только с его разрешения можно включить источник питания и произвести предварительное опробование цепи, чтобы убедиться в возможности проведения опыта при заданных пределах измерения величин. Нельзя приступать к измерениям, не будучи совершенно уверенным, что цепь собрана правильно.

Если при испытании цепи постоянного тока стрелка поляризованного прибора уходит за пределы шкалы в обратном направлении, надо отключить цепь и переключить подходящие к прибору провода.

При снятии характеристик недопустимо превышать номинальные значения токов и напряжений испытываемого электротехнического устройства, если нет особых указаний в описании лабораторной работы. В случае если стрелка какого-либо прибора выходит за пределы шкалы, надо немедленно отключить цепь от источника питания и либо заменить прибор, либо изменить условия эксперимента (уменьшить напряжение питания, увеличить диапазон изменения сопротивления и т. д.).

После предварительного опробования цепи, проверки или оценки диапазона изменения переменного параметра необходимо наметить последовательность отдельных манипуляций и отсчетов, а затем приступить к наблюдениям.

Отсчеты рекомендуется производить по возможности одновременно по всем приборам. Следует избегать перерыва начатой серии наблюдений и во всех случаях, когда возникает сомнение в правильности полученных наблюдений, необходимо повторить их несколько раз.

Результаты всех первичных наблюдений и отсчетов записывают в таблицу протокола испытаний. Запись отсчетов должна вестись в точном соответствии с показаниями измерительных приборов, без всяких пересчетов в уме, хотя бы простейших. Так, если отсчет делается по шкале многопредельных приборов, то записываются деления шкалы без умножения их на цену деления, иначе ошибка при пересчете так исказит запись, что окажется невозможным установить, где промах: в наблюдении или при пересчете.

Протоколы наблюдений являются единственным документальным следом, остающимся от измерения, поэтому от точной и своевременной фиксации его в таблицах результатов отсчета в значительной степени зависит успех экспериментальной работы.

При переходе от одного этапа исследования к другому необходимо каждый раз обращаться к преподавателю за проверкой правильности полученных результатов, которые представляют в виде таблиц протокола или графиков.



К следующему этапу работы разрешается преступать только после проверки и визирования протокола преподавателем.

## **Обработка результатов и оформление отчета**

Каждый студент самостоятельно должен обработать данные опыта и подготовить отчет о проделанной работе.

### **Форма титульного листа**

Министерство высшего и среднего специального образования Республики  
Узбекистан

Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского  
хозяйства

Кафедра «Электротехника и мехатроника»

Предмет “ Пособие к лабораторным работам  
по электротехническим материалам в приборостроении”

## **О т ч е т**

по работе № \_\_\_\_\_  
(полное наименование работы)

Работа выполнена \_\_\_\_\_  
(дата выполнения)

Студент \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_  
(фамилия и инициалы) (№ группы)

Отчет принят \_\_\_\_\_  
(дата принятия отчета)

Преподаватель \_\_\_\_\_

Отчет должен содержать рабочее задание, паспортные данные объекта исследования, схемы соединения элементов объекта исследования с включенными измерительными приборами, таблицы с записью результатов эксперимента, графики зависимостей и векторные диаграммы,

пояснительные рисунки, решения задач, а также спецификацию измерительных приборов, составленную в виде табл. 1:

Таблица 1

Наименование прибора	Условное обозначение на схеме	Система	Предел измерений	Класс точности	Заводской номер	Примечание

После проведения эксперимента должны быть сделаны основные выводы, полученные в результате исследования.

Каждая схема должна быть сопровождена соответствующей таблицей записей результатов измерений и графиком, иллюстрирующим изучаемые зависимости. В таблице обязательно следует указывать, в каких единицах измерены исследуемые величины. Все таблицы необходимо снабдить заголовками, характеризующими проводимый опыт.

На основании результатов измерений проводится их окончательная обработка. В условиях методического пособия к лабораторным работам во всех работах обработку результатов эксперимента можно вести с помощью калькулятора. Измеренные и вычисленные величины заносят в одну таблицу, составленную по прилагаемой форме:

Таблица 2

Измеренные величины						Расчетные величины			
$I_1$	$U_1$	$I_2$		$P$		$\cos \varphi$	$Z$	$C$	$L$
А	В	дел	А	дел	Вт	-	Ом	мкФ	мГн

Вычеркивание схем и таблиц рекомендуется производить карандашом, но обязательно с помощью линейки.

Особое внимание надо уделять графикам зависимостей между величинами, ибо они являются наглядным результатом работы, графическим ответом на вопросы, поставленные экспериментатором.

Графики следует вычерчивать по координатным сеткам, размером не менее 100 · 100 мм, желательнее на миллиметровой бумаге; по осям приводят стандартные условные буквенные обозначения величин и единиц их измерения, указывают деления с одинаковыми интервалами, соответствующими откладываемым в принятых единицах измерения, или в десятичных кратных либо дольных единицах.

Числовые отметки у масштабных делений принято выбирать такими, чтобы они составляли  $10 \pm^n$ ,  $2 \cdot 10 \pm^n$  или  $5 \cdot 10 \pm^n$  от тех единиц, в которых выражены величины, откладываемые по осям. Например, 10 мА; 0,02 Ом; 500 Вт и т.д.

При построении графиков вдоль оси абсцисс в выбранном масштабе откладывают независимую переменную. Условное буквенное обозначение этой величины рекомендуется ставить под осью, а наименование единиц измерения либо их десятичных кратных или дольных единиц – после обозначения величины. Вдоль оси ординат масштабные цифры ставят слева от оси, наименование или условное обозначение откладываемых величин – также слева от оси и под этим обозначением указывают единицу измерения. Если в одних координатных осях строят несколько графиков функций одной независимой переменной, то следует провести дополнительные шкалы параллельно основным, каждую со своим масштабом. Если величины по осям абсцисс и ординат отложены в определенном масштабе с числовыми отметками, то не следует ставить стрелок, указывающих направление роста численных значений величин. Наименование единиц измерения дается без скобок.

При вычерчивании графиков надо учитывать, что всякое измерение имеет случайные погрешности (истинное значение измеряемой величины остается неизвестным и вместо него принимают некоторое ее значение, признаваемое за наиболее приближающееся к истинному). Поэтому не следует проводить кривые через все экспериментальные точки. На графике необходимо проводить плавные непрерывные кривые, которые проходят среди экспериментальных точек.

Отступление некоторых точек от плавной кривой называют “разбросом точек”; величина разброса при наблюдении закономерных явлений определяет тщательность проведения эксперимента.

В некоторых случаях графики изображают в виде отрезков прямых, соединяющих опытные точки и образующих ломаные линии. Такие графики отражают влияние различных факторов, не поддающихся точному учету.

При наличии нескольких кривых на одном графике точки, соответствующие опытным данным и относящиеся к различным кривым, должны быть отмечены различными условными значками (крестиками, кружками и т.п.).

Каждый график обязательно должен быть снабжен таким лаконичным текстом, чтобы любой достаточно подготовленный читатель мог легко понять, какую зависимость характеризует построенный график.

На последней странице отчета следует указать дату оформления и поставить подпись.

Отчет в целом должен быть составлен таким образом, чтобы для понимания содержания и результатов проведенной работы не требовалось дополнительных устных пояснений.

## **II. Рекомендации по электрическим измерениям в лабораторных работах**

Выполнение любой лабораторной работы в большинстве случаев сопровождается измерением тока, напряжения и других электрических величин, что позволяет постигнуть сущность исследуемого физического процесса и выявить характеристики того или иного электротехнического устройства. Для обеспечения правильности полученного результата необходимо грамотно использовать имеющиеся в лаборатории средства электрических измерений, уметь оценивать численное значение измеряемой величины с указанием точности полученного результата измерений.

К основным средствам электрических измерений, представленным в лаборатории, относятся: показывающие стрелочные переносные и щитовые приборы – амперметры, вольтметры, ваттметры; цифровой вольтметр; электроннолучевой осциллограф и генератор сигналов.

## Методика определения точности измерения электрических величин

Всякая физическая величина, в том числе и электрическая, характеризуется как своими свойствами, т. е. качественно, так и количественно.

Количественная характеристика оценивается числовым выражением величины, называемым значением величины, которое получается в результате измерения.

При проведении измерений необходимо получить значение измеряемой величины с заданной точностью.

Результат измерения должен быть выражен не одним числом, а двумя числами, только такое представление результата является технически правильным. В результате измерения требуется получить не просто число, а число, именованное оценкой точности полученного значения измеряемой величины, например:

$$I = 4A \pm 0,05A.$$

Первое слагаемое соответствует показанию прибора, а второе – возможному диапазону погрешности, обусловленной классом точности прибора.

Следует различать точность прибора (средства измерения) и точность измерения определенной величины. Известно, что точность прибора оценивается следующими погрешностями:

*абсолютной погрешностью*

$$\Delta = \pm a,$$

где  $\Delta$  – разность между измеренной прибором величиной  $x$  и истинным значением измеряемой величины  $x_0$ :  $\Delta = x - x_0$ ;

*приведенной погрешностью*

$$\gamma = \pm 100 \Delta / x_N \%,$$

где  $\gamma$  – предел допускаемой приведенной погрешности в процентах от нормирующего значения  $x_N$ .

Величина  $x_N$  определяется видом шкалы прибора.

Точность измерения оценивается относительной погрешностью

$$\delta = \pm 100 \Delta / x \%,$$

где  $\delta$  – предел допускаемой относительной погрешности в процентах от значения измеряемой величины  $x$ .

Всем электромеханическим приборам в зависимости от пределов допускаемых погрешностей присваиваются классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Зная указанный на шкале прибора класс точности  $K$  и уравнения

$$\gamma = K = \pm 100 \Delta / x_N \%, \quad \delta = \pm 100 \Delta / x \%,$$

можно определить относительную погрешность измерения:

$$\delta = \pm K x_N / x.$$

Результат измерения в общем виде выражается формулой

$$X = x ( 1 \pm \delta ).$$

Так как почти всегда  $x < x_N$ , то  $\delta > \gamma$ . Для повышения точности измерения не обязательно выбирать прибор более высокого класса точности, очень важно правильно подобрать предел измерения прибора. Прибор надо выбирать так, чтобы предел измерения был близок к измеряемому значению.

**Пример.**

$$\text{I A}_1 \quad K = 0,5 \quad I_H = 25 \text{ A} \quad I = 2,5 \text{ A}$$

$$\text{II A}_2 \quad K = 1,0 \quad I_H = 5 \text{ A} \quad I = 2,5 \text{ A}$$

Тогда  $\delta_1 = 0,5 \cdot 25 / 2,5 = 5\%$ ,  $\delta_2 = 1 \cdot 5 / 2,5 = 2\%$ .

Результаты измерения:

первым амперметром –  $I_1 = 2,5 \pm 2,5 \cdot 5 / 100 = (2,5 \pm 0,125) \text{ A}$ , или, пользуясь правилами округления (см. ниже),  $I_1 = (2,5 \pm 0,1) \text{ A}$ , т. е. вероятное значение тока лежит в интервале  $I_1 = (2,6 \div 2,4) \text{ A}$ ;

вторым амперметром –  $I_2 = 2,5 \pm 2,5 \cdot 2 / 100 = (2,5 \pm 0,05) \text{ A}$ , или окончательно,  $I_2 = (2,5 \pm 0,05) \text{ A}$ , т. е. вероятное значение тока лежит в интервале  $I_2 = (2,55 \div 2,45) \text{ A}$ .

Как видно, измерение вторым амперметром более низкого класса точности оказалось более точным.

### Правила округления

При вычислении результата измерений следует соблюдать правила округления.

1. Погрешность дается только одной значащей цифрой.
  2. Числовое значение результата должно оканчиваться цифрой или нулем того же десятичного разряда, что и погрешность.

#### *Операция округления.*

1. Лишнее значение цифры у целых чисел заменяются нулями.  
Получено  $L = (123357 \pm 678)$  мГн. Надо записать  $L = (123400 \pm 700)$  мГн.
2. Лишнее значение цифры у десятичных дробей отбрасываются.  
Получено  $L = (123,502 \pm 0,03)$  мГн. Надо записать  $L = (123,50 \pm 0,03)$  мГн.

3. Если первая (слева) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, то оставляемые цифры не изменяются.

Получено  $L = (421,33 \pm 0,95)$  мГн. Надо записать  $L = (421 \pm 1)$  мГн.

4. Если эта цифра выше 5 или равна 5 и последующие цифры не нули, то последняя (справа) цифра увеличивается на единицу.

Получено  $L = (237,465 \pm 0,0127)$  мГн. Надо записать  $L = (237,50 \pm 0,01)$  мГн.

5. Если она равна 5 с последующими за ней нулями, то округление производится до ближайшего четного числа: если последняя (справа) цифра четная, то она остается без изменения, а нечетная – увеличивается на единицу.

а) Получено  $L = (123,500 \pm 1)$  мГн. Надо записать  $L = (124 \pm 1)$  мГн.

б) Получено  $L = (124,51 \pm 1)$  мГн. Надо записать  $L = (125 \pm 1)$  мГн.

Приведенной погрешностью оценивается результат только прямых измерений. Результат косвенных измерений следует вычислять по формулам, зависящим от функциональной связи между искомой величиной и величинами, являющимися результатом прямых измерений. Наиболее часты в электротехнике следующие измерения:

### На постоянном токе

Измерение сопротивления методом амперметра – вольтметра.

Так как  $R = U/I$ , то погрешность измерения  $\Delta R/R = \Delta U/U + \Delta I/I$ , т.е. относительная погрешность измерения сопротивления равна сумме относительных погрешностей измерения напряжения  $\delta_U$  и тока  $\delta_I$ .

**Пример.** Вольтметр  $U_N = 100$  В,  $K_U = 1,5$  показал  $U = 80$  В. Амперметр  $I_N = 5$  А,  $K_I = 1$  показал  $I = 4$  А.

Определить сопротивление, пренебрегая влиянием внутренних сопротивлений приборов:

$$\delta_V = K_U \cdot U_N / U = 1,5 \cdot 100 / 80 = 1,875 \%,$$

$$\delta_I = K_I \cdot I_N / I = 1 \cdot 5 / 4 = 1,25 \%,$$

$$\delta_R = \delta_V + \delta_I = 3,125 \%,$$

$$R = U/I \pm \delta_R = 80/4 \pm 3,125 \% = 20 \pm 3,125 \cdot 20/100 = (20 \pm 0,625) \text{ Ом.}$$

$$\text{Ответ: } R = (20,0 \pm 0,6) \text{ Ом.}$$

### На переменном токе

1. Измерение коэффициента мощности  $\cos \varphi$  с помощью амперметра, вольтметра, ваттметра.

Так как  $\cos \varphi = P / UI$ , то  $\delta_\varphi = \Delta(\cos \varphi) / \cos \varphi = \Delta P / P + \Delta U / U + \Delta I / I = \delta_P + \delta_V + \delta_I$ .

**Пример.** Вольтметр  $U_N = 75$  В,  $K_U = 1,5$  показал  $U = 50$  В. Амперметр  $I_N = 2,5$  А,  $K_I = 1$  показал  $I = 1,5$  А. Ваттметр  $P_N = 75$  Вт,  $K_P = 0,5$  показал  $P = 50$  Вт.

Определить  $\cos \varphi$ , пренебрегая влиянием внутренних сопротивлений приборов:

$$\delta_V = K_V \cdot U_N / U = 1,5 \cdot 75 / 50 = 2,25\%,$$

$$\delta_I = K_I \cdot I_N / I = 1 \cdot 2,5 / 1,5 = 1,67\%,$$

$$\delta_P = K_P \cdot P_N / P = 0,5 \cdot 75 / 50 = 0,75\%,$$

$$\delta_\varphi = \delta_V + \delta_I + \delta_P = 2,25 + 1,67 + 0,75 = 4,67\%,$$

$$\cos \varphi = P / UI \pm \delta_\varphi = 50 / 50 \cdot 1,5 \pm 4,67\% = 0,67 \pm 4,67 \cdot 0,67 / 100 =$$



$$= 0,67 \pm 0,0314.$$

$$\text{Ответ: } \cos\varphi = 0,67 \pm 0,03.$$

2. Измерение параметров двухполюсника с помощью амперметра, вольтметра и ваттметра.

Так как  $Z = U / I$ ;  $R = P / I^2$ ;  $X = \sqrt{Z^2 - R^2}$ , то  $\delta_Z = \delta_U + \delta_I$ ,  $\delta_R = \delta_P + 2 \delta_I$ ,

$$\delta_X = [2 \delta_Z + 2 \delta_R] = \delta_U + \delta_P + 2\delta_I.$$

Используя данные предыдущего численного примера, получим:

$$\delta_Z = 2,25 + 1,67 = 3,93\%,$$

$$\delta_R = 0,75 + 2 \cdot 1,67 = 4,09 \%,$$

$$\delta_X = 2,25 + 0,75 + 2 \cdot 1,67 = 6,34\%,$$

$$\begin{aligned} Z = U / I \pm \delta_Z &= 50 / 1,5 \pm 3,93\% = 33,2 \pm 33,2 \cdot 3,93 / 100 = \\ &= (33,2 \pm 1,3) \text{ Ом}, \end{aligned}$$

$$R = P / I^2 = 50 / 1,5 \pm 4,09 \% = 22,2 \pm 22,2 \cdot 4,09 / 100 = (22,2 \pm 0,905) \text{ Ом},$$

$$R = (22,2 \pm 0,9) \text{ Ом},$$

$$\begin{aligned} X = \sqrt{(U/I)^2 + (P/I^2)^2} \pm \delta_X &= \sqrt{33,2^2 - 22,2^2} \pm 6,34\% = \sqrt{610} \pm 6,34\% = \\ &= 24,8 \pm 24,8 \cdot 6,34 / 100 = (24,8 \pm 1,5) \text{ Ом}, \end{aligned}$$

$$X = (24,8 \pm 1,5) \text{ Ом}.$$

По причинам, вызвавшим погрешность, все погрешности могут быть разделены на *систематические* и *случайные*. Основная погрешность прибора содержит обе эти погрешности.

Систематическую погрешность прибора или измерения можно, как правило, уменьшить путем введения поправки или устранения причин, ее вызвавших, либо специальными методами, применяемыми при точных измерениях.

Случайная же погрешность может быть выявлена только многократными измерениями одной и той же величины и расчетами при помощи уравнений статистической математики с привлечением теории вероятностей.

Случайную погрешность следует определять только тогда, когда заведомо известно, что она больше систематической погрешности, так как систематическая погрешность не может быть уменьшена с помощью многократных измерений.

При выполнении приведенных лабораторных работ студенческого практикума принимается, что случайные погрешности малы, поэтому измерения проводят однократно с последующей оценкой относительной погрешности.

### **Рекомендации по выбору типа и места включения измерительных приборов**

Представленные в лабораторных работах приборы позволяют произвести измерения тока, напряжения и мощности методом непосредственной оценки, а также сопротивления, емкости, индуктивности и коэффициента мощности косвенным методом.

#### **Измерения в цепях постоянного тока**

В цепях постоянного тока могут работать как магнитоэлектрические, так и электромагнитные приборы. При работе с магнитоэлектрическим прибором зажим “+” прибора подключается к положительному зажиму источника питания.

Прибор следует выбрать по пределу измерения так, чтобы он был близок к значению измеряемой величины.

При точных измерениях необходимо следить за тем, чтобы включение прибора не вызывало заметного искажения режима работы исследуемой цепи, для этого нужно знать потребляемую прибором мощность.

Чем больше эта мощность, тем сильнее искажается режим цепи при включении прибора. Особенно сильно это может сказаться при измерениях в маломощных цепях. Потребление вольтметров часто характеризуют также величиной тока полного отклонения (при номинальном значении напряжения) или сопротивлением цепи прибора в Омах на 1В номинального напряжения.

*При измерении тока* амперметр и миллиамперметр включают в цепь последовательно с исследуемым объектом. Если сопротивление прибора ( $R_A$ ) соизмеримо с входным сопротивлением измерительной цепи относительно

зажимов прибора ( $R_{вхА}$ ), то это может внести погрешность в результат измерений. Такая погрешность называется погрешностью метода, она равна:

$$\delta_I = -1/(1 + R_{вхА}/R_A).$$

*При измерении напряжения* вольтметр и милливольтметр включают параллельно исследуемому объекту. В этом случае тоже может возникнуть погрешность метода, если сопротивление прибора ( $R_V$ ) окажется соизмеримым с входным сопротивлением измерительной цепи относительно зажимов прибора ( $R_{вхV}$ ); эта погрешность равна:

$$\delta_V = -1/(1 + R_{вхV}/R_V).$$

Погрешности метода  $\delta_I$  и  $\delta_V$  могут не приниматься в расчет, если их величина в 5 раз меньше допускаемой погрешности прибора, определяемой его классом точности.

Внутренние сопротивления амперметров составляют десятые и сотые доли Ома, миллиамперметров – единицы Ом, вольтметров – сотни и тысячи Ом, милливольтметров – десятки Ом. Их можно определить по данным, указанным на шкале прибора. Наиболее точно ток и напряжение могут быть измерены компенсационным методом.

*Измерение сопротивления* может быть произведено косвенным методом при помощи амперметра (миллиамперметра) и вольтметра (милливольтметра). Точнее малые сопротивления можно измерить одинарным мостом по четырехзажимной схеме или двойным мостом, средние сопротивления – одинарным мостом (обычное включение), большие сопротивления – мегомметром. Средние сопротивления можно измерить также с помощью омметра (точность низкая).

### **Измерения в цепях переменного тока**

В цепях переменного тока используются главным образом электромагнитные и электродинамические приборы.

Прибор следует выбрать по пределу измерения так, чтобы он был близок к значению измеряемой величины. Здесь также могут возникать погрешности метода измерения, определяемые соотношением комплексных сопротивлений прибора и цепи, но в цепях переменного тока обычно они заведомо малы. Особенно ничтожно малым потреблением мощности характеризуются электростатические и электронные вольтметры.

В цепях синусоидального и несинусоидального токов электромагнитные и электродинамические приборы показывают действующее значение измеряемой величины.

*При измерении малых переменных токов и напряжений* иногда указанные приборы не обеспечивают требуемой чувствительности. Тогда следует пользоваться выпрямительными приборами. При этом нужно обратить внимание на то, что их шкалы градуируются в действующих значениях синусоидального тока или напряжения (а измеритель магнитоэлектрический, реагирующий на средние значения). Поэтому в цепях синусоидального тока эти приборы правильно показывают действующие значения тока или напряжения, но в цепях несинусоидального тока с ними надо обращаться с осторожностью. В последнем случае по выпрямительному прибору можно вычислить только среднее значение измеряемого тока (напряжения), разделив показания прибора ( $A$ ) на коэффициент формы синусоиды:

$$I_{cp} = A/1,11.$$

*При измерениях активной мощности* в однофазных цепях с помощью электродинамического ваттметра необходимо следить за правильным включением прибора в схему: оба его генераторных зажима должны быть включены вместе, последовательная (токовая) обмотка включается последовательно с объектом измерения, а параллельная обмотка – на зажимы исследуемого объекта или участка цепи.

При измерении малых значений активной мощности и отсутствии специального малокосинусного ваттметра можно воспользоваться косвенным методом измерения, например, методом трех вольтметров.

*Измерение реактивной мощности и коэффициента мощности* в однофазных цепях можно выполнить косвенным методом, используя показания амперметра ( $I$ ), вольтметра ( $U$ ) и ваттметра ( $P$ ):

$$Q = \sqrt{(UI)^2 - P^2},$$

$$\cos\varphi = P/UI.$$

*При измерении активной мощности* в трехфазных трехпроводных цепях (при симметричном и несимметричном приемниках) необходимо использовать метод двух ваттметров. При этом следят за правильным включением приборов в схему: оба генераторных зажима каждого из ваттметров соединяют вместе и включают на зажимы  $A$  и  $C$  источника питания, тогда

негенераторные зажимы обмоток напряжения следует включать на свободную фазу *B* источника питания. Негенераторные зажимы последовательных обмоток обоих ваттметров подключают к соответствующим фазным нагрузкам. Активная мощность трехфазного приемника определяется алгебраической суммой показаний ваттметров

$$P_{\text{пр}} = \pm A_1 \pm A_2.$$

Реактивную мощность симметричного приемника в трехфазных трехпроводных цепях можно определить по показаниям ваттметров, включенных по описанной схеме:

$$Q = \sqrt{3} [(\pm A_1) - (\pm A_2)],$$

где  $A_1$  – показания ваттметра в фазе *C*;  $A_2$  – показания ваттметра в фазе *A*.

Характер нагрузки симметричного приемника в этом случае можно определить из соотношения

$$\text{tg}\varphi = \sqrt{3} \cdot ((\pm A_1) - (\pm A_2)) / (\pm A_1 \pm A_2).$$

### **III. Техника безопасности при работе с электрическими установками**

#### **Опасность поражения электрическим током**

Лабораторные стенды являются действующими электроустановками и при определенных условиях могут стать источником опасности поражения электрическим током. Дело в том, что тело человека обладает свойством электропроводности и при соприкосновении с двумя незаизолированными элементами установки, находящейся под напряжением, оно становится звеном электрической цепи. Возникший вследствие этого в теле человека электрический ток может вызвать ожог кожи (электрическую травму) или нанести тяжелые поражения нервной, сердечной и дыхательной систем организма (электрический удар).

Установлено, что как постоянный, так и переменный электрические токи при величине 0,05 А являются опасными, а при величине 0,1 А – смертельными. Понятно, что опасность возрастает с увеличением напряжения.

Чтобы оценить, при каком напряжении может быть нанесен серьезный ущерб здоровью человека или какое напряжение считать опасным для жизни, надо знать величину сопротивления тела человека. Однако это чрезвычайно

изменчивая величина, зависящая от свойств кожи человека, его душевного состояния и ряда других причин. Как показывают измерения, сопротивление тела человека может изменяться в широких пределах – от 700 до нескольких десятков тысяч Ом. Нетрудно подсчитать, что напряжение даже в несколько десятков вольт ( $40 \div 60$  В) может при неблагоприятном стечении обстоятельств создать условия, когда возможен электрический удар. Поэтому следует всегда помнить о возможности поражения электрическим током и соблюдать необходимые меры предосторожности.

### **Правила электробезопасности во время лабораторных занятий**

1. Приступая к работе с электротехническими устройствами, помните об опасности поражения электрическим током и будьте осторожны.

2. Прежде чем приступать к соединению устройств, расположенных на стенде, убедитесь, что контакты автоматов сетей разомкнуты, а указатели положения элементов регулирования лабораторных автотрансформаторов и источников питания расположены в позиции “Нуль”.

3. Нельзя проверять пальцами наличие напряжения между выводами источников питания или линейных проводов сетей: для этого служит вольтметр или контрольная лампа.

4. Помните, что отключенный конденсатор может сохранять опасный остаточный заряд и не забывайте разрядить его до включения в цепь.

5. Убедитесь в исправности изоляции соединительных проводов. Не пользуйтесь проводами без наконечников или штырей.

6. При сборке цепей избегайте пересечения проводов и обеспечьте высокую плотность контактов всех разъемных соединений. Неиспользуемые провода уберите с монтажных панелей в отведенное для них место.

7. При сборке цепей силового понижающего трансформатора помните об опасности ошибочного соединения выводов обмотки низшего напряжения с проводами сети.

8. Включать автоматы сетей и проводить первое опробование цепей с регулируемыми источниками питания можно только с разрешения руководителя лабораторного занятия.

9. Не прикасайтесь к неизолированным элементам соединительных и коммутационных устройств, находящихся под напряжением.

10. Особую осторожность соблюдайте при исследовании участков цепей с последовательным соединением дросселей и конденсаторов.

11. Категорически запрещается размыкать цепь вторичной обмотки трансформатора тока, если его первичная обмотка включена в сеть.

12. Прежде чем разбирать цепи или производить любые пересоединения в них, убедитесь, что контакты автоматов сети разомкнуты, источники питания отключены.

13. Обнаружив любую неисправность в электротехническом устройстве, находящемся под напряжением, немедленно отключите автомат сети и сообщите об этом руководителю лабораторного занятия.

14. Замену и установку плавкой вставки предохранителя производите при отключенном автомате и только с разрешения руководителя лабораторного занятия.

## Лабораторная работа № 1

### Исследование магнитного гистерезиса материалов бесконтактных ферромагнитных преобразователей систем контроля и управления

**Цель работы.** Научиться опытным путем получать основную кривую намагничивания и петлю магнитного гистерезиса, исследовать магнитные свойства сердечника, изготовленного из электротехнической стали, выявить степень насыщения сердечника, определить остаточную магнитную индукцию и коэрцитивную силу.

#### Пояснения к работе

Свойства ферромагнитных веществ удобно отражать графически в виде основной кривой намагничивания (рис. 1.1) и петли магнитного гистерезиса (рис. 1.2). Существует несколько способов получения этих графиков. В лабораторной работе используется способ с применением электронного осциллографа (рис. 1.3).

#### Схема электрической цепи

Для исследования основных характеристик материала используется электрическая схема, приведенная на рис. 1.3.

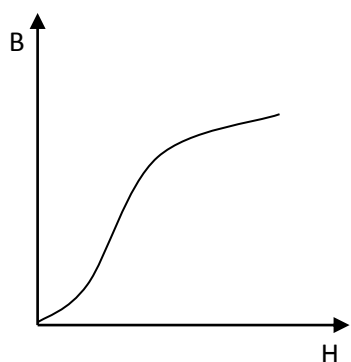


Рис. 1.1

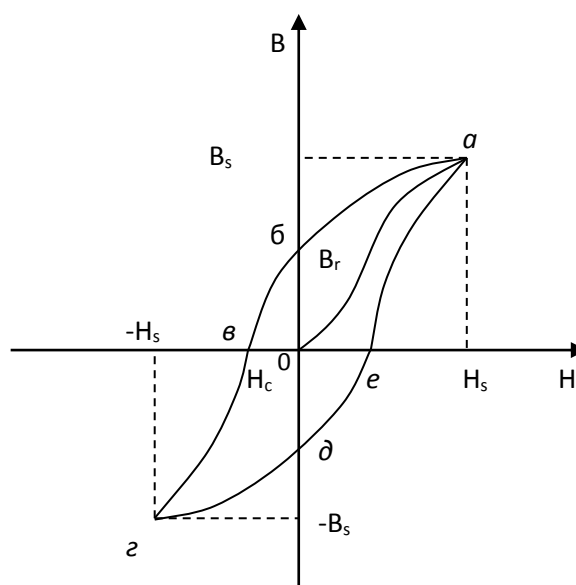


Рис. 1.2

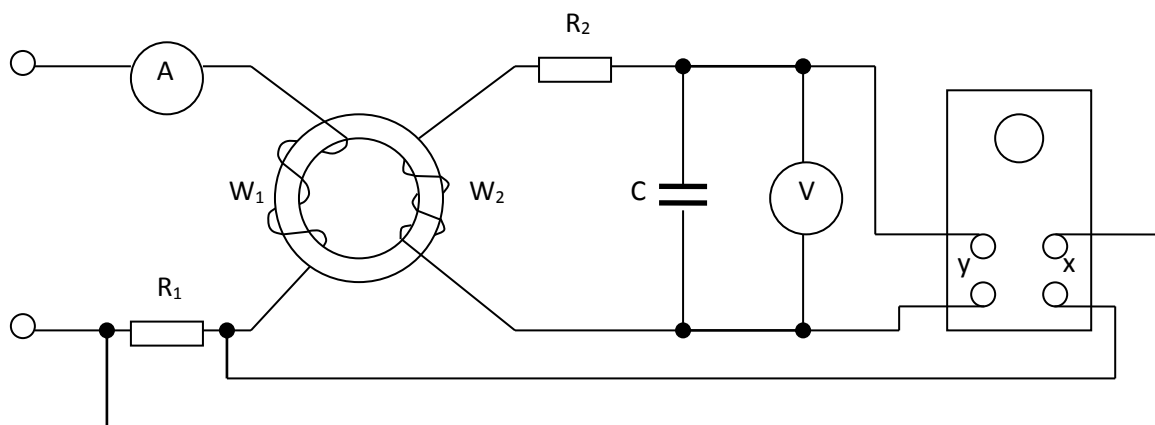


Рис. 1.3

На образец, изготовленный из исследуемого ферромагнитного материала, наложены две обмотки: намагничивающая  $W_1$  и измерительная  $W_2$ . Цепь питается переменным током. Если на вертикально отклоняющие пластины осциллографа подать напряжение  $U_c$  с зажимов конденсатора, а на горизонтально отклоняющие пластины — напряжение  $U_{R1}$  с резистора  $R_1$ , то на экране появится петля магнитного гистерезиса, так как  $U_c \equiv B$ , а  $U_{R1} \equiv H$ . Изменяя силу тока намагничивающей обмотки, можно получить различные степени насыщения сердечника и разные петли магнитного гистерезиса.

### Программа работы

1. Собрать цепь (см. рис. 1.3), подготовить осциллограф к работе.
2. Включить цепь. Для 4—5 значений силы тока в намагничивающей обмотке скопировать с экрана на кальку петлю гистерезиса, добиваясь насыщения магнитной системы. Для случая полного насыщения измерить силу тока  $I$  и напряжение на конденсаторе  $U_c$ . Результаты записать в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Из опыта				Из расчёта					
$U_c$	$I$	$x_{\max}$	$y_{\max}$	$B_s$	$H_s$	$m_B$	$m_H$	$B_r$	$H_c$
В	А	мм	мм	Тл	А/м	Тл/мм	А/мм	Тл	А/м

3. С помощью мерительного инструмента определить основные размеры исследуемого сердечника. Записать число витков катушек  $W_1$  и  $W_2$ .



## Обработка результатов опытов

1. По результатам опыта рассчитать максимальную индукцию насыщения по формуле:  $B_s = \sqrt{2}U_c R_2 C / W_2 S$ , где  $C$  — емкость конденсатора;  $S$  — площадь поперечного сечения сердечника.

2. Рассчитать максимальную напряженность насыщения сердечника по формуле:  $H_s = \sqrt{2}K_{II}W_1 I / l_{cp}$ , где  $l_{cp}$  — длина средней магнитной линии сердечника;  $K_{II}$  — поправочный коэффициент на несинусоидальность намагничивающего тока. Коэффициент  $K$  определяется по графику (рис. 1.4) при известной максимальной индукции насыщения.

3. Определить масштабы индукции  $m_B$  и напряженности  $m_H$  по формулам:  $m_B = B_s / y$  и  $m_H = H_s / x$ , где  $x$  и  $y$  — абсцисса и ордината точки  $a$  петли гистерезиса.

4. Определить остаточную магнитную индукцию  $B_r$  и коэрцитивную силу  $H_c$  для цикла насыщения:  $B_r = m_B \overline{ob}$  и  $H_c = m_H \overline{ov}$ . Результаты записать в табл. 2.1.

5. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности получения основной кривой намагничивания и петли гистерезиса; б) возможности измерения  $B_r$  и  $H_c$ ; в) принадлежности материала исследуемого сердечника к магнитомягким или магнитотвердым веществам. Выводы записать в отчет.

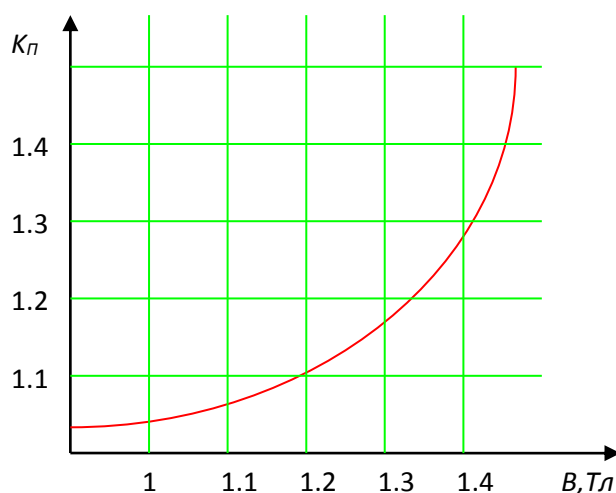


Рис. 1.4

## Методические указания

В таблицу 1.1 заносятся только данные, снятые из предельной петли гистерезиса.

## Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Как образуется магнитный момент и каковы его свойства?
3. Что такое намагниченность?
4. Каковы особенности магнитной проницаемости ферромагнетиков?
5. Изобразите график функции  $\mu_a = f(H)$ .
6. Изобразите основную кривую намагничивания и петлю магнитного гистерезиса для магнитотвердой стали.
7. Что такое  $B_r$  и  $H_C$ ?
8. Что такое магнитное насыщение?
9. Что такое потери на гистерезис?
10. Каковы особенности магнитотвердых и магнитомягких ферромагнетиков?

## Литература

1. Л.2, §9.1.

## Лабораторная работа № 2

### Определение удельного сопротивления проводниковых материалов элементов автоматики

**Цель работы.** Измерение удельного сопротивления проводников элементов преобразователей, а также проверка удельного сопротивления некоторых материалов.

#### Пояснения к работе

Различные материалы обладают различной способностью проводить электрический ток. Эта способность характеризуется удельным сопротивлением  $\rho$ , т. е. сопротивлением проводника длиной в 1 м и поперечным сечением 1 м<sup>2</sup>. Его размерность в системе СИ  $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$ . Обычно провода имеют сечение несколько квадратных миллиметров, поэтому часто удельное сопротивление выражают в Ом·мм<sup>2</sup>/м. Кроме удельного сопротивления используют обратную величину – удельную проводимость:  $\gamma = 1 / \rho$ . Их значения указываются в электротехнических

справочниках, например, медь имеет  $\rho = 0,0175 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , алюминий –  $\rho = 0,029 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ , сталь -  $\rho = (0,1 \div 0,2) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Для того чтобы определить  $\rho$  или  $\gamma$ , нужно иметь проводник с известными длиной и площадью поперечного сечения. Подключив его к источнику постоянного напряжения, измеряют силу тока в нем и падение напряжения на его концах. Затем рассчитывают сопротивление и удельное сопротивление по опытным данным:  $\rho_{\text{оп}} = RS/l$ , где  $R$  – сопротивление проводника, Ом;  $S$  – поперечное сечение проводника,  $\text{м}^2$ ;  $l$  – длина проводника, м.

### Схема электрической цепи

В работе используется электрическая схема, показанная на рис. 2.1. Она включает амперметр, вольтметр, реостат, источник постоянного тока и испытуемой проводник. Причем могут быть применены несколько проводников из разных материалов.

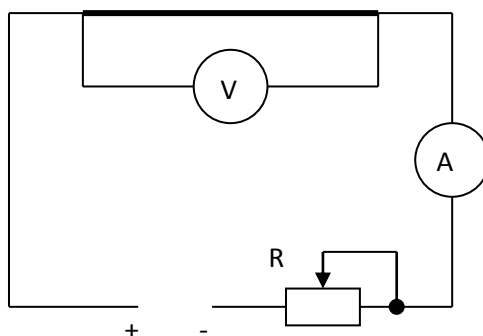


Рис. 2.1

### Программа работы

1. Собрать цепь (рис. 2.1) для измерения сопротивления проводников.
2. Изменяя сопротивление реостата  $R$  или напряжение источника при трех значениях тока, измерить напряжение на концах первого проводника. Результаты записать в табл. 2.1.
3. Повторить измерения для двух других проводников.
4. Рассчитать сопротивление проводника по формуле:  $R = U / (I - U / R_V)$ , здесь  $U$  – показания вольтметра, В;  $I$  – показание амперметра, А;  $R_V$  – сопротивление вольтметра, Ом;  $U / R_V$  – ток вольтметра при напряжении  $U$ .
5. По результатам трех опытов рассчитать среднее значение сопротивления  $R_{\text{ср}}$  для каждого проводника и сравнить его с табличным значением.
6. Рассчитать удельное сопротивление каждого проводника и сравнить его с табличным значением.

7. По проделанной работе сделать заключение о значении удельного сопротивления проводников. Выводы записать в отчет.

### Методические указания

Таблица 2.1

№	Материал	$l$	$D$	$S$	$U$	$I$	$R$	$R_{cp}$	$\rho_{оп}$	$\rho_{табл}$
		м	мм	мм <sup>2</sup>	В	А	Ом	Ом	Ом·м	Ом·м
1	Медь									
2										
3										
1	Алюминий									
2										
3										
1	Сталь									
2										
3										

Так как измерения должны быть максимально точными, то применяются лабораторные измерительные приборы класса точности 0,5 и выше. Амперметр ( рис. 2.1) показывает не только ток, протекающий по проводнику, но и ток вольтметра. Поэтому необходимо учесть влияние вольтметра на точность измерения. На его шкале указан ток, протекающий через обмотку при номинальном напряжении или внутренне сопротивление обмотки. Тогда можно рассчитать ток вольтметра, вычесть его из показаний амперметра и найти ток в проводнике. Ток вольтметра определяют по формуле:  $I_V = U / R_V$ .

На сопротивление влияет температура проводника, а протекающий во время испытания ток нагревает его. Поэтому сила тока должна быть не очень большой, а измерение следует производить достаточно быстро. По этой же причине исследуемый проводник не должен иметь изоляции, так как она ухудшает его охлаждение.

### Вопросы

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Что называют удельным сопротивлением?
3. В каких единицах измеряется удельное сопротивление и удельная проводимость?
4. Для чего необходимо знать удельное сопротивление?
5. Какие проводниковые материалы имеют малое удельное сопротивление? Где они применяются?
6. Написать формулу закона Ома для участка цепи, не содержащего источника э. д. с., и вывести из нее формулы для расчета  $R$  и  $U$ .
7. Написать формулу удельного сопротивления проводника.
8. Какие измерения нужно произвести, чтобы рассчитать удельное сопротивление?
9. Как рассчитать сопротивление и ток вольтметра?

### Литература

1. Л. 9, § 10.4.

## Лабораторная работа № 3

### Измерение мощности потерь энергии в ферромагнитных сердечниках бесконтактных измерительных преобразователей для систем контроля и управления качеством

**Цель работы.** Измерить мощность потерь в ферромагнитном сердечнике и выяснить их зависимость от магнитной индукции.

#### Пояснения к работе

1. В ферромагнитных телах, по которым замыкается переменный магнитный поток, возникают магнитные потери. Они складываются из двух частей: из потерь на гистерезис и потерь от вихревых токов.

Потери на гистерезис можно рассчитать по формуле

$$P_H = \sigma_H f B_{\max}^n m,$$

где  $\sigma_H$  — коэффициент гистерезиса, зависящий от материала сердечника;  $f$  — частота магнитного потока;  $B_{\max}$  — максимальная индукция;  $n$  — показатель степени, зависящий от магнитной индукции;  $m$  — масса сердечника.

Потери от вихревых токов равны

$$P_B = \sigma_B f^2 B_{\max}^2 m,$$

где  $\sigma_B$  — коэффициент, зависящий от сорта стали и толщины листов сердечника.

Часто измеряют и рассчитывают магнитные потери, не разделяя их по частям. Если магнитное поле изменяется с частотой 50 Гц, то потери можно рассчитать по формуле

$$P_M = p_{10/50} B_{\max}^2 m,$$

где  $p_{10/50}$  — удельные потери в сердечнике массой 1 кг при магнитной индукции  $B_{\max} = 1$  Тл, их величина приводится в справочниках.

Если известно число витков катушки  $w$ , надетой на сердечник с сечением  $S$  ( $\text{м}^2$ ), то можно рассчитать максимальное значение магнитной индукции  $B_{\max}$  для различных напряжений  $U$  по формуле:  $B_{\max} = U/4,44fwS$ .

2. В лабораторной работе мощность магнитных потерь измеряется с помощью ваттметра (рис. 3.1). Ваттметр, включенный по данной схеме, измеряет мощность

$$P_{вт} = P_M + P_э + P_B + P_{пр},$$

где  $P_M$  — магнитные потери;  $P_э = I^2 R_K$  — электрические потери в катушке;  $P_B = U^2/R_B$  — потери в вольтметре;  $P_{пр} = U^2/R_{пр}$  — потери в параллельной обмотке ваттметра.

Сопротивление катушки  $R_K$  следует определять с помощью амперметра и вольтметра; сопротивления вольтметра  $R_B$  и параллельной обмотки ваттметра  $R_{пр}$  указаны на шкалах приборов лабораторного типа, применяемых в опыте. Иногда вместо сопротивления вольтметра на шкале указан номинальный ток вольтметра  $I_{ном}$ , тогда сопротивление  $R_B$  можно рассчитать по формуле

$$R_B = U_{ном} / I_{ном},$$

где  $U_{ном}$  — номинальное напряжение (предел измерения) вольтметра.

Аналогично определяется сопротивление параллельной обмотки ваттметра. Сопротивлением приборов можно пренебречь, тогда расчет упрощается, но результаты получатся менее точными.

### Схема электрической цепи

В работе используется электрическая схема, показанная на рис 3.1. Она включает амперметр, вольтметр, ваттметр и катушку, расположенную на замкнутом ферромагнитном сердечнике.

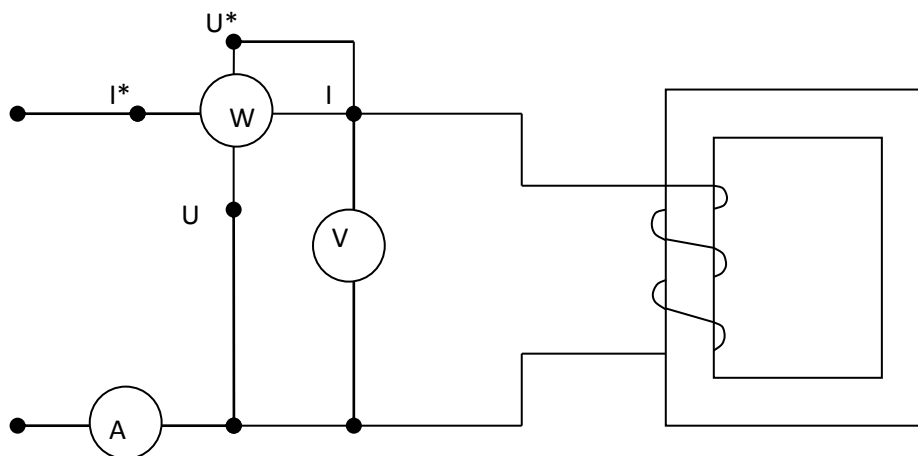


Рис.3.1

### Программа работы

1. Изобразить схему для измерения сопротивления катушки на постоянном

токе и ознакомить с ней преподавателя.

2. Собрать цепь для измерения сопротивления катушки, включить ее и измерить силу тока и напряжение. Результаты записать в самостоятельно подготовленную таблицу.

3. Измерить габариты и поперечное сечение сердечника. Рассчитать необходимое напряжение на катушке для получения индукции в сердечнике  $B_{\max} = 0,4; 0,8; 1,2$  Тл и записать в табл. 3.1.

4. Собрать цепь ( рис. 3.1) и показать ее преподавателю для проверки.

Таблица 3.1

Из опыта			Из расчёта						
U	I	$P_{вт}$	$R_K$	$R_B$	$R_{ПР}$	$P_{Э}$	$P_B$	$P_{ПР}$	$P_M$
В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт	Вт

5. Включить цепь, установить необходимые напряжения. Измерить мощность и силу тока, результаты записать в таблицу 3.1.

### Обработка результатов опытов

1. По результатам опытов п. 2 программы работы рассчитать сопротивление катушки и сопротивления приборов.

2. Рассчитать мощность потерь в катушке, приборах и в сердечнике. Результаты записать в табл. 3.1.

3. Рассчитать объем и массу сердечника, считая, что плотность стали  $\rho = 7,8 \cdot 10^3$  кг/см<sup>3</sup>.

4. Учитывая удельные потери данного сорта стали, указанные преподавателем, рассчитать магнитные потери в сердечнике для рассчитанных значений индукции  $B_{\max}$ . Результаты записать в табл. 3.2.

Таблица 3.2

U	$B_{\max}$	V	D	m	$p_{10/50}$	f	$P_M$
В	Тл	м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	кг	Вт/кг	Гц	Вт



5. По результатам опытов и расчетов построить графики  $P_m = f(B_m)$  для двух способов определения магнитных потерь.

6. По лабораторной работе сделать заключение относительно: а) возможности измерения магнитных потерь методом ваттметра; б) совпадения опытных и расчетных результатов; в) зависимости магнитных потерь от индукции. Выводы записать в отчет.

### **Методические указания**

С целью уменьшения погрешностей при измерениях необходимо включить параллельную обмотку ваттметра по схеме (рис. 3.1).

### **Вопросы**

1. Какова цель лабораторной работы?
2. За счет какой энергии нагревается ферромагнитный сердечник?
3. В каких устройствах возникают магнитные потери?
4. Что такое потери на гистерезис?
5. От каких факторов зависят потери на гистерезис?
6. Как по виду петли магнитного гистерезиса охарактеризовать потери от перемагничивания?
7. Что такое потери от вихревых токов?
8. Какие факторы влияют на потери от вихревых токов?
9. Какими способами уменьшают потери от вихревых токов?
10. По какой формуле можно рассчитать магнитную индукцию, созданную переменным током катушки?

### **Литература**

1. Л.2, §9.1.

### **Лабораторная работа № 4**

#### **Исследование основных характеристик конденсаторов**

**Цель работы.** Определение постоянной времени разряда конденсатора и его емкости.

## Пояснение к работе

Постоянная времени разряда конденсатора и его емкость определяются по кривой переходного процесса, происходящего при разряде конденсатора на активное сопротивление, и визуально наблюдаемого на экране осциллографа. При разряде конденсатора на резистор  $R$  напряжение на конденсаторе  $U_c$  уменьшается, асимптотически приближаясь к нулю (рис. 4.1):

$$U_c = U_{co}e^{-t/\tau}$$

Здесь  $U_{co}$  - напряжение на конденсаторе в момент времени  $t = 0$ ;  $t$  - время, с;  $\tau$  - постоянная времени разряда конденсатора на резистор, с, равная  $\tau = RC$ , где  $R$  - величина резистора;  $C$  - ёмкость конденсатора, Ф.

За время  $t = \tau$  напряжение  $U_c$  при разряде конденсатора убывает до значения  $0,37U_{co}$ . Отсюда следует первый способ нахождения  $\tau$  графическим методом по известной кривой напряжения  $U_c$  (рис.4.1). Приняв значение  $U_{co}$  за единицу, находят значение  $0,37 U_{co}$ , а затем, отложив эту ординату, по графику определяют абсциссу  $\tau$ .

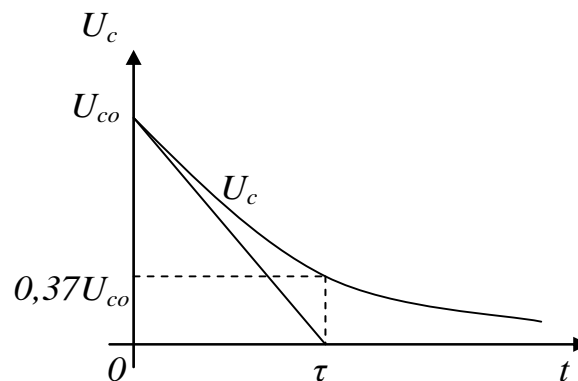


Рис. 4.1

По второму способу постоянная времени равна отрезку на оси времени, отсекаемому касательной, которая проведена через точку  $t = 0$  к кривой напряжения  $U_c$ .

## Схема электрической цепи

Для исследования конденсатора в работе используется электрическая схема, показанная на рис.4.2. Последовательная цепь включается на постоянное напряжение  $U$  с помощью контакта  $K_1$  (рис.4.2). Этот контакт замкнут определенное время, в течение которого переходный процесс успевает затухнуть. Затем он размыкается, и, спустя некоторое время, замыкается контакт  $K_2$ , в результате чего конденсатор быстро разряжается на сопротивление  $R$ . Контакт  $K_2$  размыкается и схема готова к повторному

включению, что и осуществляется опять замыканием контакта  $K_1$ . В такой последовательности контакты работают непрерывно.

Напряжение с конденсатора  $C$  подается на пластины осциллографа и благодаря многократному повторению на его экране видна неподвижная кривая разряда конденсатора.

Однако изображение будет устойчивым, если частота горизонтальной развертки осциллографа будет синхронна частоте повторяемости процесса. Это достигается за счет того, что в работе используется для переключения контактов поляризованное реле, яркость которого колеблется с частотой питающего напряжения (50 Гц). Так как схема синхронизации осциллографа управляется этим же напряжением, то на экране мы можем наблюдать неподвижную картину переходного процесса.

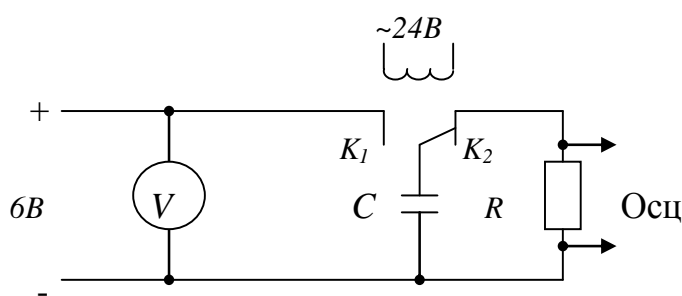


Рис.4.2

### Программа работы

1. Собрать схему (рис.4.2), включить известное сопротивление  $R$ .
2. Включить поляризованное реле и подать в схему рабочее напряжение.
3. Установив на экране достаточно четкое изображение кривой разряда конденсатора, наложить на экран лист бумаги и карандашом свести кривую. При этом следует отметить на бумаге масштаб времени, учитывая, что процесс повторяется с частотой цепи (время одного полупериода 0,01 с).
4. Определить:
  - 1) величину ёмкости конденсатора;
  - 2) постоянную времени разряда конденсатора:
    - а) аналитическим методом;
    - б) графическим методом.

### Методические указания

По завершению всех опытов разрядить конденсатор.

### Вопросы

1. Чем обусловлена ёмкость конденсатора?
2. По какому закону происходит разряд конденсатора?
3. Виды поляризации твёрдых диэлектриков.

## Литература

1. Л.1. §1-2, §2-1.

### Лабораторная работа № 5

#### Исследование основных характеристик ферромагнитных материалов бесконтактных измерительных преобразователей для систем контроля и управления

**Цель работы.** Определение начальной кривой намагничивания ферромагнитного материала и его относительной магнитной проницаемости.

#### Пояснение к работе

Использование амперметра и вольтметра даёт возможность определения начальной кривой намагничивания ферромагнитного материала замкнутых сердечников и амплитуды магнитной проницаемости по формулам:

$$H_{max} = \frac{I_m W_1}{\pi D_{ср}} , \quad B_{max} = \frac{U_2}{4k_f f S \omega_2} ,$$
$$\mu_r = \frac{B_m}{\mu_0 \cdot H_m} .$$

Здесь  $H_{max}$  ~ максимальное значение напряженности магнитного поля;  $H_m$  - амплитудное значение синусоидальной напряженности магнитного поля;  $B_{max}$  ~ максимальное значение магнитной индукции;  $B_m$  ~ амплитудное значение синусоидальной магнитной индукции;  $I_m$  - амплитудное значение тока в обмотке  $\omega_1$  образца;  $\omega_1$  ~ число витков намагничивающей обмотки;  $D$  - средний диаметр образца;  $U_2$  - действующее значение напряжения вторичной обмотки;  $k_f$  ~ коэффициент формы сигнала;  $f$  - частота переменного тока намагничивания;  $S$  - сечение образца;  $\omega_2$  - число витков измерительной обмотки;  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость;  $\mu_0$  – магнитная постоянная.

#### Схема электрической цепи

Схема ( рис.5.1) включает в себя испытуемый образец 3 тороидальной формы с намагничивающей обмоткой 1 и измерительной обмоткой 2 , латр 4, амперметр и вольтметр.

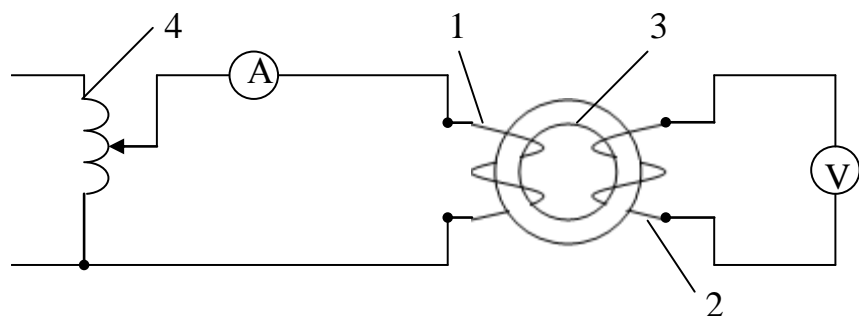


Рис.5.1

### Программа работы

1. Ознакомиться с рекомендуемой литературой, с основными характеристиками ферромагнитных материалов, а также с методами и средствами их получения.

2. Ознакомиться с приборами и используемым образцом и записать их технические данные в протокол.

3. Собрать схему (рис. 5.1) электрической цепи с проверяемым образцом.

4. Изменяя ток (от нуля до  $I_{max}$ ) в намагничивающей обмотке при помощи автотрансформатора до насыщения магнитного материала испытуемого образца, записать в таблицу 6÷8 показаний амперметра и вольтметра.

5. По экспериментальным данным определить магнитную индукцию  $B_m$ , напряженность магнитного поля  $H_m$  и относительную магнитную проницаемость  $\mu_r$  ферромагнитного материала используемого образца и занести результат расчета в таблицу 5.1.

6. По данным пункта 5 построить кривые зависимостей  $B_m = f(H_m)$  и

Таблица 5.1

№	$I$	$U$	$B_m$	$H_m$	$\mu_r$
	А	В	Тл	А/м	-
1					
2					

### Методические указания

В качестве вольтметра желательно использовать электронный вольтметр.

### Вопросы

1. Какая разница между начальной и основной кривыми намагничивания?
2. Какая разница между относительной и абсолютной магнитными проницаемостями?

## Литература

1. Л.1.

### Лабораторная работа №6

#### Определение удельного магнитного сопротивления материалов магнитопроводов бесконтактных измерительных преобразователей систем контроля и управления

**Цель работы.** Научиться определять удельное магнитное сопротивление ферромагнитных материалов преобразователей систем контроля и управления.

#### Пояснения к работе

При расчете практически всех электроаппаратов с ферросердечниками необходимо знать зависимость удельного магнитного сопротивления  $\rho_{\mu}$  от магнитной индукции  $B$  материала магнитопровода, т.е.  $\rho_{\mu} = f(B)$ . Основным материалом, используемым в таких электроаппаратах, в настоящее время являются повышено легированная, холоднокатаная, технологически легко обрабатываемая листовая или рулонная сталь, электротехническая листовая сталь с содержанием кремния 2,5%, 50%-ый железоникелевый сплав, сталь Армко.

#### Схема электрической цепи

Зависимость  $\rho_{\mu} = f(B)$  ферроматериала может быть снята при помощи компенсационной схемы, приведенной на рис. 6.1.

На равномерно распределенную обмотку возбуждения 2 образца 1 подается ток  $I_{\text{В}}$  через добавочное  $R_{\text{д}}$  и образцовое  $R_{\text{о}}$  сопротивления от источника синусоидального напряжения.

Величина тока  $I_{\text{В}}$  замеряется путем компенсации напряжения на  $R_{\text{о}}$  компенсатором переменного тока Р-56, доводя показания нуль-генератора НИ до нуля. Затем компенсатором замеряется ЭДС  $E_{\text{н}}$  на выходе равномерно распределенной по образцу 1 измерительной обмотки 3.

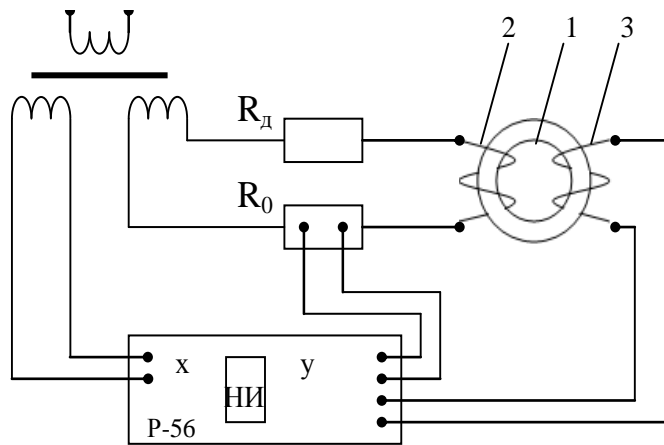


Рис.6.1

### Программа работы

1. Ознакомьтесь с приборами для определения зависимости  $\rho_{\mu} = f(B)$  и испытуемым образцом и записать их технические данные в протокол.
2. Собрать схему электрической цепи с проверяемым образцом.
3. Изменяя ток в намагничивающей обмотке с помощью автотрансформатора до насыщения ферромагнитного материала испытуемого образца, записать 6-8 показаний приборов в таблицу 6.1.
4. Поэкспериментальным данным определить магнитную индукцию  $B$  и удельную магнитную проницаемость ферромагнитного материала испытуемого образца и занести результат расчета в таблицу 1.
5. По данным пункта 4 построить кривую зависимости  $\rho_{\mu} = f(B)$ .

Таблица 6.1

№	$I_B$	$E_n$	$\rho_{\mu}$	$B$
	А	В	м/Гн	Тл

### Методические указания

Расчет индукции и удельного магнитного сопротивления следует проводить по выражениям

$$B = \frac{E_n}{\omega \omega_n S},$$

$$\rho_{\mu} = \frac{\omega I_B \omega_B \omega_n S}{E_n l},$$

Где  $\omega$  - угловая частота;  $\omega_B, \omega_n$  - соответственно числа витков обмоток 2 и 3;  $S, l$  - соответственно сечение и длина пути потока в образце 1.

## Вопросы

1. Какие ферромагнитные материалы используют в основном в электроаппаратах с ферромагнитными сердечниками?
2. Для чего необходимо знать зависимость  $\rho_{\mu} = f(B)$ ?

## Литература

1. Л.1.

## Лабораторная работа №7

### Определение диэлектрических потерь диэлектриков

**Цель работы.** Анализ диэлектрических потерь диэлектрика конденсатора определением угла диэлектрических потерь.

#### Пояснения к работе

Диэлектрическими потерями называют мощность, рассеиваемую в диэлектрике при воздействии на него электрического поля и вызывающую нагрев диэлектрика.

Для оценки способности диэлектрика рассеивать мощность в электрическом поле пользуются углом диэлектрических потерь, а также тангенсом этого угла.

Углом диэлектрических потерь называется угол, дополняющий до  $90^\circ$  угол фазового сдвига  $\varphi$  между током и напряжением в емкостной цепи. Для идеального диэлектрика вектор тока в такой цепи будет опережать вектор напряжения на  $90^\circ$ , при этом угол диэлектрических потерь  $\delta$  будет равен нулю. Чем больше рассеиваемая в диэлектрике мощность, переходящая в теплоту, тем меньше угол фазового сдвига  $\varphi$  и тем больше угол  $\delta$  и его функция  $tg\delta$ .

Выражением для мощности, рассеиваемой в высококачественном диэлектрике, является

$$P_a = U^2 \omega C tg\delta, \quad (1)$$

Где  $P_a$  - активная мощность, Вт;  $U$  - напряжение, В;  $\omega$  - угловая частота;  $C$  - емкость, Ф.

Из выражения (1)  $tg\delta$  определяется

$$tg\delta = \frac{P_a}{\omega C U^2}. \quad (2)$$



## Схема электрической цепи

В работе используется электрическая схема, приведенная на рис. 7.1. Она включает в себя автотрансформатор, амперметр А, вольтметр V, ваттметр W и конденсатор С с исследуемым диэлектриком.

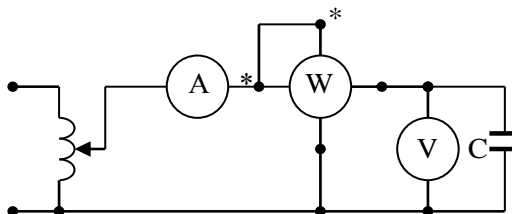


Рис. 7.1

## Программа работы

1. Ознакомиться с приборами и конденсатором с исследуемым диэлектриком.
2. Собрать схему электрической цепи с исследуемым диэлектриком.
3. Изменяя ток, начиная от нуля, в электрической цепи с помощью автотрансформатора, записать 6-8 показаний приборов в таблицу 7.1.
4. По экспериментальным данным определить  $tg\delta$  и угол  $\delta$  и занести результат расчета в таблицу 7.1.
5. По данным пункта 4 построить кривую зависимости  $tg\delta = f(U)$ .

Таблица 7.1.

№	$I$	$U$	$P$	$tg\delta$	$\delta$
	А	В	Вт	-	град.

## Методические указания

Для оптимального проведения эксперимента желательно иметь диэлектрик в конденсаторе, позволяющий получить емкость конденсатора, не менее 1 мкФ.

## Вопросы

1. Что понимают под диэлектрическими потерями?
2. Что называется углом диэлектрических потерь?
3. Чем обусловлен нагрев конденсатора в электрической схеме?

## Литература

1. Л.2, 3-1, 3-2.

## Литература

- 1.Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы. Учебное пособие. – М.: маршрут, 2005.
- 2.Brian Scaddan Elektrikal Installation Work, Sixth edition 2008. Published by Elsevier Ltd. UK.
- 3 Robert B.Northrop. Introduction to Instrumentation and Measurements. Taylor & Francis Group., New York, 2005. – 736 pages.
4. Anthony J. Wheeler., Ahmad R.Ganji. Introduction to Engineering Experimentation. Prentice Hall, USA, 2009 – 434 pages.
5. Ахмедов А.Ш. Электр техника материаллари. – Т.: Тошкент давлат техника университети, 2006.
6. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Учебник для вузов. – Л. Энергоатомиздат, 1985.
- 7.Камалов Ш.М., Ахмедов А.Ш. Электротехника материаллари. – Тошкент, Ўқитувчи, 1994.
- 8.Казарновский Д.М., Тареев Б.М. Испытание электроизоляционных материалов. – М., Энергия, 1980.
9. Штофа Я.Н. Электротехнические материалы в вопросах и ответах. Пер. со словац. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
- 10.Никулин Н.В, Электроматериаловедение. – М.: Высш. шк.,1984.
- 11.Мозберг Р.К. Материаловедение. Учебное пособие. – М.: Высш. шк.,1991.
- 12.Горбачев В.В., Спицыва Л.Г. Физика полупроводников и металлов. – М.: Металлургия, 1982.
- 13.Материаловедение и проблемы энергетики/ Под ред. Г. Либовица и М. Уиттингэма: Пер. с англ. Под ред. Г.Ф. Мучника. – М.: Мир, 1982.
- 14.Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. – М.: Высшая школа, 1982.
- 15.Пасынков В.В. Материалы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1980.
- 16.Смит Р. Полупроводники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982.
- 17.Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/ К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович, Б.Я. Литвинов. – СПб.: Питер, 2006.
- 18.Измерение электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов (Евтихийев Н. Н., Купершмидт Я. А. и др.; Под ред. Евтихьева Н. Н.. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
- 19.Плахтиев А. М.. Преобразователи электрических и неэлектрических величин с распределенными параметрами: Учебное пособие. – Ташкент, ТашПИ, 1978.
- 20.Плахтиев А. М.. Измерительные преобразователи с распределенными параметрами. – Ташкент: Фан, 1987.

21.Плахтиев А.М.. Руководство к лабораторным работам по электрическим измерениям. Учебное пособие для вузов. – Ташкент, ТГАИ, 2007.

22.Плахтиев А.М. Руководство к лабораторным работам по метрологии, стандартизации и сертификации. Учебное пособие для вузов.- Ташкент, ТИТЛП, 2011.

23.Плахтиев А. М. Лабораторный практикум по электротехническим материалам и технологии монтажа электроустановок. Методическое пособие.- Ташкент: ТГАУ, 2012. –44с.

### Сайты в интернете

24. [www.gov.uz](http://www.gov.uz) – Ўзбекистон Республикаси ҳукумат портали.

25. [www/lex.uz](http://www.lex.uz) – Ўзбекистон Республикаси Қонун ҳужжатлари маълумотлари миллий базаси.

26. <http://www.twirpx.com/file/937733/>

27. <http://www.pandia.ru/text/77/318/11680.php>

28.<http://electricalschool.info/spravochnik/material/310-klassifikacija-jelektrotekhnicheskikh.html>

29. <http://www.pandia.ru/text/77/152/12463.php>

30.[http://c-stud.ru/work\\_html/look\\_full.htmlid=79226&razdel=1100](http://c-stud.ru/work_html/look_full.htmlid=79226&razdel=1100)

31.<http://bibliofond.ru/view.aspxid=479211>

## О г л а в л е н и е

Предисловие. . . . .	3
I. Общие рекомендации по проведению лабораторного эксперимента . . . . .	5
II. Рекомендации по электрическим измерениям в лабораторных работах. . . . .	12
III. Техника безопасности при работе с электрическими установками. . . . .	21
<i>Лабораторная работа № 1. Исследование магнитного гистерезиса материалов бесконтактных ферромагнитных преобразователей систем контроля и управления. . . . .</i>	<i>23</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Определение удельного сопротивления проводниковых материалов элементов автоматики. . . . .</i>	<i>26</i>
<i>Лабораторная работа № 3. Измерение мощности потерь энергии в ферромагнитных сердечниках бесконтактных измерительных преобразователей для систем контроля и управления качеством . . . . .</i>	<i>30</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Исследование основных характеристик конденсаторов . . . . .</i>	<i>33</i>
<i>Лабораторная работа № 5. Исследование основных характеристик ферромагнитных материалов бесконтактных измерительных преобразователей для систем контроля и управления. . . . .</i>	<i>36</i>
<i>Лабораторная работа № 6. Определение удельного магнитного сопротивления материалов магнитопроводов бесконтактных измерительных преобразователей систем контроля и управления. . . . .</i>	<i>38</i>
<i>Лабошаторная работа № 7. Определение диэлектрических потерь Диэлектриков . . . . .</i>	<i>40</i>
Литература . . . . .	42

Плахтиев Анатолий Михайлович

Пособие к лабораторным работам  
по электротехническим материалам в приборостроении

Ответственный редактор: д.т.н., проф. Азимов Р.К.

Редактор: Ташходжаева Н. .

Подписано в печать 15.01.2020 г. Формат (60x84) 1/16. Условные печатные листы 3,3.  
Издательские печатные листы 3,3. Тираж 30 экз. заказ.  
Отпечатано в типографии ТИИИМСХ.  
Ташкент-100000, ул. Кары – Ниязова, 39.

