

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова



2017 г.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ И КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение» для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения

КУРСК 2017

УДК 620.1:621.315

Составитель: Н.М. Гайдаш

Рецензент

Кандидат технических наук *Ю.А. Артеменко*

Электротехническое и конструкционное материаловедение: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение» для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Н.М. Гайдаш. - Курск, 2017. 38 с.: табл. 3., ил. 5. - Библиогр. с. 38.

Излагаются методические рекомендации к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехническое и конструкционное материаловедение». Указываются порядок проведения работ, обработки результатов и составления отчета.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Предназначены для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *28.02.17*. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. *4,7*. Уч.-изд. л. *2,5*. Тираж 30 экз. Заказ *147* Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1. ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При работе в лаборатории «Электротехническое и конструкционное материаловедение» во избежание несчастных случаев, а также преждевременного выхода из строя приборов и электрооборудования студент при выполнении лабораторных работ должен строго выполнять следующие правила внутреннего распорядка и техники безопасности:

1. Приступая в лаборатории к работе, студент должен ознакомиться с правилами внутреннего распорядка и техники безопасности.

2. Студенты обязаны не только строго выполнять эти правила, но и требовать неуклонного выполнения их от своих товарищей.

3. После ознакомления с правилами внутреннего распорядка и инструктажа по технике безопасности студент должен расписаться в соответствующем журнале.

4. При работе в лаборатории категорически запрещается приносить с собой вещи и предметы, загромождающие рабочие места, способствующие созданию условий, могущих привести к нарушению правил безопасности.

5. В лаборатории запрещается громко разговаривать, покидать рабочие места и переходить от одного стенда к другому.

6. Приступая к работе в лаборатории, студенческая группа делится на бригады, преподаватель назначает бригадиров, которые затем распределяются по лабораторным стендам.

7. Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется в конце семестра и по особому расписанию после получения допуска.

8. Сборку электрической цепи производят соединительными проводами при выключенном напряжении питания в строгом соответствии со схемой, представленной в данных методических указаниях, обеспечивая при этом надёжность электрических контактов всех разъёмных соединений.

9. Приступая к сборке электрической цепи, необходимо убедиться в том, что к стенду не подано напряжение.

10. При сборке электрической цепи необходимо следить за тем, чтобы соединительные провода не перегибались и не скручи-

вались петлями. Приборы и электрооборудование расставляются так, чтобы было удобно ими пользоваться.

11. Собранная электрическая цепь предъявляется для проверки преподавателю.

12. Включение электрической цепи под напряжением (после проверки) производится только с разрешения и в присутствии преподавателя.

13. При обнаружении неисправностей в электрической цепи необходимо немедленно отключить её от питающей сети и доложить об этом преподавателю.

14. Переключения и исправления в собранной электрической цепи разрешается производить только при отключённом напряжении питания.

15. Запрещается прикасаться пальцами, карандашами и другими предметами оголённых токоведущих частей электрической цепи, находящихся под напряжением.

16. При работе с конденсаторами следует помнить, что на их зажимах, отключённых от сети, некоторое время сохраняется электрический заряд, могущий быть причиной поражения электрическим током.

17. При обнаружении повреждений электрического оборудования и приборов стенда, а также при появлении дыма, специфического запаха или искрения необходимо немедленно выключить напряжение питания стенда и известить об этом преподавателя.

18. После выполнения лабораторной работы необходимо выключить напряжение питания стенда, разобрать исследуемую электрическую цепь после проверки преподавателем полученных данных и привести в порядок рабочее место.

19. В случае поражения человека электрическим током необходимо немедленно обесточить стенд, выключив напряжение питания. При потере сознания и дыхания необходимо быстро освободить пострадавшего от стесняющей его одежды и делать искусственное дыхание до прибытия врача.

2. ПОДГОТОВКА К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы в группах проводятся в соответствии с расписанием учебных занятий в университете. Поэтому для выполнения лабораторных работ студент должен руководствоваться следующими положениями:

1. Предварительно ознакомиться с графиком выполнения лабораторных работ (он доводится на первом, вводном занятии).

2. Внимательно ознакомиться с описанием соответствующей лабораторной работы и установить, в чём состоит основная цель и задача этой работы.

3. По лекционному курсу и соответствующим литературным источникам изучить теоретическую часть, относящуюся к данной лабораторной работе.

4. До проведения лабораторной работы подготовить вступительную часть (титульный лист, название и цель лабораторной работы, приборы и оборудование); соответствующие схемы, таблицы наблюдений (они должны быть вычерчены с помощью чертёжных инструментов или с помощью компьютера); расчётные формулы; желательно миллиметровку для построения графиков.

5. Неподготовленные к работе студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Успешное выполнение лабораторных работ может быть достигнуто в том случае, если экспериментатор отчётливо представляет себе цель эксперимента и ожидаемые результаты, поэтому важным условием обстоятельности проводимых исследований является тщательная подготовка к лабораторной работе.

3. СБОРКА И ВКЛЮЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Перед началом лабораторной работы необходимо расставить приборы и аппараты по возможности так, чтобы они соответствовали электрической схеме. Сборку схемы должен вести один студент (бригадир), другие члены бригады (звена) контролируют его и выполняют мелкие поручения. Начинать сборку цепи нужно от одного из зажимов источника питания, соединяя последовательно один элемент за другим, и закончить цепь на другом зажиме источника. Причём положительный зажим источника постоянного тока следует соединять с положительным зажимом, который указан на приборах магнитоэлектрической и электронной систем. После сборки последовательной цепи нужно подключить и параллельные цепи, если они имеются в электрических схемах (вольтметры, контакты и др.). Целесообразно для последовательных и параллельных цепей использовать провода разного цвета. Это делает электрическую цепь наглядной и позволяет уменьшить число ошибок при её сборке.

После того как схема собрана, необходимо все рукояти регуляторов напряжения установить на нулевую отметку, а переключатели многопредельных приборов поставить на наибольший предел измерения.

Наличие ошибок в электрической цепи может привести к порче оборудования, приборов или к несчастному случаю. Поэтому каждый раз необходимо показывать собранную схему преподавателю.

После этого к схеме подключают напряжение. Регулятором медленно увеличивают напряжение на входе до нужного значения, наблюдая при этом за показателями приборов. Если стрелка индикатора в цепи источника питания не отклоняется, то это означает, что в цепи обрыв. Если стрелка амперметра даже при малом напряжении отклоняется до конца шкалы, то это указывает на короткое замыкание в цепи. Если стрелки приборов магнитоэлектрической системы отклоняются влево от нулевой отметки, то нужно поменять полярность подключения приборов.

Во всех этих случаях нужно выключить источники питания и ещё раз проверить схему или обратиться за помощью к преподавателю.

4. ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

При выполнении лабораторных работ по курсу «Электротехническое и конструкционное материаловедение» применяется фронтальный метод. Он предусматривает выполнение всеми студентами одной и той же лабораторной работы. Этот метод считается наиболее перспективным, так как обеспечивает наибольший эффект от лабораторных работ.

Выполнять лабораторную работу нужно, соблюдая последовательность, которая указана в описании каждой работы. Перед выполнением каждого пункта работы рекомендуется выполнить все указанные действия, но без записи результатов. Это необходимо для того, чтобы убедиться, что приборы подобраны верно, реле или аппарат срабатывает и замыкает или размыкает свои контакты, сигнальная лампочка загорается и т.п.

Обязанности в подгруппе (звене) лучше разделить. Один студент может изменять напряжение или ток, а также наблюдать за одним-двумя приборами; другой – за остальными приборами и записывать результаты в таблицу наблюдений. В последующих рабо-

тах обязанности могут быть перераспределены. Показания всех приборов следует снимать внимательно и записывать измеряемую величину в соответствующих единицах измерения. Если трудно сразу определить значение измеряемой величины в соответствующих единицах измерения, то сначала можно записать количество делений, а потом пересчитать, учитывая цену деления.

После окончания экспериментов нужно проанализировать полученные результаты, сопоставив их с теорией и свойствами исследуемого материала. При слишком большом расхождении результатов эксперимент следует повторить. Полезно построить черновой график. Если разброс точек на графике окажется слишком великим, то нужно повторить замер.

После выполнения лабораторной работы нужно показать результаты преподавателю, а затем разобрать электрическую цепь и привести в порядок рабочее место.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Каждый студент должен самостоятельно обработать результаты выполненных им опытов и составить отчёт по проделанной текущей лабораторной работе. Он должен быть составлен настолько ясно, чтобы каждый знакомящийся с ним чётко представлял себе цель поставленной работы, тип экспериментальной установки, методику измерения и расчёт отдельных величин, порядок проведения работы, окончательные результаты испытаний в виде таблиц и графиков, а также ознакомился с заключением на основе экспериментальных данных.

Отчёт составляют на одной стороне листа формата А4 или в тетради.

В начале отчёта приводится титульный лист, на котором указываются название учебного заведения, кафедры, номер и наименование проделанной лабораторной работы, название дисциплины, номер учебной группы, фамилия и инициалы выполнившего работу студента, фамилия и инициалы преподавателя.

Далее в отчёте по каждой лабораторной работе должно приведено следующее: наименование работы; цель работы; перечень электроизмерительных приборов и другого оборудования и их технические данные; электрические схемы; результаты измерений, сведённые в таблице с краткими пояснениями; диаграммы и графики.

ки; анализ полученных результатов и выводы по выполненной работе.

Электрические схемы необходимо выполнять с соблюдением условных графических обозначений.

Каждый элемент электрической схемы должен иметь позиционное обозначение, характеризующее вид этого элемента, выполняемую им функцию, порядковый номер, а при необходимости и другие сведения.

Все схемы, таблицы и графики, приводимые в отчёте, должны иметь наименования. Схемы соединений и таблицы следует выполнять карандашом с помощью чертёжных принадлежностей либо на компьютере.

Особое внимание необходимо уделять выполнению графиков исследуемых зависимостей. Они должны быть выполнены на миллиметровой или другой бумаге, имеющей масштабную сетку. При выборе масштаба необходимо исходить из того, чтобы графики получились нормальных размеров (не менее 100×100 мм и не более 200×200 мм).

В большинстве случаев масштабы для осей x и y необходимо брать различными, однако следует предпочитать такие, чтобы в масштабной линейной единице (в 1 см, 1 мм или одной клеточке сетки) находилось целое число откладываемых на осях единиц измеряемой величины.

У каждой координатной оси должны быть указаны условное обозначение откладываемой величины и единица её измерения.

После того как масштаб для координатных осей выбран, необходимо внимательно нанести имеющиеся в таблице экспериментальные или вычисленные точки. Построение необходимо начинать с нулевого или некоторого исходного значения для оси x и продолжать в порядке его возрастания.

Если в одних координатных осях строится несколько графиков, представляющих собой функциональную зависимость ряда величин от одной независимой переменной, то параллельно основной оси ординат, пересечение которой с осью абсцисс принято за начало координатных осей, проводят дополнительные оси ординат, каждую со своим масштабом и своими единицами измерения. За начало координат всех величин в этом случае принимают точку пересечения основных осей.

При построении точек по результатам опытов на таком совмещённом графике эти точки, во избежание ошибок, следует отмечать различными условными значками – крестиками, кружочками и т.п. После нанесения точек какого-либо графика их соединяют плавной кривой с помощью лекала. При этом возможен «разброс» точек, т.е. некоторые из этих точек не будут лежать на кривой. Это объясняется возможными погрешностями экспериментов: неточным снятием показания измерительного прибора, случайным колебанием напряжения в сети, приближённой вычислений и т.п. Если «разброс» точек оказался значительным, то опыт следует повторить. Для построения криволинейного графика необходимо иметь не менее пяти точек.

Следует обратить внимание на то, что когда экспериментальная зависимость не выражает определённого закона изменения исследуемых величин, экспериментально найденные точки соединяют между собой отрезками прямой. Кроме того, на осях графика должны быть нанесены только основные единицы выбранного масштаба.

В отчёте следует приводить только окончательные результаты вычислений с указанием расчётных формул.

В выводах по выполненной работе надо указывать характер изменения исследуемых параметров или сравнивать полученные результаты с техническими данными исследуемого материала, которые приведены в справочной литературе.

По каждой лабораторной работе студент должен получить зачёт. Для этого он должен знать теоретический материал по данной теме, строение, свойства и область применения исследуемого материала, уметь собрать электрическую схему и объяснить принцип её работы, пояснить, как определяется тот или иной параметр, уметь делать анализ полученных результатов.

Зачёт может проходить в форме личной беседы преподавателя со студентом и может содержать программированный (тестовый) опрос. Оценка (баллы по БРС) за каждую работу может быть учтена при промежуточной аттестации (контрольные точки БРС). Такая система не только стимулирует работу студента, но и даёт преподавателю более полное представление о знаниях студента, его работоспособности, аккуратности и помогает вывести объективную оценку по дисциплине за семестр.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Определить опытным путем величины объемного и поверхностного сопротивлений различных твердых диэлектриков и рассчитать соответствующие удельные сопротивления. Выработать практические навыки по электрическим испытаниям материалов.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

В диэлектрике, помещенном между двумя электродами наблюдается протекание электрического тока, если к этим электродам приложить разность потенциалов.

Наблюдаемый ток состоит из двух составляющих его токов: одного, значительного по величине в начальный момент, а затем быстро спадающего до нуля, тока $I_{абс}$ абсорбции и второго, небольшого, постоянного по величине, независящего от времени – сквозного тока $I_{скв}$, т.е.:

$$\dot{I} = \dot{I}_{абс} + \dot{I}_{скв}$$

Следовательно, при постоянной разности потенциалов, величина возникшего тока в начальный период не будет постоянной, а будет зависеть от времени: в начальный момент - $\dot{I}_{абс} \geq \dot{I}_{скв}$, а через некоторое время - $\dot{I}_{абс} \approx 0$ и $\dot{I} \approx \dot{I}_{скв}$.

Появление тока абсорбции или смещения вызвано процессами поляризации. В полярных диэлектриках этот ток связан с ориентацией дипольных молекул или, в некоторых случаях, ориентацией частей дипольных молекул (например, в целлюлозе и ее производных).

В неполярных диэлектриках токи смещения объясняются образованием квазидиполей из нейтральных молекул и их ориентацией в электрическом поле, анизотропией свойств, неизбежной неоднородностью структуры, примесями и другими причинами, вызывающими протекание во времени процессов перераспределения зарядов в объеме диэлектрика. Если в диэлектрике преобладают медленно протекающие процессы поляризации, то и падение тока сме-

щения (абсорбции) в нем будет тоже медленное, в противоположном случае – быстрое.

Появление сквозного тока (установившегося или тока утечки) вызвано электропроводностью диэлектрика. Этот ток представляет собой активный ток, обусловленный перемещением свободных зарядов (электронов, ионов) диэлектрика под действием приложенного внешнего электрического поля.

Сопротивление изоляции $R_{из}$ при постоянном напряжении определяется по сквозному току по закону Ома:

$$R_{из} = \frac{U}{I_{СКВ}},$$

где: U – приложенное напряжение.

В твердых диэлектриках, таких как слюда, полистирол, оргстекло, лакоткань и др., сквозной ток фактически устанавливается полностью в течение одной минуты после включения напряжения (за это время ток смещения практически спадает до нуля). Поэтому для таких диэлектриков измерение электрического сопротивления можно проводить через минуту после включения напряжения. Если бы сопротивление диэлектриков определялось при переменном напряжении, то величина его не была бы однозначной, поскольку помимо самого материала, оно зависело бы еще от частоты напряжения, его формы и других внешних факторов, не имеющих отношения к свойствам материала.

Ток, протекающий в цепи через диэлектрик, делится на объемный, проходящий через его толщину и поверхностный, в соответствии с чем различают объемное R_V и поверхностное R_S сопротивления. Полное сопротивление определяется как результирующее параллельно соединенных сопротивлений:

$$R = \frac{R_V \cdot R_S}{R_V + R_S}.$$

Для сравнения различных диэлектриков пользуются величинами удельных сопротивлений.

Удельным объемным сопротивлением ρ_V называется сопротивление куба с ребром в 1 м материала, когда к его противоположным граням приложено постоянное напряжение. Удельным по-

верхностным сопротивлением ρ_s называется сопротивление квадрата со стороной 1 м поверхности диэлектрика, когда к его противоположным сторонам приложено напряжение. Исходя из этих определений, объемное сопротивление диэлектрика толщиной h и сечением S равно:

$$R_V = \rho_V \frac{h}{S} \text{ (Ом)},$$

откуда его удельное объемное сопротивление равно:

$$\rho_V = R_V \frac{S}{h} \text{ (Ом}\cdot\text{м)} \quad (1)$$

Сопротивление участка поверхности диэлектрика определяется аналогично по формуле:

$$R_S = \rho_S \frac{a}{b} \text{ (Ом)},$$

откуда его удельное поверхностное сопротивление равно:

$$\rho_S = R_S \frac{b}{a} \text{ (Ом)} \quad (2)$$

где a – расстояние между электродами, м;

b – длина электрода, м.

Установка для измерения объемных и поверхностных сопротивлений твердых диэлектриков представлена на рисунке 1.

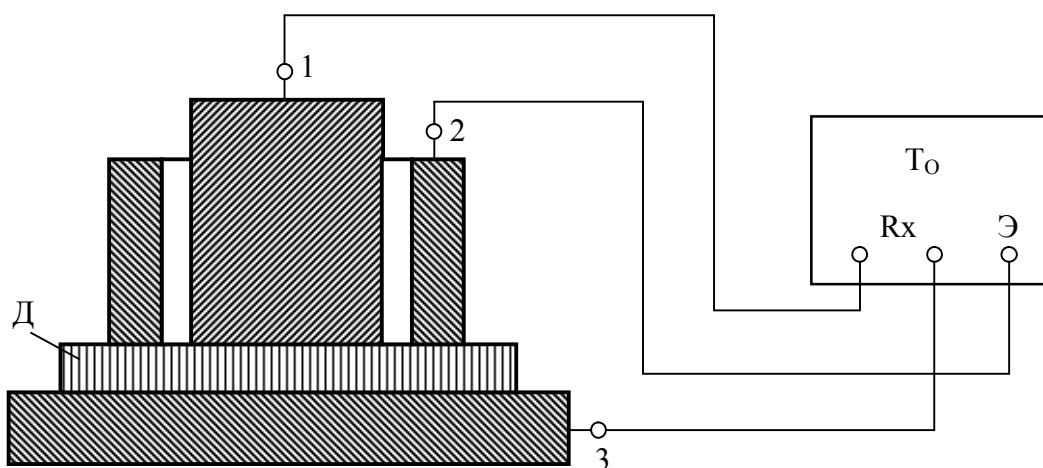


Рисунок 1. Схема лабораторной установки

То – тераомметр Е6-13А и оснастка; 1 – измерительный цилиндрический электрод; 2 – охранный кольцевой электрод; 3 – пластина-нижний электрод; Д – исследуемый образец диэлектрика

При измерении объемного сопротивления схема должна быть собрана в соответствии с рисунком 1. Электрод 2 соединен с клеммой «Э» и заземлен.

Для измерения поверхностного сопротивления диэлектрика в схеме рисунок 1 электрод 3 необходимо пересоединить к клемме «Э».

Таким образом, в зависимости от собранной схемы измерения через вход тераомметра (клеммы Rx) пропускается либо только объемный ток утечки, а поверхностный ток – отводится (в первой схеме по рисунку 1), либо только поверхностный ток, а объемный при этом отводится (во второй схеме – после переключения). Следовательно, оснастка дает возможность измерять отдельно только объемный ток при измерении объемного сопротивления, или только поверхностный, - при измерении поверхностного сопротивления.

Измерительный прибор установки – тераомметр, по принципу действия подобен обычному омметру, однако ввиду того, что измеряемые сопротивления очень велики ($>10^{14}$ Ом), токи, протекающие через него, меньше пределов чувствительности обычных гальванометров. Поэтому для возможности измерения их предварительно усиливают с помощью усилителя постоянного тока, находящегося в самом приборе, кроме того, в прибор включен стабилизированный источник питания напряжением 105 В.

Поскольку электроды оснастки, используемой в установке круглые, вышеприведенная формула (2) не применима в данном случае. Поэтому необходимо пользоваться формулой, выведенной на основании анализа элементарного проводящего поверхностного слоя диэлектрика в кольцевом зазоре между электродами 1 и 2 (рисунок 1), шириной и длиной $2\pi r$ (где r - значение радиуса).

Полученное выражение, учитывающее параметры электродов 1 и 2 для ρ_s имеет вид:

$$\rho_s = R_s \frac{\pi(r_2 + r_1)}{r_2 - r_1} = \pi R_s \frac{(d_2 + d_1)}{(d_2 - d_1)}, \quad (3)$$

где: d_2 – внутренний диаметр кольцевого электрода, $d_2=54$ мм ;
 d_1 – внешний диаметр измерительного электрода, $d_1=50$ мм.

Удельное объемное сопротивление ρ_V для круглых электродов с учетом формулы (1) равно:

$$\rho_V = R_V \frac{S}{h} = R_V \frac{\pi \cdot d_1^2}{4h} \quad (4)$$

где: h – толщина образцов диэлектриков измеряемая штангенциркулем с точностью до 0,1 мм (или указывается преподавателем).

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

2.1. Подготовка тераомметра Е6-13А к работе.

2.1.1. Проверить положение кнопки замыкателя входа, имеющей два положения:

нажатое – режим установки нуля;

отжатое – режим измерения.

Перед началом работы кнопка должна быть в нажатом положении.

2.1.2. Установить переключатель измерительного напряжения, расположенный на задней панели прибора, в положение 100 В.

2.1.3. Установить с помощью механического корректора указатель прибора на нулевую отметку шкалы при закороченных клеммах «Выход симметричный на самописец» на задней панели прибора.

2.1.4. Включить шнур питания в сеть 50 Гц, 220 В, перевести выключатель питания в положение «СЕТЬ ВКЛ». При этом должна светиться индикаторная лампочка. Указатель прибора должен установиться на нулевую отметку шкалы в течение 1 мин.

2.1.5. Выдержать прибор под номинальным напряжением в течение 20 мин.

2.2. Подготовка к проведению измерений

2.2.1. При проведении измерений необходимо использовать провода и зажимы из комплекта принадлежностей к прибору.

2.2.2. Установить ручками «УСТ. 0 ГРУБО» и «УСТ. 0 ТОЧНО» указатель прибора на нулевую отметку шкалы, а переключача-

тель поддиапазонов перевести в положение, соответствующее измеряемому сопротивлению.

На поддиапазонах от 10^2 до 10^6 Ом, обозначенных на передней панели «ЛИНЕЙНЫЕ», отсчет производить по линейным шкалам, а на поддиапазонах от 10^6 до 10^{13} Ом – по обратно пропорциональным шкалам.

2.2.3. При необходимости заземления измеряемого объекта соединить его с клеммой ⊕ , расположенной на задней панели прибора.

2.2.4. При измерениях на поддиапазонах выше 10^9 Ом поместить измеряемый объект в измерительную камеру, соединив между собой клеммы ⊕ , камеры и прибора.

2.3. Проведение измерений по линейным шкалам.

2.3.1. Установить переключатель поддиапазонов в положение соответствующее измеряемому сопротивлению.

2.3.2. Подключить измеряемый объект к гнездам r_x прибора.

2.3.3. Установить ручкой «УСТ. 0 ТОЧНО» указатель прибора на нулевую отметку шкалы.

2.3.4. Перевести кнопку замыкателя входа в отжатое положение.

2.3.5. Произвести отсчет по линейной шкале, соответствующей установленному поддиапазону, после чего нажать кнопку замыкателя входа. Отключить измеряемый объект.

2.4. Проведение измерений по обратно пропорциональным шкалам.

2.4.1. Установить переключатель поддиапазонов в положение соответствующее измеряемому сопротивлению, предварительно включив измерительное напряжение 100 В.

2.4.2. Подключить измеряемый объект к гнездам r_x прибора.

2.4.3. Установить ручкой «УСТ. 0 ТОЧНО» указатель прибора на отметку ∞ обратно пропорциональных шкал.

2.4.4. Перевести кнопку замыкателя входа в отжатое положение и произвести отсчет по шкале, соответствующей установленному поддиапазону, после чего нажать кнопку замыкателя входа. Отключить измеряемый объект.

2.5. Собрать схему для измерения объемного сопротивления в соответствии с рисунком 1. При этом клемму «Э» заземлить, соединив ее с корпусом прибора.

2.6. Порядок измерения значений R_V и R_S :

2.6.1. Вложить образец исследуемого диэлектрика между электродами оснастки, как показано на рисунке 1. При этом электроды не должны контактировать между собой и расстояние между ними должно быть постоянным. Образцы диэлектриков не должны иметь трещин, сколов, вмятин, заусенцев, загрязнений и короблений, препятствующих плотному прилеганию электродов;

2.6.2. Замерив объемное сопротивление диэлектрика, сделать необходимые переключения цепей для измерения поверхностного сопротивления этого же диэлектрика.

2.6.3. Между электродами оснастки вложить следующий образец диэлектрика и цикл замеров повторить.

2.6.4. Полученные результаты измерения сопротивлений R_V и R_S и рассчитанные значения удельных объемных и поверхностных сопротивлений по формулам (3) и (4) занести в таблицу 1.

Таблица 1

№ пп	Материал	Измерено			Вычислено	
		h, м	R_V , Ом	R_S , Ом	ρ_V , Ом·м	ρ_S , Ом
1						
2						
3						

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Оформленный по общим требованиям отчет по лабораторной работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) порядок выполнения работы и основные расчетные соотношения;
- в) полученные результаты измерений и вычислений, схему установки, таблицу результатов, а также самостоятельные выводы и обобщения по полученным результатам.

4. При подготовке к защите лабораторной работы самостоятельно ознакомиться с использованным методом измерения и с параметрами исследованных диэлектриков и областями их применения, сделать сравнение со справочными данными; необходимо ответить на все приведенные ниже контрольные вопросы. Для подготовки необходимо использовать рекомендуемую литературу.

Самостоятельно проанализировать величину ошибки в полученных данных, по сравнению с известными из литературы.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Из каких составляющих состоит ток утечки через диэлектрик?
2. Назовите характерные особенности электропроводности диэлектриков.
3. Чем вызван ток смещения у диэлектрика?
4. Как произвести калибровку тераомметра?
5. Почему у твердых диэлектриков различают объемное и поверхностное сопротивление, а у проводников и полупроводников нет?
6. Как и почему изменяются величины R_V и R_S при изменении влажности и температуры образца диэлектрика?
7. Каковы меры безопасности при проведении эксперимента при работе с тераомметром?
8. От чего зависит ток абсорбции? Проявляется ли он при измерениях объемного и поверхностного сопротивлений диэлектрика?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИЗУЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИ-
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОНДЕНСАТОРНОЙ
КЕРАМИКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Экспериментально изучить зависимость диэлектрической проницаемости конденсатора от постоянного поляризующего напряжения в области малых значений потенциала. Приобрести навыки проведения электрических испытаний электроизоляционных материалов.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Конденсаторную керамику используют для производства низкочастотных и высокочастотных конденсаторов низкого и высокого напряжений. К достоинствам керамических конденсаторов относят, в первую очередь, значительно более простую технологию изготовления по сравнению с бумажными, пленочными и слюдяными конденсаторами и отсутствие необходимости в герметизации, так как керамические материалы в готовом виде не поглощают влагу. На поверхность конденсаторов методом напыления (вжигания) наносят сплошные серебряные электроды толщиной 15-20 мкм, к которым припаивают медные проводники. Для защиты электродов от коррозии и исключения возможности соединения их с влагой всю поверхность конденсатора покрывают слоем влагостойкой эмали той или иной окраски, указывающей на температурную стабильность его емкости.

Обычно конденсаторная керамика обладает повышенной ($\epsilon=10\div 250$) и высокой ($\epsilon>900$) величиной диэлектрической проницаемости, что обусловлено интенсивно развивающимися в ней процессами поляризации.

Конденсаторная керамика представляет собой соединения диоксида титана TiO_2 (рутил) или диоксида циркония ZrO_2 или титаната стронция $SrTiO_3$, перовскита $CaTiO_3$, диоксида олова SnO_2 с оксидами щелочных или щелочно-земельных металлов, например, SrO , CaO , MgO . Но чаще всего материалы, используемые для изготовления конденсаторов относятся к титаносодержащей керамике, так как в качестве исходного сырья при их изготовлении используется TiO_2 .

Титаносодержащая керамика характеризуется различными механизмами поляризации и высокими значениями диэлектрической проницаемости, а температурный коэффициент диэлектрической проницаемости этих материалов при комнатной температуре имеет отрицательный знак. Они обладают преимущественно электронной проводимостью вплоть до температур 600-800°C. Среди них имеются высокочастотные ($\text{tg}\delta=4\cdot 10^{-3}$) на частоте 1 МГц – Т-20, Т-80, Т-150, низкочастотные ($\text{tg}\delta=3\cdot 10^{-2}$) на частоте 1 кГц – СВТ, Т-1700, Т-7500, а также материалы для варикондов. Использование титаносодержащей керамики в производстве конденсаторов позволило значительно уменьшить размеры и улучшить удельные характеристики конденсаторов. Однако материалы с повышенным значением ϵ обладают пониженной электрической прочностью.

Если основу кристаллической фазы титаносодержащего материала составляет рутил (TiO_2), то керамические материалы относят к рутиловой керамике, если основа перовскитовая (CaTiO_3), то керамику называют перовскитовой, если титанат бария (BaTiO_3), то материал называют сегнетокерамикой.

Одной из особенностей сегнетокерамических материалов является резкая зависимость ϵ от внешнего электрического поля, что дает возможность использования конденсаторов с управляемой емкостью. Такие нелинейные конденсаторы получили название варикондов (сокращение от «вариационные конденсаторы»). Одной из характеристик варикондов является коэффициент нелинейности, определяемый как отношение максимального значения ϵ_M при некоторой (различной для разных материалов) напряженности электрического поля к начальному значению диэлектрической проницаемости ϵ_H (в слабых полях 2-5 кВ/мм). Коэффициент нелинейности для различных материалов лежит в пределах от 4 до 30.

Вариконды предназначены для управления параметрами электрических схем в колебательных цепях, в умножителях частоты и других схемах, путем изменения их емкости одновременным воздействием нескольких напряжений, различающихся по величине и частоте. В простейшем случае им приходится работать при одновременном воздействии постоянного (поляризующего) и переменного напряжений (обычно при напряжении до 500 В).

Для экспериментального изучения поляризационной зависимости диэлектрической проницаемости конденсаторной керамики

необходимо собрать схему лабораторной установки, состоящей из специального прибора, включающего блок питания, вольтметр постоянного тока и миллиамперметр переменного тока, а также из звукового генератора и исследуемого керамического конденсатора рисунок 2.

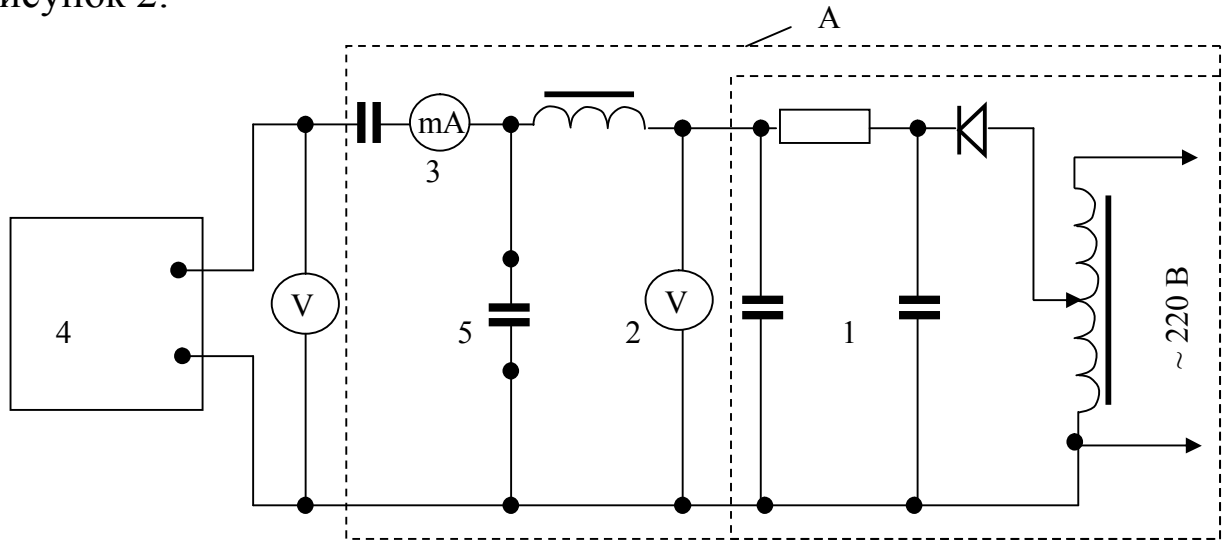


Рисунок 2

А – специальный прибор;

1 – блок питания с регулируемым выходным постоянным напряжением;

2 – вольтметр постоянного тока до 400 В;

3 – миллиамперметр переменного тока;

4 – звуковой генератор;

5 – исследуемый керамический конденсатор.

Вместо специального прибора с блоком питания 1 и приборами 2 и 3 в схеме можно использовать соответствующие отдельные: блок питания, вольтметр и миллиамперметр.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Установить на выходе звукового генератора такое напряжение частотой 5-8 кГц, чтобы отклонение стрелки миллиамперметра составляло $\frac{3}{4}$ значения шкалы. Записать полученное значение напряжения на генераторе и в дальнейшем поддерживать его неизменным.

2.2. Включить блок питания и оставить его на 15 мин прогреться (для установления температурного баланса внутри его). За-

тем плавно увеличивая постоянное поляризующее напряжение на конденсаторе, записывать значения проходящего через него переменного тока (по миллиамперметру).

2.3. Фиксируя одновременно соответствующие показания вольтметра (U_{Π}) и миллиамперметра ($I \equiv \varepsilon$), снять самостоятельно 6-10 точек зависимости $I = f(U_{\Pi})$.

2.4. После выполнения измерений рассчитать величины ε для различных значений постоянного напряжения, исходя из значений тока через конденсатор, действующих значений выходного напряжения звукового генератора и геометрических размеров конденсатора. Затем построить график зависимости $\varepsilon = f(U_{\Pi})$ и самостоятельно сделать обоснованный вывод по результатам эксперимента.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. График $\varepsilon = f(U_{\Pi})$.

3.2. Остальное см. раздел 5 методических указаний.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Какие виды конденсаторной керамики знаете? Каковы их основные свойства?

2. Дайте характеристику изменений диэлектрической проницаемости при регулировании поляризующего напряжения.

3. Каковы преимущества и недостатки конденсаторов с диэлектриком на основе титаносодержащей керамики?

4. Что собой представляют вариконды и для чего они предназначены?

5. Почему сегнетоэлектрики обладают высокой диэлектрической проницаемостью?

6. Назовите основные преимущества сегнетокерамики при производстве конденсаторов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КОНДЕНСАТОР-
НЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить температурную зависимость диэлектрической проницаемости конденсаторных керамических материалов в диапазоне температур от комнатной до 90-100°C.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Одно из основных требований к конденсаторной керамике – она должна обладать большими значениями диэлектрической проницаемости, что обуславливает более высокую интенсивность процессов поляризации. Желательно также, чтобы все конденсаторные материалы имели возможно меньшее значение температурного коэффициента диэлектрической проницаемости TK_ϵ . Для титановых керамических диэлектриков (тикондов) в области низких частот и повышенных температур преобладающее влияние имеет ионно-релаксационная поляризация с несколькими видами релаксаторов: значение ϵ оказывается высоким, а знак TK_ϵ – положительным. При высоких частотах главную роль играют электронная и ионная поляризации, при этом знак TK_ϵ – отрицательный. То же можно отметить и для области низких частот при невысоких температурах. Значения $tg\delta$, незначительные при комнатной температуре, существенно возрастают при ее увеличении. При высоких частотах температурная зависимость тангенса угла диэлектрических потерь выражена слабо.

Обычно все конденсаторные керамические материалы обладают относительно высоким уровнем остальных электрических характеристик: $\rho_V=10^{12}\div 10^{13}$ Ом·м; $tg\delta=0,0005$; $E_{ПР}=20\div 25$ МВ/м. С ростом температуры значения всех этих характеристик у многих керамических диэлектриков понижаются. Однако керамика с большим содержанием рутила (TiO_2) или титанатов кальция ($CaTiO_3$) – перовскита и стронция ($SrTiO_3$) характеризуются пониженной электрической прочностью ($8 \div 12$ МВ/м). Кроме того, титанатовая керамика подвержена электрохимическому старению при длительной выдержке под постоянным напряжением. Вследствие высокого от-

рицательного значения TK_ϵ (от $-1500 \cdot 10^{-6}$ до $-3000 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) эти материалы используются для изготовления лишь тех конденсаторов, к которым не предъявляются требования температурной стабильности емкости. Такие конденсаторы находят специальное применение.

Повышение температурной стабильности свойств материалов добиваются за счет снижения диэлектрической проницаемости путем введения в состав керамики кристаллообразующего компонента с положительным TK_ϵ . Такие тиконды часто называют термокомпенсированными. К этой группе материалов относятся титаноцирконевая керамика, лантановая и станатная керамика. Изменяя состав этой керамики можно получить очень незначительный TK_ϵ как с положительным, так и с отрицательным знаком. Используется она для изготовления высокочастотных термостабильных конденсаторов.

В ряде случаев в качестве конденсаторных материалов применяют и некоторые виды установочной керамики (ультрафарфор, стеатит).

Основу низкочастотной конденсаторной керамики составляют титанат бария (BaTiO_3) и твердые растворы с сегнетоэлектрическими свойствами. Благодаря присущей сегнетоэлектрикам доменной поляризации конденсаторная сегнетокерамика обладает высокой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon=900 \div 8000$), которая однако не отличается температурной стабильностью и зависит также от частоты и напряженности электрического поля. Сегнетокерамика применяется для изготовления малогабаритных низкочастотных конденсаторов с большой удельной емкостью, благодаря большой нелинейности поляризации – для диэлектрических усилителей, модуляторов и других управляемых устройств, а также для других целей. Конденсаторная сегнетокерамика и любой диэлектрик, для производства обычных конденсаторов должна иметь наибольшую величину ϵ с малым TK_ϵ , незначительные потери, наименьшую зависимость ϵ и $\text{tg}\delta$ от напряжения электрического поля (малую нелинейность), высокие значения удельного объемного и поверхностного сопротивлений и электрической прочности. В промышленности используют несколько сегнетокерамических материалов, каждый из которых применяют для определенных типов конденсаторов, так как ни один материал не отвечает совокупности всех перечисленных требований. Ограничивает применение этих материалов

сильное снижение ϵ и значительное увеличение $\operatorname{tg}\delta$ при возрастании частоты напряжения. Характерной особенностью всех сегнетокерамических материалов является резкое возрастание ϵ при температуре Кюри.

Вышеприведенный краткий анализ, показывает актуальность изучения температурной зависимости диэлектрической проницаемости конденсаторных керамических диэлектриков. Принципиальная схема установки для изучения этой зависимости в заданном диапазоне температур представлена на рисунке 3.

Исследуемый конденсатор помещен в масляную рубашку (трансформаторное масло) в стеклянной трубке, которая в свою очередь, помещена в водяной термостат. Водяной термостат подогревается в процессе эксперимента.

Трансформаторное масло должно обеспечить здесь хорошую электрическую изоляцию и хорошую передачу тепла, благодаря высокой его теплопроводности.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Собрать схему установки для исследования температурной зависимости диэлектрической проницаемости конденсаторных керамических диэлектриков (рис.3.), предварительно заполнив водяной термостат водой – $1/2$ его объема и стеклянную трубку с исследуемым конденсатором – трансформаторным маслом.

2.2. Установить на выходе звукового генератора такое напряжение частотой 5-8 кГц, чтобы отклонение стрелки миллиамперметра составляло чуть больше $3/4$ значения шкалы. Записать полученное значение выходного напряжения на генераторе и в дальнейшем поддерживать его неизменным. Зафиксировать значение тока, проходящего через исследуемый конденсатор и соответствующую температуру по термометру.

2.3. Включить нагрев водяного термостата. По мере роста температуры, через определенные интервалы, например через 10°C , начиная от исходной – комнатной, фиксировать значения температуры одновременно с током, протекающим через конденсатор. Выходное напряжение генератора остается постоянным по величине.

2.4. Измерения продолжать до 90°C или до закипания воды в термостате, после чего установку выключить.

2.5. Исходя из значений напряжений, тока через конденсатор, геометрических размеров последнего, рассчитать величины ϵ для различных температур. Затем построить график зависимости $\epsilon=f(T)$ и сделать вывод о величине и знаке TK_{ϵ} исследованного конденсатора и дать рекомендации по его эксплуатации (область температур).

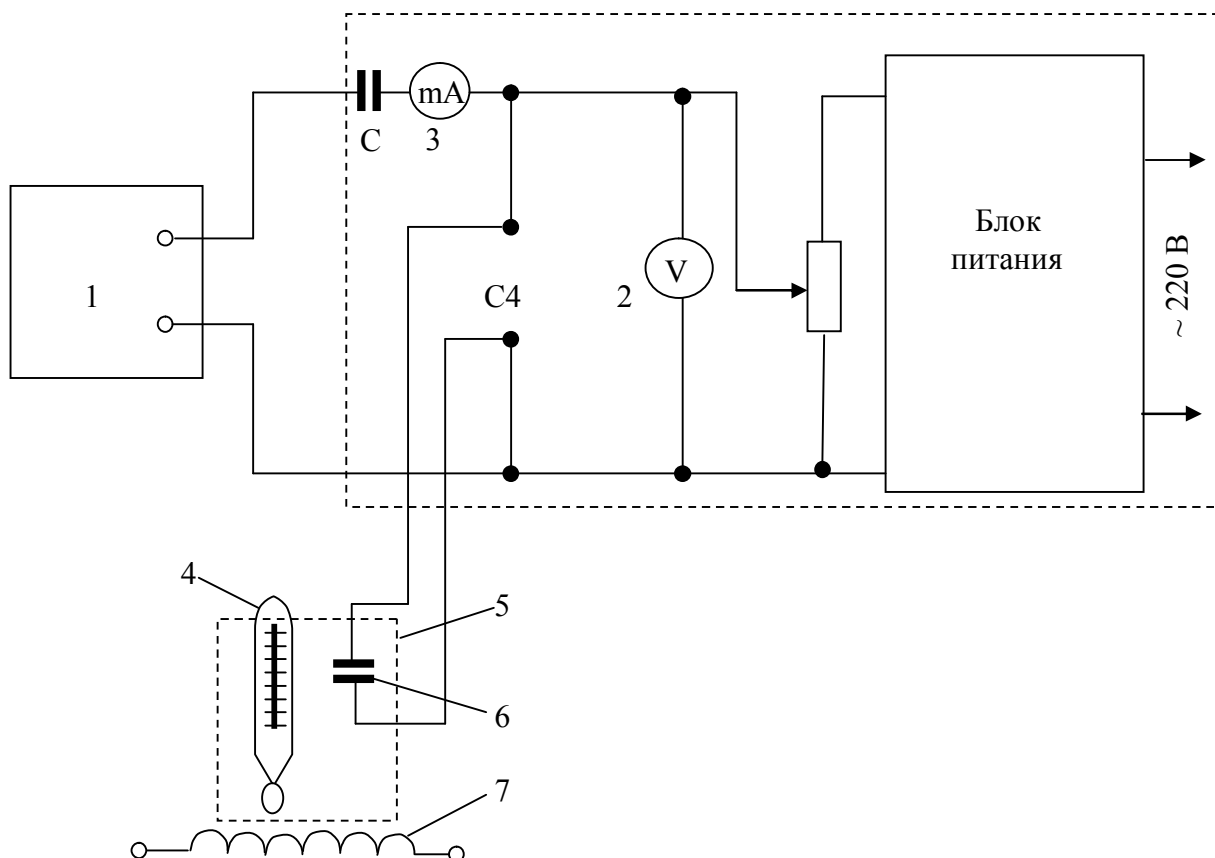


Рисунок 3

- 1 – звуковой генератор;
- 2 – вольтметр переменного тока;
- 3 – миллиамперметр переменного тока;
- 4 – термометр со шкалой более 100°C ;
- 5 – водяной термостат;
- 6 – исследуемый конденсатор в стеклянной трубке;
- 7 – электрический нагреватель (электроплита).

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. График $\epsilon = f(T)$.

3.2. Остальное см. раздел 5 методических указаний.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Приведите примеры низкочастотных керамических материалов и укажите их достоинства и недостатки.
2. Назовите способы создания термокомпенсированной конденсаторной керамики.
3. Каково назначение применяемого трансформаторного масла?
4. Для чего служит водяной термостат?
5. Как можно повысить температурную стабильность свойств конденсаторной керамики?
6. Назовите два основных вида поляризации.
7. Какая поляризация наблюдается у всех видов диэлектриков?
8. Опишите механизм спонтанной (самопроизвольной) поляризации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ В ЛИСТОВЫХ ФЕРРО-
МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Ознакомиться с одним из методов определения магнитных потерь в листовых ферромагнитных материалах при заданной амплитуде индукции, и получить опытные значения зависимости общих удельных потерь от максимального значения индукции в сердечнике из листовой электротехнической стали.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Свойства ферромагнитных материалов влияют на характеристики электрических машин, аппаратов и приборов, в которых они применяются.

В данной лабораторной работе из многочисленных характеристик магнитных материалов, определяемых их магнитными свойствами, рассматривается только измерение магнитных потерь в электротехнических сталях, которое обычно проводится на заводах, с целью проверки и определения качества поставляемой стали для электротехнических устройств.

При работе в переменных магнитных полях в магнитных материалах возникают потери энергии, обусловленные потерями на гистерезис, на вихревые токи и на дополнительные потери (обусловленные такими явлениями, как магнитная вязкость, резонанс смещения магнитных стенок, резонанс, вызванный анизотропностью и вращением вектора намагниченности и резонанс формы). Потери на гистерезис за один цикл перемагничивания определяются площадью статической петли гистерезиса, полученной при медленном изменении магнитного поля. Потери на вихревые токи определяются величиной электрического сопротивления магнитного материала и зависят от частоты перемагничивания, возрастая пропорционально квадрату увеличения частоты изменения магнитного поля. Все эти потери сопровождаются поглощением энергии магнитного поля и превращением ее в конечном счете в тепло.

Таким образом, общие потери в ферромагнетиках, находящихся в переменном магнитном поле, можно представить в виде суммы:

$$P_c = P_z + P_e + P_d$$

где: P_z – потери на гистерезис;
 P_e -- потери на вихревые токи;
 P_d -- дополнительные потери.

Мощность потерь, отнесенная к единице массы (веса) или единицы объема материала, называется удельной мощностью потерь.

Мощность потерь на гистерезис определяется как:

$$P_r = \eta \cdot f \cdot B_{\max}^n \cdot v,$$

где η – коэффициент потерь на гистерезис, зависящий от материала;

B_{\max} – максимальная магнитная индукция, достигаемая в течение цикла;

n – показатель степени в пределах от 1,6 до 2 ;

f – частота магнитного поля;

v – объем ферромагнетика.

Мощность потерь на вихревые токи можно определить по формуле:

$$P_B = \varepsilon \cdot f^2 \cdot B_{\max} \cdot v,$$

где ε – коэффициент, зависящий от типа ферромагнетика (в частности от его удельного электрического сопротивления).

Остальные параметры те же, что и в формуле потерь на гистерезис.

Мощность дополнительных потерь обычно определяется как разность между общими потерями и суммой потерь на гистерезис и вихревые токи, т.е.:

$$P_d = P_c - (P_z + P_e).$$

Общие потери в ферромагнетиках с небольшой величиной коэрцитивной силы (в магнитомягких материалах) в переменных магнитных полях небольшой (промышленной) частоты, но большой

напряженности обычно оценивают способом ваттметра и использованием установки.

Такая установка представляет собой замкнутый магнитопровод, набранный из полос исследуемого материала (трансформаторной или электротехнической стали) с размещенными на нем двумя обмотками, т.е. является обычным трансформатором. Принципиальная схема установки с измерительными приборами изображена на рисунке 4.

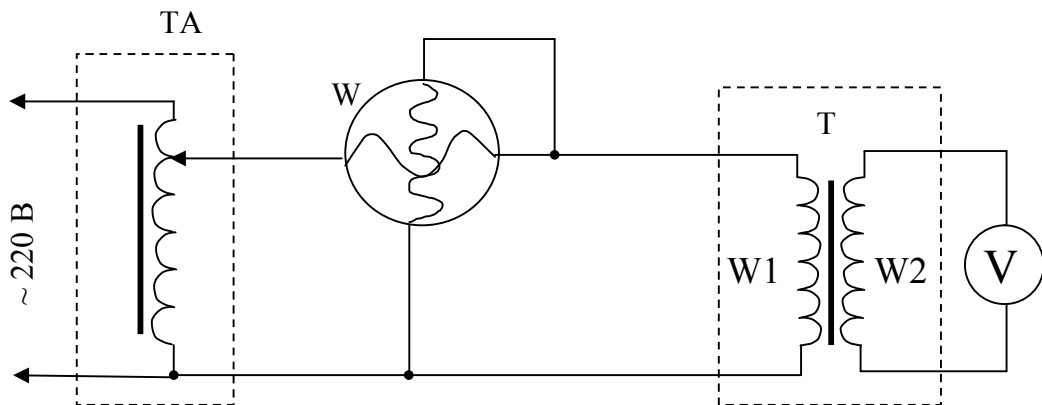


Рисунок 4

где: W – ваттметр, $ТА$ – ЛАТР, V – вольтметр, T – трансформатор

Как видно из приведенной схемы измерительной установки, в первичную обмотку трансформатора включена токовая катушка ваттметра, во вторичную обмотку включен вольтметр. Поскольку никакая другая нагрузка ко вторичной обмотке не подключена, можно считать, что трансформатор работает вхолостую.

Из электротехники известно, что в режиме холостого хода вся подводимая к первичной обмотке трансформатора мощность идет на покрытие его потерь. Так как в таком режиме работы ток во вторичной обмотке почти не протекает, а по первичной обмотке протекает ток холостого хода, который составляет только доли рабочего тока, то потерями в обмотках трансформатора («меди») в режиме холостого хода обычно пренебрегают, и относят всю потребляемую при этом трансформатором мощность к потерям в его сердечнике («железе»). Измерительные приборы, подключенные к трансформатору

тору, потребляют некоторую мощность, измеряемую ваттметром, поэтому общая мощность:

$$P_o = P_{cm} + P_v + P_w.$$

Отсюда можно определить общие потери в стали сердечника трансформатора:

$$P_{cm} = P_o - (P_v + P_w).$$

Зная сопротивление приборов вольтметра P_v и обмотки напряжения ваттметра P_w , можно найти потери в стали:

$$P_{cm} = P_o - \left(\frac{U_v^2}{R_v} + \frac{U_{1w}^2}{R_w} \right). \quad (5)$$

Общая удельная мощность потерь в стали:

$$P_{oy} = \frac{P_{cm}}{m}, \quad (6)$$

где: m – масса сердечника, кг.

Значение P_{oy} оценивают при определенном значении индукции B_{max} в сердечнике трансформатора и определенной частоте магнитного поля f .

Зависимость общих удельных потерь в стали от индукции $P_{oy} = f(B_{max})$ представляется в основном в виде графика. Причем величина индукции в сердечнике измеряется косвенным методом, для чего используется хорошо известное в электротехнике соотношение между э.д.с. индуцируемой во вторичной обмотке трансформатора (e_2) и максимальной величиной индукции B_{max} в сердечнике трансформатора, (здесь $e_2 \approx U_2$):

$$U_2 = 4,44 \cdot f \cdot \omega_2 \cdot S \cdot B_{max} \cdot 10^{-8}, \text{ В} \quad (7)$$

где: ω_2 – число витков вторичной обмотки трансформатора;
 S – площадь сечения сердечника трансформатора, см^2 .

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Собрать схему установки по рисунку 4.

Ознакомиться с приборами и трансформаторами, применяемыми в работе, записать их паспортные данные и характеристики.

2.2. Подключить выводы первичной обмотки трансформатора через ваттметр к выходным клеммам лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа), регулирующего напряжение. Вывести ручку управления ЛАТРа в крайнее левое положение и после проверки собранной схемы преподавателем, подключить ее к сети 220 В.

2.3. Предварительно рассчитать значения напряжения U_2 во вторичной обмотке трансформатора, соответствующие заданным величинам f и V_{\max} (см. табл. 2). Расчет вести по формуле 7. Параметры испытуемого трансформатора: $m =$ кг; $S =$ см²; $\omega_2 =$ витков.

Таблица 2

№ п/п	V_{\max} , Тл	f , Гц	U_2 , В	P , Вт	P_v , Вт	P_w , Вт	P_{cm} , Вт	P_{oy} , Вт
1	0	50						
2	2080	50						
3	3120	50						
4	4160	50						
5	5200	50						
6	6240	50						
7	7275	50						
8	8325	50						
9	9590	50						

2.4. Медленно вращая рукоятку ЛАТРа вправо, установить поочередно по вольтметру (во вторичной обмотке трансформатора) вычисленные ранее значения U_2 . Одновременно необходимо фиксировать показания ваттметра. Результаты занести в таблицу 2.

2.5. Используя выражения (5) и (6), по измеренным параметрам из таблицы 2 и при известных параметрах приборов (R_v и R_w определяют по шкале приборов), вычислить последовательно сначала P_{cm} , а затем P_o для всех значений U_2 .

2.6. После проведения измерений рукоятку ЛАТРа установить в крайнее левое положение, схему обесточить и разобрать.

2.7. По полученным данным построить график зависимости $P_{oy} = f(V_{\max})$

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. График зависимости $P_{oy} = f(B_{max})$.

3.2. Остальное см. раздел 5 методических указаний.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Из каких составляющих состоят общие потери в ферромагнетиках, находящихся в переменном магнитном поле?
2. Опишите положительное действие кремния в составе кремнистой электротехнической стали.
3. Почему в кремнистой электротехнической стали содержание кремния должно быть не более 4,8%?
4. Опишите преимущества текстурированной электротехнической стали при производстве трансформаторов.
5. Почему магнитопроводы из магнитомягких материалов, работающих в переменных полях изготавливают из тонких пластин с изоляционным покрытием?
6. Опишите влияние примесей и дефектов кристаллической решетки железа на его магнитные свойства.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Опытным-расчетным путем определить ширину запрещенной зоны полупроводника, аналитическим и графоаналитическим способами и сравнить полученные результаты.

1. ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно квантовой теории энергия электронов в атоме может принимать лишь дискретные значения. Эти значения образуют так называемые уровни энергии. На каждом энергетическом уровне в соответствии с принципом Паули может находиться не более двух электронов с противоположными направлениями собственных моментов (спинов). Атомы кристаллической решетки образуют единую квантовую систему, в пределах которой тоже действует принцип запрета Паули.

Уровни энергии объединяются в зоны: 1) валентную; 2) запрещенную и 3) свободную зону или зону проводимости. У проводников запрещенная зона, расположенная между валентной и свободной зонами, отсутствует. У диэлектриков она значительно больше чем у полупроводников.

Полупроводники по величине проводимости занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Важным их свойством является возрастание проводимости с повышением температуры, в то время как у металлов – проводников проводимость снижается.

При абсолютном нуле температуры все электроны атомов кристалла должны иметь минимальную энергию. Электроны металлов попарно располагаются на уровнях валентной зоны, причем часть этих уровней остается незаполненной. Расстояние между соседними энергетическими уровнями порядка 10^{-23} ЭВ, т.е. чтобы перевести электрон с соседнего уровня на следующий, более высокий, надо затратить энергию 10^{-23} ЭВ.

Уже при 1° энергия теплового движения электрона составляет 10^{-4} ЭВ, что значительно больше указанной энергии. Это значит, что при температурах, отличных от 0°K , электроны металла вследствие теплового движения переходят на более высокие уровни. Ес-

ли металл поместить в электрическое поле, то электроны приобретают дополнительную энергию, т.к. будут ускоряться полем, обеспечивая хорошую проводимость.

У полупроводников при 0°K все уровни валентной зоны парно заполнены электронами и незаполненных уровней нет. Чтобы электроны могли переместиться из валентной зоны в свободную зону, надо сообщить энергию $\Delta W_{\text{пр}}$ порядка нескольких десятых долей электрон-вольта. Энергия теплового движения при комнатной температуре и выше оказывается достаточной для преодоления этой запрещенной зоны и перевода электронов в свободную зону, которая является зоной проводимости для них. Одновременно электроны с более низких уровней валентной зоны будут подниматься на более высокие освобожденные уровни.

У диэлектриков валентная зона полностью заполнена. Энергия необходимая для ее преодоления (ширина запрещенной зоны) $\Delta W_{\text{д}}$ порядка нескольких электрон-вольт. Поэтому диэлектрики имеют проводящие свойства при высоких температурах.

Рассмотрим, как можно определить ширину запрещенной зоны полупроводников опытным путем.

Из квантовой теории известно, что удельная проводимость полупроводников:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta W_{\text{пр}}}{2KT}}$$

где σ_0 – проводимость при абсолютном нуле температуры;

T – абсолютная температура в данный момент;

K – постоянная Больцмана, $K = 8,6167 \cdot 10^{-5}$ ЭВ·град⁻¹

$\Delta W_{\text{пр}}$ – ширина запрещенной зоны полупроводника.

При известном значении σ и линейных размерах можно определить величину сопротивления полупроводникового образца:

$$R = \frac{l}{\sigma \cdot S},$$

где l – длина образца;

S – площадь его поперечного сечения.

Взяв отношение сопротивлений образца при разных температурах получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = e^{\frac{\Delta W_{nn}}{2K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)}$$

Прологарифмируем полученное выражение:

$$\ln \frac{R_1}{R_2} = \frac{\Delta W_{nn}}{2K} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

Из последнего выражения, после преобразований, получим:

$$\Delta W_{nn} = 2K \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}, \quad (8)$$

где T_1 – меньшее, а T_2 – большее значение абсолютной температуры образца полупроводника при нагреве.

Подставив в формулу (8) экспериментально полученные параметры при нагреве образца и постоянную Больцмана определим аналитически ширину запрещенной зоны полупроводника ΔW_{nn} . В этом заключается сущность аналитического способа нахождения величины ΔW_{nn} .

Рассмотрим графоаналитический способ определения ширины запрещенной зоны. По этому способу вначале для исследуемого полупроводника строится график зависимости $\ln R = \varphi(T^{-1})$. Сопротивление полупроводника R , как известно, зависит от температуры:

$$R = R_o e^{\frac{\Delta W_{nn}}{2KT}},$$

Прологарифмировав это выражение, получим:

$$\ln R = \ln R_o + \frac{\Delta W_{nn}}{2KT}.$$

При этом тангенс угла наклона кривой: $\ln R = \varphi(T^{-1})$ к оси абсцисс (на которой откладываются значения T^{-1}) равен:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Delta W_{nn}}{2K}.$$

Из этого выражения ширина запрещенной зоны $\Delta W_{\text{пн}}$ определяется:

$$\Delta W_{\text{пн}} = 2K \cdot \text{tg} \varphi. \quad (9)$$

Несложно видеть, что точность оценки $\Delta W_{\text{пн}}$ по этому способу, в соответствии с формулой (9), будет зависеть от правильности выбора масштаба при построении графика $\ln R = \varphi (T^{-1})$.

Схема установки для определения ширины запрещенной зоны полупроводника представлена на рисунке 5.

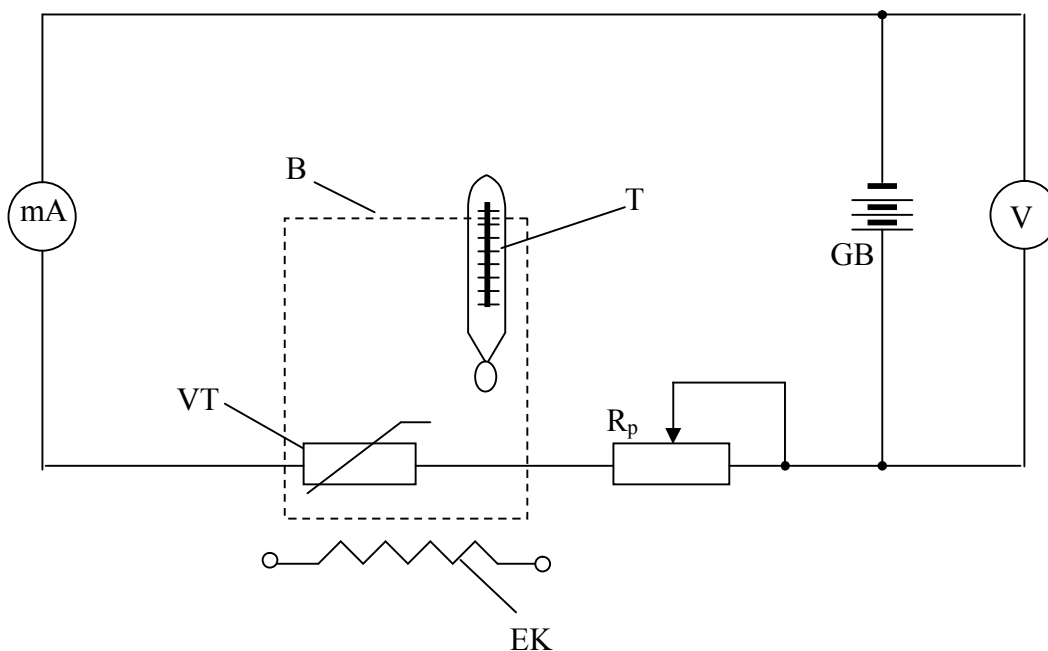


Рисунок 5

VT – образец полупроводника, помещенный в стеклянную трубку с трансформаторным маслом, подогреваемый в колбе с водой (B – колба с водой); T – термометр; R_p – реостат; GB – регулируемый источник постоянного тока на 2 В; EK – электронагреватель (электрическая плита); mA, V – миллиамперметр и вольтметр.

2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Собрать электрическую схему по рис.5. В качестве образца полупроводника целесообразно использовать термистор.

2.2. Установить напряжение на полупроводнике. Для германиевого образца напряжение выбрать порядка $0,3 \div 0,5$ В; для кремниевого образца – $0,7 \div 0,9$ В. В дальнейшем напряжение поддерживать постоянным.

2.3. Включить электронагреватель. Фиксировать показания миллиамперметра через каждые 10°C температуры, одновременно записывать показания термометра. Замеры производить начиная от комнатной температуры до $90 \div 100^\circ\text{C}$.

Полученные значения токов и температуры, выраженной в градусах Кельвина ($T, ^\circ\text{K} = t^\circ\text{C} + 273^\circ$) занести в таблицу 3.

Таблица 3

Измерить			Вычислить				
U, В	I, А	T, °К	R, Ом	T^{-1}	$\ln R$	$\Delta W_{\text{мп}}$, ЭВ аналит. способом	$\Delta W_{\text{мп}}$, ЭВ, графоана- лит. спосо- бом

2.4. Построить график зависимости $\ln R = \varphi (T^{-1})$. Для этого, отложив по оси абсцисс рассчитанные значения T^{-1} , выбрать масштаб и отложить по оси ординат $\ln R$. От выбора масштаба для значений $\ln R$, будет зависеть точность оценки $\Delta W_{\text{мп}}$.

2.5. Определить величины $\Delta W_{\text{мп}}$ аналитическим способом. Для этого, выбрав по таблице 3 значения сопротивления R (рассчитываются по закону Ома при известных U и I, измеренных по приборам: $R = U/I$) и соответствующие температуры, рассчитывают $\Delta W_{\text{мп}}$ по формуле (8). Результат занести в таблицу 3.

2.6. По графику $\ln R = \varphi (T^{-1})$ определить $\Delta W_{\text{мп}}$, используя формулу (9). При этом для каждого значения температуры образца, в соответствующей точке T^{-1} на кривой провести касательную к оси абсцисс. По углу пересечения касательной с этой осью φ , определить значение $\text{tg } \varphi$, а затем рассчитать $\Delta W_{\text{мп}}$, используя формулу (9), т.е. по графоаналитическому способу.

2.7. Сравнить результаты, полученные при оценке $\Delta W_{\text{мп}}$ по аналитическому и графоаналитическому способам, сделать выводы.

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1. График зависимости $\ln R = \varphi (T^{-1})$.

3.2. Остальное см. раздел 5 методических указаний.

Контрольные вопросы к защите лабораторной работы

1. Перечислите характерные свойства полупроводников.
2. Дайте характеристику электропроводности полупроводников.
3. Дайте определение уровней энергии.
4. Каков физический смысл $\Delta W_{\text{пл}}$?
5. Какова ширина запрещенной зоны у полупроводников?
6. Какие химические элементы относятся к простым полупроводникам?
7. Чем отличаются собственные полупроводники от примесных?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесов С.Н., Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник для вузов/. Издание второе, переработанное и дополненное. – М.: Высшая школа, 2004. - 519 с.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр.отд., 1985. - 304 с.
3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа, 1985. -367 с.
4. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1976. – 336 с.
5. Алиев И.И., Калганова С.Г. Электротехнические материалы и изделия. Справочник. М.: ИП РадиоСофт, 2005. – 352 с.