

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГОУ ВПО «БРЯНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ»

Кафедра электрификации и автоматизации сельского хозяйства

Л.М. Маркарянц
Е.Ф. Маловастая
В.В. Ковалев

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И АППАРАТОВ

Учебно-методические указания к выполнению лабораторных
работ по электроматериаловедению

Четвертое издание

Брянск – 2009

УДК 621.319
ББК 31.2
М 25

Маркарянц Л.М., Маловастая Е.Ф., Ковалёв В.В.
Электротехнические материалы в конструкциях электрических машин и аппаратов. Учебно-методические указания к выполнению лабораторных работ по электроматериаловедению. Брянск. Издательство Брянской ГСХА, 2009 г. 46 с.

Содержание учебно-методических указаний позволяет студентам самостоятельно подготовиться к выполнению лабораторных работ, выполнять их, изучить свойства и характеристики электротехнических материалов, применяемых в электрических машинах и аппаратах двигателей.

Для студентов очного и заочного отделения по специальности
311400 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства

Рецензент: д.т.наук, профессор Комаров И.Н.

Рекомендовано к изданию методической комиссией факультета инженеров АПК и природообустройства Брянской государственной сельскохозяйственной академии протокол №8 от 28.02.2005 года.

© Брянская ГСХА, 2009
© Маркарянц Л.М., 2009
© Маловастая Е.Ф., 2009
© Ковалёв В.В., 2009

Организация лабораторных занятий

Выполнение лабораторных работ способствует лучшему усвоению студентами теоретических положений технологии конструкционных материалов и электроматериаловедению и обеспечивает приобретение практических навыков и более глубокому освоению конструкционных материалов.

До начала лабораторных работ студенты знакомятся с правилами техники безопасности и расписываются в соответствующем журнале.

К выполнению каждой лабораторной работы студент должен подготовиться, то есть изучить соответствующий раздел курса по рекомендуемой литературе. До проведения работы студенты изучают описание лабораторной работы, составляют необходимые таблицы, заготавливают формы графиков. Выполняют в случае необходимости требуемые расчёты и т.д.

Проверка подготовленности студента и выполнение очередной лабораторной работы осуществляется преподавателем на коллоквиуме или индивидуальной беседе. Если студент не знает данного раздела курса, содержания. Методики проведения предстоящей лабораторной работы. То он не допускается к её выполнению.

Запуск установки в работу или подключение схем к источнику питания производится только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Для выполнения лабораторных работ учебная группа в зависимости от наличия оборудования и рабочих мест может разделиться на бригады не более чем по три человека.

В процессе проведения лабораторной работы полученные результаты следует обработать, отстроить не обходимые графические зависимости ,сделать анализ, показать преподавателю и только после его разрешения отключить схему и все оборудование ,приборы сдать лаборанту ,привести рабочее место в надлежащее состояние .

По каждой лабораторной работе студент составляет индивидуальный отчет, для чего в процессе опытов их число должно быть не менее числа членов бригады. Отчет должен быть оформлен в соответствии со схемой, изложенной в каждой работе и содержать отчеты на контрольные вопросы, необходимые таблицы графики, пояснения, анализ выводы.

Правила безопасной работы в лаборатории электрооборудования и средств автоматизации

Работающие в лаборатории электрооборудования и средств автоматизации подвергаются опасности поражения электрическим током, воздействия излучения источников электромагнитных полей и травмирования вращающимися частями установок с электрическими машинами.

Для снижения вероятности поражения электрическим током:

- включайте установку для проведения опыта только после разрешения

преподавателя;

- не прикасайтесь к клеммам и проводам установки, находящейся под напряжением;

- перед каждым включением установки предупреждайте об этом своих товарищей по звену;

- запомните место положение рубильников и выключателей, отключающих напряжение на установке и в лаборатории;

- не загромождайте рабочее место лабораторной установки одеждой и другими посторонними предметами.

Для уменьшения воздействия электромагнитного излучения:

- избегайте прямого попадания излучения в глаза;

- не оставляйте включенными установки без необходимости;

- по мере возможности экранируйте источники излучения.

Для исключения травмирования вращающимися деталями:

- не загромождайте рабочее место посторонними предметами;

- не работайте в одежде, допускающей возможность наматывания;

- не облакачивайтесь на оборудование и приборы лабораторной установки;

- предупреждайте коллег по звену о каждом включении установки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЯХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с электротехническими и конструкционными материалами электрических двигателей.

1.2. Изучить показатели свойств и характеристики электротехнических материалов, применяемых в электрических двигателях.

2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Записать в отчёт технические данные, приведённые на щитке электродвигателя. Записать условное обозначение типа двигателя и расшифровать его. По условному обозначению типа двигателя определить конструкционные материалы станины и подшипниковых щитов.

2.2. Изучить по плакату устройство электродвигателя.

2.3. Записать в отчёт марку электротехнической стали, применённой в электродвигателе и законспектировать показатели свойств и характеристики этой стали [1, с.319-323].

2.4. Записать в отчёт указанный на щитке двигателя класс изоляции. Из таблицы нагревостойкости изоляционных материалов выписать названия

основных материалов и пропитывающих или связующих составов, соответствующих классу изоляции электродвигателя. Законспектировать основные показатели свойств и характеристики электроизоляционных материалов [1, с.149, 150; 159-163].

2.5. Записать в отчёт основные показатели свойств проводниковых материалов обмотки статора и ротора двигателя [1, с.231-236].

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

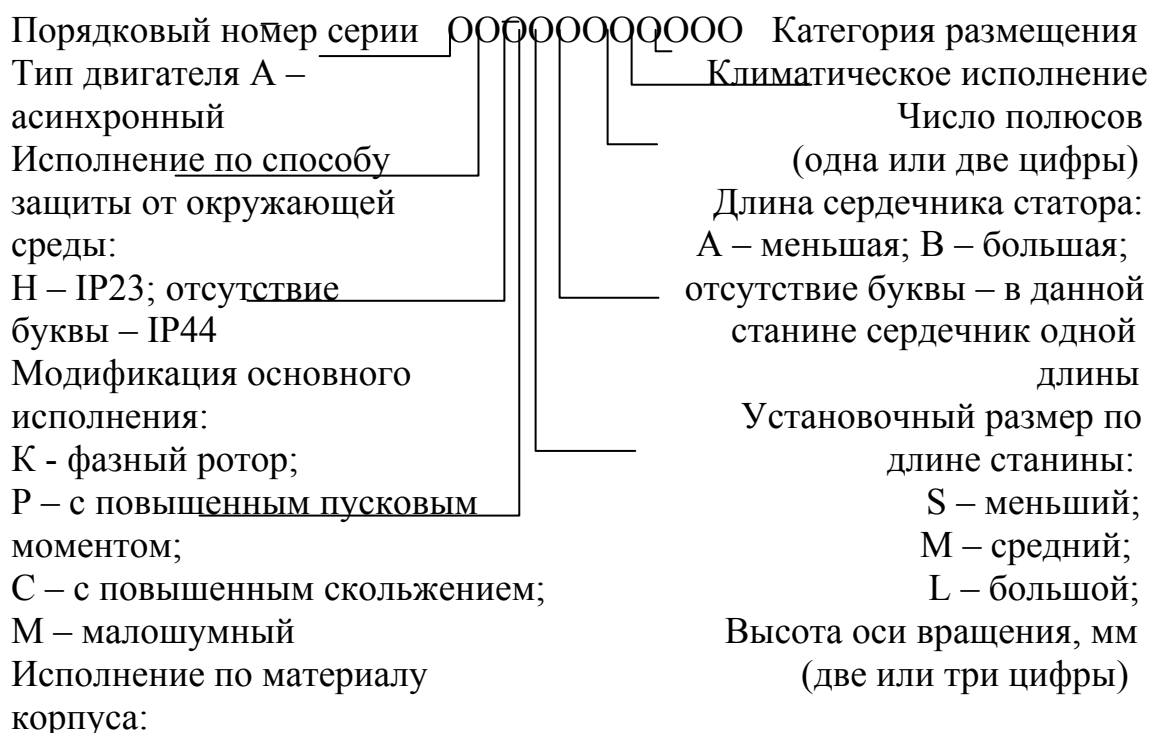
На заводском щитке электродвигателя указаны основные данные (рис.1), по которым можно определить и рассчитать показатели свойств двигателя.

Некоторые данные заложены в обозначении типа двигателя. Каждая буква и цифра, указанная в типе двигателя, несёт в себе определённую информацию. Структура условного обозначения типа электродвигателя приведена на рис.2

Двигатель асинхронный

Тип	4AA80B4Y3	№	1492		
Эф	~ 50 Гц	Δ/	220 / 380 В	6,2 / 3,6 А	
1,5 кВт	1400 об / мин	КПД	77 %	cos φ	0,83
Режим	S 1	кл. изол.	B	ГОСТ 16264. 1 – 85	20 кг
IP 44	Сделано в СССР		01.88 г.		

Рис. 1



А – станина и щиты из алюминия;
Х – станина алюминиевая;
щиты чугунные или наоборот;
отсутствие буквы корпус из чугуна или стали;

Рис. 2

3.1. Конструкционные материалы

Двигатели с высотами оси вращения 50...63 мм имеют: станину и подшипниковые щиты, литые из алюминиевого сплава. Щиты армированы стальной втулкой. Корпус и крышка вводного устройства могут быть выполнены из пластмассы.

Двигатели с высотами оси вращения 71...100 мм изготавливают с двумя вариантами станин и подшипниковых щитов; чугунные или из алюминиевого сплава, корпус вводного устройства - из алюминиевого сплава.

Двигатели с высотами оси вращения 112...200 мм имеют чугунную станину, чугунные щиты и литые из алюминиевого сплава корпуса вводных устройств.

Болты и винты крепления, заземления, выводные концы вала двигателей имеют кадмиевое антикоррозионное покрытие. Наружная и внутренняя поверхности станины, подшипниковых щитов, наружная поверхность ротора покрывается химостойкой цветной эмалью ЭП-40- В некоторых типоразмерах двигателей вместо эмали ЭП-40 используют эмаль КО-935.

3.2. Магнитные материалы электродвигателей

Сердечники (магнитопроводы) статора и ротора набирают из штампованных изолированных листов электротехнической стали, обычно толщиной 0,5 мм.

Для двигателей серии 4А мощностью до 15...20 кВт применяется холоднокатаная сталь марки 2013 (нелегированная), а для машин большей мощности - сталь марки 2212 (слаболегированная). (Под легированием понимается добавление в электротехническую сталь кремния, что снижает потери на вихревые токи. Сталь марки 2013 содержит до 0,4 %, марки 2212 - около 1 % кремния).

Изоляция листов статора - лаковая плёнка, ротора - окалина, образующаяся в процессе прокатки листов стали.

Показатели свойств и характеристики сталей приведены в [1].

3.3. Электроизоляционные материалы двигателей

В электродвигателях современных конструкций применяют самые разнообразные электроизоляционные материалы. Применение того или иного материала зависит от условий эксплуатации двигателя, рабочего напряжения, предельно допустимого нагрева его в процессе работы и других факторов.

Электрические машины в зависимости от предельно допустимой рабочей температуры изоляции подразделяются на классы изоляции. ГОСТ 8865-87 предусматривает семь классов изоляции. Обозначения классов изоляции электрических машин и применяемые группы изоляционных материалов приведены в табл.1.

В электродвигателях мощностью от нескольких десятков Вт до сотен кВт изоляцию по назначению подразделяют на корпусную и витковую. Корпусная изоляция разделяет токоведущие проводники от сердечника магнитопровода. Витковая изоляция разделяет витки в одной секции или катушке обмотки.

В качестве корпусной изоляции чаще всего применяют электрокартоны и лакоткани. Из электрокартонов наибольшее применение находит электрокартон марки ЭВ, предназначенный для работы в воздушной среде. Лакоткани же применяют различных видов в зависимости от допустимой температуры нагрева электродвигателя.

Таблица 1

Обозначение класса изоляции электрических машин	Допустимая температура, нагрева изоляции, °С	Изоляционные материалы	
		основные	пропитывающие и связующие
У	90	Волокнистые материалы из хлопка, шелка, целлюлозы	Не требуются
А	105		Масло, лаки, компаунды
Е	120	Синтетические органические материалы (плёнки, волокна, смолы, компаунды и др.)	Термопластичные и термореактивные компаунды, лаки
В	130	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна	Органические масла, лаки и составы
Ф	155		Синтетические смолы, лаки и составы
Н	180		Кремнийорганические лаки
С	свыше 180	Материалы на основе керамики, асбоцемента, стекловолокна, слюды, кварца, полиамидов	Не требуются

Лакоткани на хлопчатобумажной основе - ЛХМ и ЛХБ и лакоткани на шёлковой основе - ЛШМ, ЛШМС применяют в электродвигателях класса нагревостойкости А (105°С) и Е (120°С).

Стеклолакоткани ЛСМ, ЛСБ, ЛСП и ЛСК применяют в электродвигателях класса нагревостойкости В (130°С); F (155°С) и Н (180°С).

Витковая изоляция, которую можно рассматривать как изоляцию обмоточного провода, бывает трёх видов:

- 1) эмалевая;
- 2) волокнистая или комбинированная, эмалево-волокнистая;
- 3) плёночная.

Наиболее распространённой изоляцией обмоточных проводов электродвигателей является эмалевая изоляция. Она в 1,5...3,0 раза тоньше, чем эмалево-волокнистая изоляция, что позволяет увеличивать коэффициент заполнения паза проводниками. Эмалевая изоляция хорошо проводит тепло, является влагостойкой и значительно дешевле плёночной изоляции.

В двигателях класса нагревостойкости А (105°С) применяют обмоточные провода ПЭВ-1, ПЭВ-2 и ПЭМ-1, ПЭМ-2 с эмалевой изоляцией на основе поливинилацеталевых смол.

В двигателях класса нагревостойкости Е (120°С) используют обмоточные провода ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2 эмалированные полиуретановыми термопластичными эмаль-лакама.

Эмаль-лаки образуют механически прочное изоляционное покрытие проводов. Однако при 160°С такое покрытие размягчается, что ограничивает область применения этих обмоточных проводов.

В двигателях класса нагревостойкости В (130°С) применяют обмоточные провода ПЭТВ, изолированные полиэфирным лаком на основе лавсана или полиэтилентерефталата.

В двигателях класса нагревостойкости F (155°С) применяют обмоточные провода ПЭТ-155 с эмаль-лаковой изоляцией на полиэфиримидной основе или ПЭФ-155 с эмаль-лаковой изоляцией на полиэфиризоциануратной основе.

В двигателях класса нагревостойкости С (180°С) и Н (выше 180°С) применяют обмоточные провода ПЭТ-200 с эмаль-лаковой изоляцией на основе полиамидов или ПНЭТ-амид на нагревостойкой полиамидной основе.

Большинство электродвигателей серии 4А с высотой оси вращения 50...132 мм имеют класс изоляции по нагревостойкости В (130°С), а с высотой оси вращения 160...355 мм - класс изоляции F (155°С).

В двигателях серии 4А сельскохозяйственного назначения широкое распространение получили композиционные материалы, представляющие собой сочетание полимерных плёнок с различными гибкими электроизоляционными материалами на основе синтетических органических или неорганических волокон. Компоненты связаны между собой клеящими составами.

Плёнка принимает на себя электрическую и механическую нагрузки, а волокнистая подложка за счёт хорошей смачиваемости её пропиточными

составами связывает проводящие и изоляционные материалы, расположенные в пазах магнитопровода.

После высыхания клеящих и пропиточных составов на изоляцию обмоток могут быть нанесены покровные плёнки, обеспечивающие стойкость обмоток к воздействию растворяющих или агрессивных ингредиентов окружающей среды (масло, щёлочи, хлорная известь, кальцинированная сода, аммиак, углекислый газ, сероводород).

В качестве покровных составов применяют лаки и компаунды различных типов.

3.4. Проводниковые материалы двигателей

Обмотки статора и ротора изготавливают из материалов с высокой электропроводностью - меди и алюминия. Обмотки статоров двигателей малой и средней мощности выполняют, как правило, медными проводами круглого сечения. Характеристика проводниковой меди приведена в [1]. Обмотки роторов двигателей с короткозамкнутым ротором обычно выполняют литыми из алюминиевого сплава. В процессе заливки алюминиевого сплава в пазах ротора образуются как стержни (проводники) обмотки, так и замыкающие их накоротко кольца, расположенные вне сердечника ротора. Отсутствие изоляции обмотки ротора обеспечивает хороший отвод тепла от обмотки к сердечнику. Изоляция между стержнями и стальным ротором обеспечивается за счёт окисной плёнки алюминиевого сплава обмотки ротора и окалина стали ротора. Обмотки ротора двигателей с фазным ротором выполняют медным изолированным проводом круглого сечения (двигатели малой и средней мощности). В двигателях большой мощности обмотки выполняют медными проводами прямоугольного сечения.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

4.1. Технические данные, приведённые на заводском щитке электродвигателя.

4.2. Расшифровка обозначений типа двигателя.

4.3. Марка электротехнической стали двигателя, и характеристики этой стали.

4.4. Характеристика изоляционного материала обмотки электродвигателя.

4.5. Основные свойства электротехнической меди.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Какие показатели свойств магнитных материалов являются основными?

5.2. Как осуществляется изоляция листов сердечника статора и ротора?

- 5.3. С какой целью электротехническую сталь легируют кремнием?
- 5.4. Расшифруйте марки сталей 2013, 2212.
- 5.5. Какие показатели свойств электроизоляционных материалов являются важнейшими?
- 5.6. Охарактеризуйте понятие «нагровостойкость электроизоляционных материалов».
- 5.7. Как классифицируют изоляцию обмоток электродвигателей?
- 5.8. Какие материалы чаще всего применяют для изоляции обмотки от корпуса электродвигателя?
- 5.9. Какие преимущества имеют композиционные электроизоляционные материалы, используемые в двигателях сельскохозяйственного назначения?
- 5.10. Как осуществляется изоляция обмотки ротора (беличья клетка) от магнитопровода?
- 5.11. Какие свойства проводниковых материалов являются главными?

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. «Электротехнические материалы». Л., 1977.
- 6.2. Ваксер Н.М. «Изоляция электрических машин». Л., 1985.
- 6.3. Никулин Н.В. «Электроматериаловедение». М., 1989.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЯХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с электротехническими и конструкционными материалами магнитных пускателей.
- 1.2. Изучить основные свойства и характеристики электротехнических материалов, применяемых в магнитных пускателях.

2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

- 2.1. Для пускателей, указанных преподавателем, записать технические данные, приведённые на них заводом-изготовителем.
- 2.2. Изучить по плакатам устройство магнитных пускателей.
- 2.3. Ознакомиться с применяемыми в магнитных пускателях электротехническими и конструкционными материалами и законспектировать их характеристики и назначение. Определить назначение материалов.
- 2.4. Оформить отчёт.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Магнитный пускатель — это электромагнитное устройство (аппарат), состоящее из контактора, блокировочных контактов и электротеплового реле, предназначенное для дистанционного и местного включения и отключения электроприёмников. При наличии теплового реле пускатель обеспечивает защиту электродвигателей от длительных перегрузок по току.

Наибольшее применение в сельском хозяйстве находят пускатели серий ПМЕ, ПМА и ПМЛ.

Пускатели имеют различное исполнение по степени защищённости от попадания влаги, пыли и соприкосновения обслуживающего персонала с токоведущими частями.

Пускатели степени защиты IP00 (открытое исполнение) устанавливаются в закрытых шкафах и нишах, исключающих попадание пыли, капель воды и посторонних предметов.

Пускатели степени защиты IP40 (защищённое исполнение) имеют стальную оболочку, представляющую собой металлический ящик, состоящий из двух разъёмных половинок без уплотнения между ними. Пускатели защищённого исполнения устанавливают внутри помещений, где воздух не содержит значительного количества пыли.

Пускатели степени защищённости IP54 (пылеводонепроницаемое исполнение) имеют уплотнение стыка половинок стальной оболочки. Ввод и вывод проводов осуществляется через резиновые сальники, установленные в стальной оболочке. Такие пускатели предназначены для работы на открытом воздухе.

Технические данные магнитных пускателей серий ПМЕ, ПМА и ПМЛ приведены в табл. 1.

Контактор пускателя любой серии состоит из корпуса, электромагнитной системы и системы контактов.

Корпус контактора изготавливают прессованием пластмассы, состоящей из двух компонентов — связующего и наполнителя в пресс-форме, соответствующей очертаниям изделия. Пластмассовый корпус состоит из основания и крышки. Основание корпуса пускателей IP40 и IP54 крепят к нижней половине стальной оболочки винтами. Крышка пластмассового корпуса крепится к основанию винтами или плоскими пружинами. Между основанием и крышкой пластмассового корпуса находится электромагнитная система, которая фиксируется выступами на корпусе.

Электромагнитная система состоит из разъёмного магнитопровода, включающего неподвижный сердечник и подвижный якорь, и катушки электромагнита. Сердечник и якорь набирают из штампованных Ш-образных пластин электротехнической холоднокатаной стали толщиной 0,35; 0,5 или 1 мм. Крайние пластины обычно толще и предохраняют торцы сердечника и якоря от распухания при длительной эксплуатации контактора.

Электротехническую сталь получают из низкоуглеродистой стали с со-

держанием углерода менее 0,05% путём добавления кремния от 0,7% до 4,8%. Применение кремния существенно увеличивает удельное сопротивление стали и улучшает магнитные свойства: увеличивает магнитную проницаемость, уменьшает коэрцитивную силу, уменьшает потери на перемагничивание.

Изготовление сердечника и якоря из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга, уменьшает потери на вихревые токи.

На среднем стержне сердечника находится катушка электромагнита. Обмотка катушки может быть намотана на каркас из изоляционного материала, но может быть и без каркаса. Обмотка имеет табличку, на которой указывается марка и сечение провода, а так же количество витков этого провода. Обмотку выполняют медным проводом круглого сечения в эмалевой изоляции (ПЭЛ). Торцевую часть одного из стержней магнитопровода, охватывает короткозамкнутый виток, выполненный в виде кольца. Виток расположен в специальном пазу стержня и выполнен из меди, латуни или алюминия. Наличие короткозамкнутого витка устраняет сильное гудение включенного пускателя и увеличивает тяговое усилие, развиваемое электромагнитом.

По направляющим корпуса (пазам) скользит пластмассовая траверса, которая укреплена на якоре магнитной системы. На этой траверсе расположены мостики главных контактов. Мостики вспомогательных (блокировочных) контактов расположены на другой пластмассовой траверсе, которая скользит по направляющим в боковой стенке основания корпуса.

Материал рабочей поверхности контактов (сухарей) должен обладать высокой износостойкостью и дугостойкостью, а так же обладать малым переходным сопротивлением. Из чистых металлов для изготовления контактов используют медь, серебро, никель, вольфрам.

Однако чаще для контактов используются сплавы металлов:

медь - хром,

медь - серебро - кадмий,

серебро - медь.

Таблица 1

Тип пускателя	Величина пускателя	Номинальный ток (А) при защищенном исполнении	Наибольшая мощность (кВт) управляемого электродвигателя при напряжении:		Тип встраиваемого теплового реле	Номинальный ток теплового реле (А)
			220 В	380 В		
ПМЕ-000		3,0	0,6	1,1	ТРН-10А	3,2
ПМЕ-100	1	10,0	2,2	4,0	ТРН-10	10
ПМЕ-200	2	23,0	5,5	10,0	ТРН-25	25
ПМА-2000	2	23,0	5,5	11,0	РТТ-14,РТТ-14В	25
ПМА-3000	3	36,0	11,0	18,5	РТТ-21,РТТ-21Б	63
ПМА-4000	4	60,0	18,5	30,0	РТТ-21,РТТ-21Б	63
ПМА-5000	5	95,0	30,0	45,0	РТТ-31,РТТ-31Б	160

Продолжение

ПМА-6000	6	150,0	45,0	75,0	РТТ-31, РТТ-31Б	160
ПМЛ-1000	1	10,0	2,2	4,0	РТЛ-1000	25
ПМЛ-2000	2	25,0	5,5	11,0	РТЛ-1000	25
ПМЛ-3000	3	40,0	11,0	18,5	РТЛ-2000	80
ПМЛ-4000	4	63,0	18,5	30,0	РТЛ-2000	80
ПМЛ-5000	5	80,0	33,0	37,0	РТЛ-2000	80
ПМЛ-6000	6	100,0	30,0	45,0	РТЛ-3000	125
ПМЛ-7000	7	160,0	45,0	75,0	РТЛ-3000	200

Из экономических соображений часто используют биметаллические контакты. Они состоят из подложки, в качестве которой применяют дешёвые материалы, и поверхностного слоя из благородных металлов.

К нижней половине стальной оболочки пускателя крепят электротепловое реле. Наибольшее распространение при комплектовании пускателей получили тепловые реле серий ТРН, РТТ, РТЛ, встраиваемые в магнитные пускатели ПМЕ, ПМА и ПМЛ соответственно (см. таблицу).

Реле представляет собой пластмассовый корпус с двумя или тремя ячейками. В ячейках размещены биметаллические пластины и нагревательные элементы. Нагревательные элементы соединяют последовательно с главными контактами магнитного пускателя. Изготавливают нагревательный элемент в виде спирали из провода круглого или прямоугольного сечения. Материал нагревательного элемента должен обладать большим электрическим сопротивлением. Этому требованию отвечают сплавы на основе никеля и хрома (нихром); никеля, хрома и железа (фехраль) или хрома, алюминия и железа (хромель). Рядом со спиралью размещается биметаллическая пластина. Она состоит из двух, прочно сваренных между собой по всей поверхности металлических пластинок, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения. Одна пассивная защита изготавливается, как правило, из инвара, который практически не расширяется при нагреве (инвар — это железоникелевый сплав с содержанием никеля 42 ... 50 %). Материал другой пластины, активный — сталь, латунь, константан и другие материалы, имеющие большой коэффициент линейного расширения. При нагревании биметаллической пластины под действием тепла, выделяемого нагревательным элементом, она деформируется, свободный конец пластины изгибается и воздействует на механический расцепитель, состоящий из системы рычагов и пружин, обеспечивая срабатывание магнитного пускателя на отключение электроприёмника от сети при токе большем, чем номинальный ток электроприёмника.

Биметаллические пластины в конструкции некоторых электротепловых реле могут нагреваться током, проходящим непосредственно по пластинам (непосредственный нагрев) или сочетанием непосредственного и косвенного нагрева.

В реле предусмотрен регулятор тока срабатывания реле и кнопка руч-

ного возврата контактов реле в исходное положение после очередного срабатывания и остывания биметаллической пластины.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

- 4.1. Технические данные пускателей ПМЕ, ПМА и ПМЛ.
- 4.2. Тип электротепловых реле и характеристика нагревательных элементов.
- 4.3. Перечень электротехнических материалов: магнитных, проводниковых, электроизоляционных применённых в магнитных пускателях. Их основные характеристики и свойства.
- 4.4. Перечень конструкционных материалов магнитных пускателей и их характеристика.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Почему магнитопровод набирают из отдельных изолированных пластин?
- 5.2. Из каких материалов изготавливают корпуса контакторов и электротепловых реле?
- 5.3. Какие компоненты входят в состав сплава - инвар?
- 5.4. Почему крайние пластины магнитопровода толще остальных?
- 5.5. Какими показателями характеризуются свойства электротехнической стали? Чем она отличается от обычной стали?
- 5.6. Какие материалы применяют для изготовления нагревательных элементов электротепловых реле?
- 5.7. Каким требованиям должен отвечать материал рабочей поверхности главных контактов пускателя?
- 5.8. Какие свойства материалов обеспечивают работоспособность биметаллических пластин?
- 5.9. Каково назначение короткозамкнутого витка на стержне магнитопровода?

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. «Электротехнические материалы». Л.,1977.
- 6.2. Ваксер Н.М. «Изоляция электрических машин». Л.,1985.
- 6.3. Никулин Н.В. «Электроматериаловедение». М.,1989.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОСВОЕНИЕ СПОСОБОВ СОЗДАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТАКТА В ПРОЦЕССЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- Изучить правила техники безопасности при работе с электропаяльником, оловом и припоем
- Ознакомиться практически с технологическим процессом припаивания проводников к деталям электроаппаратуры.

Материалы и инструменты

Набор для пайки: электропаяльник с подставкой, коробочка для припоя и флюса, провода и металлические конструкции.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Кабели и провода выпускают с алюминиевыми и медными жилами. Различия в физических свойствах этих двух материалов требуют применения разной технологии соединения жил друг с другом, а также оконцевания жил. Операция предназначена для создания электрического контакта при сращивании проводов и кабелей в процессе прокладки и при разветвлении линий, а операция оконцевания жил – для создания резьбового или штепсельного контактного соединения с выводами электрооборудования. Обе эти операции выполняют для получения надежного электрического контакта, сопротивление которого должно быть минимальным и стабильным. Электрически неразъемный контакт получают, применяя сварку, пайку или опрессовку.

Сущность опрессовки состоит в создании в местах соединения такого давления, при котором металлы соединяемых жил обретают текучесть, в результате обеспечивается необходимое качество соединения.

Процесс сварки состоит в оплавлении материалов жил и присадочного материала. В отличие от сварки, при пайке сами жилы не расплавляются, расплавляется только припой.

В лабораторных условиях соединение и оконцевание медных жил можно производить пайкой, а алюминиевых – пайкой с применением специального флюса или с помощью механических зажимов.

При пайке металлических частей применяют припои и флюсы. Припои представляют собой специальные сплавы, применяемые при пайке. Пайку осуществляют или с целью создания механически прочного (иногда герметичного) шва, или для получения электрического контакта с малым переходным сопротивлением. При пайке места соединения и припой нагревают. Так как припой имеет температуру плавления значительно ниже, чем соединяемый металл (или металлы), то он плавится, в то время как основной металл остается твердым. На границе соприкосновения расплавленного

припоя и твердого металла происходят различные физико-химические процессы. Припой смачивает металл, растекается по нему и заполняет зазоры между соединяемыми деталями. При этом компоненты припоя диффундируют в основной металл, основной металл растворяется в припое, в результате чего образуется промежуточная прослойка, которая после застывания соединяет детали в одно целое.

Припой принято делить на две группы - мягкие и твердые. К мягким относятся припои с температурой плавления до 300°C, к твердым - выше 300°C. Кроме того, припои существенно различаются по механической прочности. Мягкие припои имеют предел прочности при растяжении 16-100 МПа, твердые – 100-500 МПа.

Выбирают припой с учетом физико-химических свойств соединяемых металлов, требуемой механической прочности спая, его коррозионной устойчивости и стоимости. При пайке токоведущих частей необходимо учитывать удельную проводимость припоя.

В различных областях радиоэлектроники применяют мягкие и твердые припои.

Мягкими припоями являются оловянно-свинцовые сплавы (ПОС) с содержанием олова от 10 (ПОС-10) до 90% (ПОС-90), остальное свинец. Проводимость этих припоев составляет 9-15% проводимости чистой меди, а $\alpha = (26 \div 27) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Большое количество оловянно-свинцовых припоев содержит небольшой процент сурьмы (например, от ПОС-61-05 до ПОС-8-3, остальное свинец).

Наиболее распространенными твердыми припоями являются медноцинковые (ПМЦ) и серебряные (ПСр) с различными добавками. Вспомогательные материалы для получения надежной пайки называют флюсами. Они должны:

- 1) растворять и удалять окислы и загрязнения с поверхности спаиваемых металлов;
- 2) защищать в процессе пайки поверхность, а также расплавленный припой от окисления;
- 3) уменьшать поверхностное натяжение расплавленного припоя;
- 4) улучшать растекаемость припоя и смачиваемость им соединяемых поверхностей.

По воздействию на металл, подвергающийся пайке, флюсы подразделяют на несколько групп.

Активные, или кислотные, флюсы готовят на основе активных веществ - соляной кислоты, хлористых и фтористых металлов и т. д. Эти флюсы интенсивно растворяют окисные пленки на поверхности металла, благодаря чему обеспечивается хорошая адгезия, а следовательно, высокая механическая прочность соединения. Остаток флюса после пайки вызывает интенсивную коррозию соединения и основного металла. Применяют эти флюсы только в том случае, когда возможна тщательная промывка и полное

удаление их остатков.

При монтажной пайке электрорадиоприборов применение активных флюсов категорически запрещено.

Бескислотными флюсами называют канифоль и флюсы, приготовляемые на ее основе с добавлением неактивных веществ (спирта, глицерина).

Активированные флюсы приготавливают на основе канифоли с добавкой активизаторов - небольших количеств солянокислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты, солянокислого диэтиламина и т. п. Высокая активность некоторых активированных флюсов позволяет производить пайку без предварительного удаления окислов после обезжиривания.

Антикоррозийные флюсы получают на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений и растворителей, а также на основе органических кислот. Остатки флюсов не вызывают коррозии.

По мощности и характеру работы принято подразделять электропаяльники на маломощные (радиомонтажные, 10 -25 Вт), средней мощности (электротехнические, 40 – 65 Вт) и мощные (специальные, 100 Вт и более). В настоящей работе при пайке используются бытовые электропаяльники средней мощности на напряжение 220 В. Паяльный стержень обычно изготавливается из меди; она хорошо облуживается и легко поддается обработке напильником, что важно при периодическом затачивании жала. Жало паяльного стержня затачивают по углом $30 - 40^{\circ}$ и очищают напильником с насечками среднего размера. После заточки жала необходимо его облудить. Для этого жало разогретого паяльника погружают сначала во флюс, а затем, припой. Если какая-то часть жала с первого раза не облудилась, то операцию повторяют. После этого паяльник готов к работе. В целях обеспечения безопасности эксплуатации электропаяльника хорошо пользоваться подставкой с коробочкой для припоя и флюса.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомится со способами получения электрически неразъемного контакта.

2. Изучить правила техники безопасности при работе с паяльником, припоем и флюсом.

3. Выполнить соединение проводов и других металлических деталей пайкой.

4. Результаты работы представить преподавателю.

5. Привести в порядок рабочее место. Материалы и инструмент сдать лаборанту.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Название и цель практического задания.
2. Описание процесса пайки.
3. Выводы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким основным признакам классифицируются электротехнические материалы?
2. Как классифицируются проводниковые материалы?
3. Какие способы создания электрического контакта используются в процессе соединения проводников?
4. Какие материалы применяют в качестве флюса при пайке меди?
5. Какие материалы используют для пайки меди?
6. Назначение и классификация электроизоляционных материалов.
7. Что понимают под нагревостойкостью диэлектрика?
8. Чем руководствуются при выборе электроизоляционных материалов?
9. Что представляет собой гетинакс?
10. Какие материалы используют при выполнении электромонтажных работ для изоляции токоведущих элементов?

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. «Электротехнические материалы». Л., 1977.
- 6.2. Ваксер Н.М. «Изоляция электрических машин». Л., 1985.
- 6.3. Никулин Н.В. «Электроматериаловедение». М., 1989.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ УСТАНОВОЧНЫХ ПРОВОДОВ И СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить свойства материалов наиболее распространенных проводов и кабелей. Ознакомиться со структурой условного обозначения установочных проводов и кабелей.

II. ПРОГРАММА РАБОТЫ

- 2.1. Изучить приведенные в п.3 методических указаний (см. ниже) све-

дения о структуре условного обозначения установочных проводов и силовых кабелей. Ознакомиться со свойствами проводниковых материалов и материалов, токоведущих жил проводов и силовых кабелей

2.2. Определить, марку выданных преподавателем образцов установочных изолированных проводов, используя сведения, приведенные в п.3 методических указаний.

Законспектировать в отчете для этих образцов проводов следующие сведения;

- ✍ марку проводов и сечение жил;
- ✍ характеристику проводов (расшифровку марок);
- ✍ материалы токоведущих жил и их свойства,
- ✍ материалы изоляции и их свойства, преимущественные области применения этих образцов проводов.

2.3. Охарактеризовать выданные преподавателем образцы силовых кабелей, законспектировав в отчет следующие сведения;

- ✍ марку кабелей и сечение жил,
- ✍ характеристику кабелей (значение букв в марках кабелей),
- ✍ материалы токоведущих жил и их свойства,
- ✍ материалы изоляции жил и защитных оболочек, свойства этих материалов,
- ✍ преимущественные области применения выданных образцов кабелей.

3. ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

3.1. Общие сведения об установочных проводах и материалах проводов

Установочные провода предназначены для распределения электрической энергии в силовых и осветительных сетях при неподвижной прокладке электропроводки внутри и вне помещений.

Установочный провод это одна или несколько токоведущих жил, каждая из которых заключена в изоляцию. Изоляцию проводов выполняют преимущественно из поливинилхлорида, резины и полиэтилена

Структура условного обозначения проводов включает марку провода, число жил и их сечение, значение номинального напряжения.

Например, АППВ 3х2,5-660, АЛПВ - марка провода, 3-число жил, 2,5 - сечение каждой жилы в мм², 660 - номинальное напряжение, В Марка провода состоит из ряда последовательно расположенных букв, обозначающих соответственно материал жил, материал изоляции и материал оболочки (если она имеется) Например, в марке провода АППВ каждая буква означает следующее:

- А - материал жилы (алюминий),
- П - провод,
- П - плоский, с разделительным основанием,
- В - материал изоляции (поливинилхлорид)

Провод любой марки кодируют буквой П., эту букву записывают в марке провода на первом месте при медной токоведущей жиле, на втором месте - при алюминиевой, например, провода марки ПРН и ПВ, имеют медную токоведущую жилу, а АЛРН и АЛВ - алюминиевую токоведущую жилу.

Марки плоских проводов с разделительным основанием кодируют двумя буквами П например, АППР, ППБ, АГЕГШС.

Материал изоляции кодируют буквами, следующими после букв П или ПП :

Р - резиновая изоляция;

В - поливинилхлоридная изоляция,

П - полиэтиленовая изоляция,

РН - резиновая изоляция, не распространяющая горение.

В конце марки плоского провода иногда может стоять буква С, означающая, что провод предназначен для скрытой проводки

Большинство установочных проводов имеют нормальную гибкость, которую не кодируют буквой в марке провода. Провода повышенной гибкости кодируют в марке провода буквой Г, высокой гибкости - ОГ. Например, ПРГВ - провод с гибкой (многопроволочной) медной в резиновой изоляции и оболочке из поливинилхлорида

Поливинилхлорид (ПВХ) - материал, наиболее широко применяемый в качестве основной изоляции токоведущих жил проводов и кабелей и для защитных оболочек кабелей. Получают ПВХ в результате реакции полимеризации из газообразного вещества - винилхлорида $H_2C=CH-Cl$. Для придания ПВХ требуемых свойств в массу добавляют пластификаторы, красители, наполнители и термостабилизаторы. Пластификаторы обеспечивают материалу гибкость. Красители защищают материал от светового старения и обеспечивают распознавание проводов при монтаже. Обычно ПВХ окрашен в черный, синий, красный и другие цвета. ПВХ без красителей - прозрачный материал с желтоватым оттенком. Из ПВХ изготавливают также гибкие изоляционные трубки и липкую изоляционную ленту. Характерной особенностью ПВХ является то, что если его вынести из пламени, он перестанет гореть.

Электрическая резина плотность материала, применяемого в качестве основной изоляции токоведущих жил проводов и кабелей и для защитных оболочек кабелей. ЭР обладают высокой эластичностью, упругостью, водостойкостью газонепроницаемостью. Получают ЭР вулканизацией (тепловой обработкой) натурального или синтетического каучука. Для проведения процесса вулканизации в исходную массу вводят серу (1 - 3 % массы)

Компонентами резиновой массы являются так же наполнители. К активным наполнителям, повышающим механическую прочность резины, относятся цинковые белила и углеродистая сажа. Неактивные наполнители - мел, тальк, каолин, вводят для удешевления резины.

Введение в резиновую массу наполнителей - стеариновой кислоты, парафина улучшает пластичность резины. Противостарители повышают стойкость резиновой изоляции к окислению, тепловому и световому старению

Иногда в резиновую массу вводят красители, но их введение снижает изоляционные свойства резины

Основные характеристики ЭР:

плотность (каучук - резина),	860 2000 кг/м ³
электрическая прочность,	20 45 кВ/мм
объемное удельное сопротивление,	10 ...10 Ом м
интервал рабочих температур,	(50 70) С +(65 85) С
диэлектрическая проницаемость,	$\epsilon = 3,5 \quad 4,5$
тангенс угла диэлектрических потерь,	(0,005 0,008. .0,01)

Особенностью ЭР является то, что при вулканизации часть молекул серы, непрореагировавших с молекулами каучука, выделяется на поверхности резины и соприкасается с поверхностью медных жил. Это приводит к образованию сернистой меди, которая разрушает изоляцию. Во избежание этого резиновую изоляцию накладывают обычно на луженый медный проводник. На алюминиевые проводники резиновую изоляцию можно накладывать непосредственно на изоляцию.

Полиэтилен - твердый непрозрачный материал белого или светло-серого цвета, несколько жирный на ощупь на провода полиэтилен, также как и поливинилхлорид наносят методом экструзии

Полиэтилен в качестве изоляции применяют реже, чем поливинилхлорид. Основными недостатками полиэтиленовой изоляции является нестойкость к солнечному свету и склонность к растрескиванию при повышенных механических нагрузках. Однако эти недостатки могут быть устранены введением красителей и ионизирующим облучением полиэтилена.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИЭТИЛЕНА

1200 1300 кг/м ¹	
плотность,	
электрическая прочность, Епр	20...30кВ/ мм 10' .
удельное объемное сопротивление,	10" Ом м -30°С. .
интервал рабочих температур,	1p+60°С
• диэлектрическая проницаемость,	4. ...5 0,03....0,08
• тангенс угла диэлектрических потерь,	

Установочные провода изготавливают с медными или алюминиевыми токопроводящими жилами, которые могут быть однопроволочными или многопроволочными. Наименьшие допустимые сечения токопроводящих жил изолированных установочных проводов из меди - 1 мм, из алюминия - 2,0 мм

Допустимые токовые нагрузки на провода с поливинилхлоридной, резиновой и полиэтиленовой изоляцией при открытой и неподвижной их прокладке приведены в таблице 1.

Таблица 1

Токовая нагрузка на про- вода, А	Сечение токопроводящей жилы, мм							
	1,0	1,5	2,0	2,5	4,0	6,0	10	16
С медной жилой	17	23	26	30	ЧП	50	80	100
С алюминиевой жилой			21	24	32	39	60	75

Перегрузка проводов током ведет к их перегреву и ускоренному тепловому старению изоляции.

Если выбор сечения токоведущей жилы провода для электропроводки решается относительно просто и однозначно, то выбор марки провода является довольно сложным вопросом и имеет неоднозначное решение.

При этом должны учитываться следующие факторы:

способ прокладки электропроводки (открытая, скрытая, на тросах)

характеристика помещения по условиям окружающей среды (сухое, влажное, сырое, особо сырое, пожароопасное, пыльное, особо сырое с химически активной средой, взрывоопасное),

категория помещения по электроопасности (без повышенной опасности, с повышенной опасностью и особо опасные), характеристика поверхности (конструкций), по которым прокладывают электропроводку (негорючая, трудно-сгораемая, горючая).

При двух и более возможных вариантах выбора марки провода для выполнения электропроводки требуется их технико-экономическое сравнение.

При выборе материала токоведущих жил руководствуются следующими соображениями. Алюминий менее дефицитен и при одинаковой с медью токовой нагрузке легче и дешевле, чем проводники из меди

Однако контактные соединения из алюминия менее надежны. Причиной является следующие особенности алюминия.

Алюминий и медь на воздухе окисляются, и на поверхности их появляется пленка окиси. У меди пленка образуется довольно медленно и легко снимается, и не влияет на качество контактного соединения. У алюминия пленка образуется очень быстро, обладает большей твердостью и большим электрическим сопротивлением. Пленка окиси алюминия очень тугоплавка, что препятствует пайке и сварке алюминиевых проводов. Кроме, того, алюминий является текучим материалом, и болтовые контакты со временем ослабевают.

При соединении алюминия с медью образуется гальваническая пара, а влага, попадающая в контактную пару, выполняет роль электролита. В таком соединении алюминиевый провод разрушается, подвергаясь электрохимической коррозии. Лужение медных проводов в контактных соединениях исключает электрохимическую коррозию алюминия

3.2. Общие сведения о силовых кабелях.

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии при различных напряжениях.

Кабели представляют собой одну или несколько изолированных токоведущих жил (медных, но чаще алюминиевых), покрытых герметичными изолированными оболочками, защитными экранами, бронированными.

Маркировка кабелей по сравнению с проводами сложнее и во многих случаях для расшифровки состава оболочек кабелей приобретают значение не только отдельные буквы в маркировке, но и их порядок. Наличие различных материалов в защитных оболочках и покровах определяет применение кабелей: для прокладки на воздухе, в земле, в воде; в каналах, туннелях, лотках; внутри и вне зданий.

На предприятиях сельскохозяйственного производства применяют преимущественно силовые кабели напряжением до 1000 В с резиновой и пластмассовой (поливинилхлоридной, полиэтиленовой) изоляцией и оболочкой из перечисленных материалов.

Наиболее сложное строение имеют маслonaполненные кабели, применяют их в сельской электрификации значительно реже и в настоящей работе они не рассматриваются

Структура условного обозначения кабелем включает;

- марку кабеля;
- число жил и их сечение;
- значение номинального напряжения

Марка кабелей состоит из ряда последовательно расположенных букв, обозначающих материал жилы, материал изоляции и материал защитного покрова. Например, кабель АПВГ 3х16+1х10-660. АПВГ - марка кабеля; 3 - число основных жил; 16 - сечение каждой основной жилы в мм²; 1 - число вспомогательных жил; 10 - сечение вспомогательной жилы в мм²; 660 - номинальное напряжение, В. Маркировка кабелей с пластмассовой и резиновой изоляцией имеет свои особенности. У кабелей с пластмассовой изоляцией кодирующую букву материала изоляции записывают на первом месте при медной токоведущей жиле и на втором месте - при алюминиевой, затем записывают букву материала оболочки например, кабель АПВГ - кабель с алюминиевыми жилами, изоляцией из полиэтилена, оболочкой из поливинилхлорида. Буква Г означает, что поверх оболочки отсутствует защитный покров.

У кабелей с резиновой изоляцией на первом месте записывают код материала оболочки при медной токоведущей жиле и на втором месте при алюминиевой жиле.

- В - поливинилхлоридная оболочка,
- Н - резиновая маслостойкая оболочка, не распространяющая горение.

Далее записывают код материала изоляции.

- Р - резиновая изоляция.

Например, кабель АНРБ - кабель с алюминиевыми жилами, резиновой

изоляция в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение. Буква Б означает, что поверх оболочки наложена броня из стальных лент с антикоррозионным покрытием

Токопроводящие жилы кабелей изготавливают из меди ММ - медь мягкая или алюминия АМ - алюминий мягкий Сечение жил в мм² стандартизовано следующим рядом: 1; 1,5, 2,5, 4, 6, 10; 16, 25; 35; 50, 70; 95, 120;.... Наименьшее сечение алюминиевых жил-2,5 мм².

Основные жилы кабелей имеют одинаковое сечение, а вспомогательная (заземляющая, нулевая) могут быть такими же или на одну ступень меньше сечения основных жил.

Токопроводящие жилы сечением до 16 мм включительно выполняют однопроволочными с профилем круглого сечения.

Изоляция основных жил из пластмассы имеет отличительную одноцветную или многоцветную окраску, а резиновая изоляция основных жил - обозначение цифрами.

Пластмассовая изоляция жил заземления должна быть зелено-желтого цвета или иметь обозначение цифрой "0", резиновая изоляция жил заземления должна быть черного цвета или иметь обозначение "0". Пластмассовая изоляция нулевой жилы должна быть голубого цвета, а резиновая изоляция нулевой жилы - черного цвета или иметь обозначение цифрой "0".

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать название работы. Должна быть приведена структура условного обозначения образцов проводов и кабелей и дана 4х расшифровка В произвольной форме записывается характеристика материалов образцов провода и кабеля, возможное их применение.

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- 5.1. Расшифруйте марки проводов ПППС, ПГВ, АППВС, ПРН.
- 5.2. Какими буквами в марке провода кодируется резиновая изоляция не распространяющая горение?
- 5.3. Что означает буква С, стоящая в конце марки плоского провода?
- 5.4. Какой из изоляционных материалов плавает в воде - поливинилхлорид или полиэтилен?
- 5.5. Поясните, что это за процесс - "вулканизация резины"?
- 5.6. Какими недостатками обладает контактное соединение "медь - алюминий"?
- 5.7. В чем отличие кабеля от провода?
- 5.8. Какие показатели свойств являются основными для проводниковых материалов?
- 5.9. Назовите стандартные сечения токоведущих жил?
- 5.10. Как можно отличить в кабеле основную токоведущую жилу от

нулевой жилы?

5.11. Можно ли на ощупь и по цвету отличить полиэтилен от поливинилхлорида?

5.12. Как в обозначении кабеля записывается число жил и их сечение, если одна из жил меньшего сечения?

6. ЛИТЕРАТУРА

6.1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. «Электротехнические материалы». Л., 1977.

6.2. Ваксер Н.М. «Изоляция электрических машин». Л., 1985.

6.3. Никулин Н.В. «Электроматериаловедение». М., 1989.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ТЕМА: ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Измерить электрические сопротивления образцов проводников, изучить их зависимость от температуры, рассчитать температурные коэффициенты сопротивления.

1. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ:

1.1. Лабораторная установка, включающая нагреватель, исследуемые образцы проводников, термопару.

1.2. Мост постоянного тока.

1.3. Мультиметр.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

К основным характеристикам проводниковых материалов относятся:

- удельное сопротивление (ρ);
- теплопроводность;
- контактная разность потенциалов и термоэлектродвижущая сила;
- временное сопротивление разрыву (прочность на разрыв) и относительное удлинение при растяжении.

Для измерения удельного сопротивления проводников обычно пользуются образцами, изготовленными из исследуемого материала в виде отрезка провода неизменного сечения. В этом случае, зная сопротивление R , площадь поперечного сечения S и длину образца L , удельное сопротивление материала можно вычислить, исходя из известного соотношения:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1)$$

В Международной системе (СИ) ρ измеряется в Ом/м. Однако на прак-

тике для оценки удельного сопротивления проводников широко пользуются внесистемной единицей $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, связанной с единицами системы СИ соотношением $1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} = 1 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$

Удельное сопротивление проводников лежит в пределах от 0,016 (серебро) до 1,6 мкОм·м (фехраль – жаростойкий сплав на железохромовой основе), т.е. занимает диапазон в два порядка.

В узком интервале температур удельное сопротивление металлов изменяется с температурой практически по линейному закону. Поэтому приближено эта зависимость может быть выражена формулой:

$$\rho_T = \rho_{20} [1 + \alpha_\rho (T^0 - 20^0)] \quad (2)$$

где ρ_T - удельное сопротивление при температуре $T^0\text{C}$;

ρ_{20} - удельное сопротивление при температуре 20^0C ;

α_ρ -температурный коэффициент удельного сопротивления, $1/^\circ\text{C}$.

Значение α_ρ для чистых металлов в твердом состоянии близки друг к другу и примерно равны $0,004 \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Температурный коэффициент удельного сопротивления сплавов, как правило, меньше и, например, для манганина составляет малую величину порядка $10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

Зависимость электрического сопротивления от температуры выражается формулой:

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha (T_2^0 - T_1^0)] \quad (3)$$

где R_2 сопротивление при температуре T_2^0 ;

R_1 - сопротивление при температуре T_1^0 , причем $T_2^0 > T_1^0$;

α - температурный коэффициент сопротивления, который по величине равен α_ρ данного проводника.

Температурный коэффициент сопротивления α можно определить по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{dR}{dT}$$

где R – величина сопротивления, Ом;

T – температура, $^\circ\text{C}$;

Практическое применение формула имеет в следующем виде:

$$\alpha = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1} = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

Обычно соблюдается определенная закономерность и в изменении α_ρ . Относительно высокими значениями α_ρ обладают чистые металлы, а у сплавов α_ρ меньше и даже могут приобретать небольшие отрицательные значения (рис. 1). Это объясняется тем, что у сплавов изменение ρ вызывается не только изменением длины свободного пробега λ , но и в некоторых случаях возрастанием концентрации носителей при повышении температуры.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Ознакомиться с элементами лабораторной установки, изучить методику работы с мостом постоянного тока для замера сопротивлений.

3.2. Вычислить значения удельного сопротивления ρ для проводниковых материалов, которые представлены в виде проволок, намотанных на катушку с известными геометрическими параметрами S и L .

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

где S – площадь поперечного сечения проволоки м^2 ,

L – длина проволоки м .

Таблица 1

	Медь	Манганин	Нихром
S			
L			
R			
ρ			

3.3. Снять зависимость R от температуры. При этом по указанию преподавателя исследуются три сопротивления при изменении температуры от комнатной до 80°X . Отсчет брать через каждые 5°X .

Результаты занести в табл. 2.

Таблица 2

$T^\circ\text{X}$	медь		нихром			
	R	α	R	α	R	α

По полученным данным построить зависимость $R=f(T^\circ)$.

3.4. Определить температурный коэффициент сопротивления

$$\alpha = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

Построить график $\alpha=f(T^\circ)$.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Наименование и цель работы.

4.2. Перечень оборудования и приборов, используемых в работе.

4.3. Расчетные формулы и результаты расчетов.

4.4. Результаты эксперимента в табличной форме.

4.5. Краткие выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Чем обусловлено прохождение тока в металлах?
- 5.2. Чем обусловлена хорошая электропроводимость металлов?
- 5.3. Дайте определение удельного сопротивления проводников. В каких единицах оно измеряется?
- 5.4. Почему удельное сопротивление сплавов типа твердых растворов выше, чем у чистых металлов?
- 5.5. Какова зависимость удельного сопротивления проводников высокого сопротивления от содержания примесей?
- 5.6. Как зависит сопротивление металлических проводников от температуры и почему?
- 5.7. Дайте определение температурного коэффициента сопротивления. Как определяется эта величина?
- 5.8. Какие проводниковые материалы называются материалами высокой проводимости? Привести примеры.
- 5.9. Какие материалы и их сплавы используются в контактах электрических аппаратов?

6. ЛИТЕРАТУРА

- 6.1. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. «Электротехнические материалы». Л., 1977.
- 6.2. Ваксер Н.М. «Изоляция электрических машин». Л., 1985.
- 6.3. Никулин Н.В. «Электроматериаловедение». М., 1989.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АБСОРЦИИ ДИЭЛЕКТРИКОВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: 1. Закрепить понятие диэлектрической абсорции диэлектриков.

2. Проверить опытным путем величины абсорции диэлектриков.

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Диэлектрическая проницаемость и поляризованность. На рис. 5.10 изображены два плоских конденсатора, площадь электродов которых равна $S(\text{м}^2)$, а расстояние между ними $h(\text{м})$. В конденсаторе, изображенном на рис. 5.10,а, между электродами вакуум, а на рис. 5.10,б – диэлектрик. Если электрическое напряжение на электродах $U(\text{В})$, то напряженность электрического поля равна $E=U/h$ (В/м).

Электрический заряд, накопленный в конденсаторе с вакуумом, называ-

ется свободным зарядом и равен Q_0 (Кл).

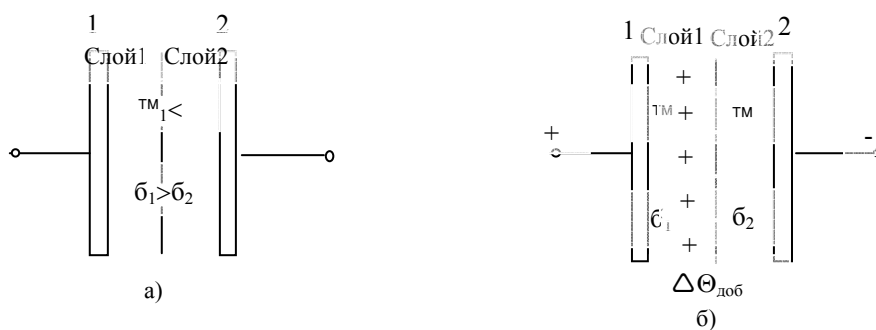


Рис. 5.10. Электрические заряды (\square - свободные, \circ - связанные) на электродах конденсатора при подаче напряжения U .

В электрическом поле в частицах, из которых построен диэлектрик, связанные положительные и отрицательные заряды смещаются. В результате образуются электрические диполи с электрическим вектором $m=ql$, где q – суммарный положительный (и численно равный ему суммарный отрицательный) заряд частицы, Кл; l – расстояние между центрами положительного и отрицательного заряда, плечо диполя, м (рис. 5.10,б). Поэтому на поверхности диэлектрика образуются поляризационные заряды: отрицательные у положительного электрода, и наоборот. Для компенсации этих поляризационных зарядов источником электрического напряжения создается дополнительный связанный заряд Q_d . Суммарный полный заряд Q в конденсаторе с диэлектриком равен

$$Q=Q_0+Q_d= \epsilon_r Q_0, \quad (5.9)$$

где ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость.

Электрическая емкость конденсатора с вакуумом между электродами равна

$$C_0=Q_0/U. \quad (5.10)$$

Емкость C_0 (Ф) называют геометрической емкостью конденсатора.

Емкость C этого конденсатора с диэлектриком между электродами равна

$$C=Q/U \quad (5.11)$$

Из (5.10) и (5.11) с учетом (5.9) следует, что ϵ_r равна отношению емкости конденсатора с диэлектриком к емкости того же конденсатора, где между электродами вакуум:

$$\epsilon_r=C/C_0.$$

Диэлектрическая проницаемость является важнейшим макроскопическим параметром диэлектрика, характеризующим процесс поляризации, и она может быть найдена по измеренной емкости конденсатора с диэлектриком.

Емкость плоского конденсатора рассчитывается по формуле

$$C = \epsilon_0^{\text{TM}} \epsilon_{\rho}^{\text{TM}} \Sigma \Delta \eta, \quad (5.12)$$

где $\epsilon_0^{\text{TM}} = 8,84 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная.

Произведение $\epsilon_0^{\text{TM}} \epsilon_{\rho}^{\text{TM}} = \epsilon^{\text{TM}}(\text{Ф/м})$ называется *абсолютной диэлектрической проницаемостью*.

Физическая природа поляризации. Принято различать упругую (быструю, нерелаксационную) и неупругую (медленную, релаксационную) поляризации. Упругая поляризация завершается практически мгновенно за время $t(\text{с})$, намного меньшее полупериода $T/2 = 1/2f$ (f – частота, Гц) приложенного напряжения. Поэтому процесс быстрой поляризации создает в диэлектрике только реактивный ток. К таким поляризациям относятся электронная (завершается за время $10^{-15} - 10^{-14}$ с) и ионная упругая (устанавливается за время $10^{-14} - 10^{-13}$ с). Неупругая поляризация завершается за время, соизмеримое с полупериодом приложенного напряжения.

Электронная поляризация. В электрическом поле в атомах или молекулах, из которых построен диэлектрик, деформируются (смещаются) электронные оболочки, главным образом внешние. Смещение электронов происходит на малые расстояния в пределах своих атомов и молекул. Такая поляризация происходит у всех диэлектриков независимо от их агрегатного состояния и существования в них других видов поляризации.

Диэлектрики, у которых имеет место только электронная поляризация, называются *неполярными* диэлектриками. В молекулах неполярных диэлектриков центры положительного и отрицательного зарядов совпадают, поэтому такие молекулы неполярные. Например, неполярными диэлектриками являются: газы – гелий, водород, азот, метан; жидкости – бензол, тетроформ (четырёххлористый углерод); твердые – алмаз, полиэтилен, фторопласт-4, парафин.

Для неполярных диэлектриков диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{\rho}^{\text{TM}}$ и коэффициент лучепреломления n_D связаны отношением

$\epsilon_{\rho}^{\text{TM}} = n_D^2$. Рассчитанную по такой формуле $\epsilon_{\rho}^{\text{TM}}$ называют диэлектрической проницаемостью, измеренной в электрическом поле бесконечно большой частоты, и обозначают $\epsilon_{\rho\infty}^{\text{TM}}$.

Значение диэлектрической проницаемости газообразных диэлектриков мало отличается от 1, а для неполярных жидких и твердых диэлектриков не превышает 2,5.

Диэлектрическая проницаемость неполярных диэлектриков не изменяется с ростом частоты приложенного напряжения вплоть до $10^{12} - 10^{13}$ Гц. Это свидетельствует о том, что процесс электронной поляризации происходит за время намного меньшее, чем $10^{13} - 10^{12}$ с.

Таблица 5.3.

Диэлектрик	τ_{ρ}^{TM}	Рассчитанный ТК τ_{ρ}^{TM} . K^{-1}	Измеренный ТК τ_{ρ}^{TM} . K^{-1}
Водород H_2	1,00027	$-0,92 \cdot 10^{-6}$	-
Азот N_2	1,0058	$-1,98 \cdot 10^{-6}$	-
Метан CH_4	1,0095	$-3,24 \cdot 10^{-6}$	-
Бензол C_6H_6	2,218	$-0,96 \cdot 10^{-3}$	$-0,93 \cdot 10^{-3}$
Тетраформ CCl_4	2,163	$-0,91 \cdot 10^{-3}$	$-0,69 \cdot 10^{-3}$
Полиэтилен высоко- го давления (C_2H_4) n	2,3	$-0,81 \cdot 10^{-3}$	-
Фторопласт – 4 (C_2F_4)n	1,9-2,2	$-0,33 \cdot 10^{-3}$	-

Ионная упругая поляризация. Она происходит в кристаллических диэлектриках, построенных из положительных и отрицательных ионов, - в галоидно-щелочных кристаллах, слюдах, керамиках. В электрическом поле в таких диэлектриках происходит смещение электронных оболочек в каждом ионе – электронная поляризация. Кроме того, упруго смещаются друг относительно друга подрешетки из положительных и отрицательных ионов, т.е. происходит упругая ионная поляризация. Это смещение приводит к появлению дополнительного электрического момента $m_{\text{и}}$, увеличивающего поляризованность, а следовательно, и диэлектрическую проницаемость на $\tau_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$. Таким образом, диэлектрическая проницаемость ионного кристалла равна $\tau_{\rho}^{\text{TM}} \odot \tau_{\rho\infty}^{\text{TM}} + \tau_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$, где $\tau_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$ зависит от физической природы ионов, сил их взаимодействия и строения кристаллической решетки.

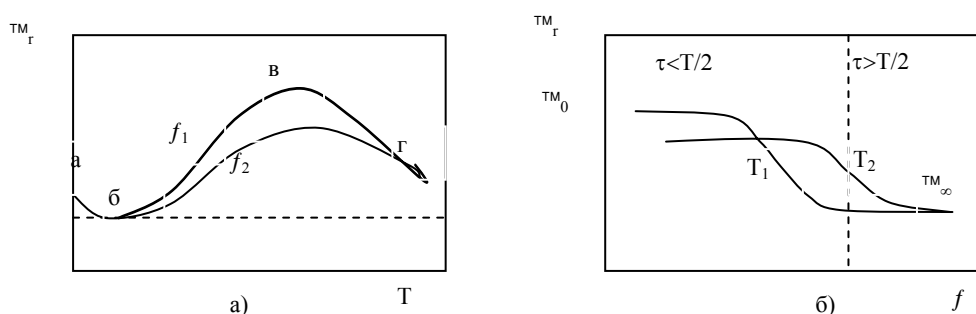
Ионная поляризация завершается за $10^{-13} - 10^{-12}$ с, поэтому τ_{ρ}^{TM} ионных кристаллов не зависит от частоты приложенного напряжения вплоть до $10^{12} - 10^{13}$ Гц.

С увеличением температуры и связанного с этим уменьшения n значения $\tau_{\rho\infty}^{\text{TM}}$ и $\tau_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$ уменьшаются. Однако вызванное тепловым расширением увеличение межионных расстояний приводит к ослаблению сил связи между ионами и поэтому к увеличению их смещения в электрическом поле, а следовательно, к росту $\tau_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$. Причем такое увеличение $\tau_{\rho\text{и}}^{\text{TM}}$ намного больше, чем уменьшение за счет теплового расширения. Таким образом, τ_{ρ}^{TM} ионных кристаллов с ростом температуры увеличивается ($\text{ТК } \tau_{\rho}^{\text{TM}} > 0$), как у кристалла NaCl

Неупругие поляризации. К неупругим поляризациям относится дипольная поляризация, которая наблюдается в полярных газообразных и жидких диэлектриках. Полярные диэлектрики построены из полярных молекул, в которых центры положительных и отрицательных зарядов не совпадают Поляр-

ная молекула имеет собственный электрический момент (дипольный момент) μ_{Δ} (Кл•м), Из полярных молекул состоят газообразные аммиак NH_3 , пары воды и спиртов. Полярными жидкими диэлектриками являются вода, хлорбензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, нитробензол $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$. В электрическом поле в таких молекулах смещаются электронные оболочки – совершается электронная поляризация. Кроме того, происходит дипольная поляризация: моменты μ_{Δ} молекул несколько ориентируются по полю E . В результате такой поляризации увеличивается P , а следовательно, и $\epsilon^{\text{TM}}_{\rho}$. Поворот молекулы как целого в электрическом поле наблюдается в полярных газообразных и жидких диэлектриках, вязкость которых невелика. В твердых полярных диэлектриках процесс дипольной поляризации состоит в деформации участков-звеньев, сегментов молекул или ориентации отдельных полярных групп молекул.

Для ориентации диполя требуется время, которое характеризуется временем релаксации τ . После снятия внешнего поля в течение τ ориентация полярной молекулы под действием теплового движения уменьшается в ϵ раз (ϵ - основание натурального логарифма).



Время релаксации прямо пропорционально вязкости диэлектрика и обратно пропорционально температуре. Вязкость диэлектрика с ростом температуры экспоненциально уменьшается, поэтому уменьшается и τ . В этой области температур $\epsilon^{\text{TM}}_{\rho}$ с ростом температуры увеличивается участок бв. Уменьшение $\epsilon^{\text{TM}}_{\rho}$ на участке вг вызывается разориентацией полярных молекул в результате теплового движения, на участке аб – уменьшением плотности.

Если полупериод приложенного напряжения $T/2 < \tau$, то электрические моменты полярных молекул не успевают ориентироваться в электрическом поле и дипольная поляризация уменьшается. Поэтому $\epsilon^{\text{TM}}_{\rho}$ полярного диэлектрика уменьшается. В зависимости от строения диэлектрика и внешних условий время релаксации дипольной поляризации изменяется в широких пределах – от 10^{-8} до 10^{-1} с.

При ориентации в электрическом поле диполи преодолевают межмолекулярные силы, поворачиваются с “трением”; в этой области температур дипольная поляризация происходит с потерями энергии.

Ионно-релаксационная поляризация. Используемые в технике твердые диэлектрики могут иметь неплотную упаковку объема частицами. В таких материалах образуются ионы, которые в ходе тепловых колебаний перебрасываются из положений временного закрепления на расстояния, соизмеримые с расстояниями между частицами (10^{-10} м), и закрепляются в новых положениях. В электрическом поле перебросы становятся направленными. В результате в диэлектрике возникает различие в расположении центров положительного и отрицательного зарядов, т.е. появляется электрический момент. Такой процесс называют ионно-релаксационной поляризацией. С ростом температуры число ионов, перебрасываемых в новые положения, увеличивается, поэтому растут поляризованность и диэлектрическая проницаемость. На рис.5.16 приведена зависимость T_{ρ}^{TM} от температуры для натриево-силикатного стекла, в структуре которого имеют место слабосвязанные ионы

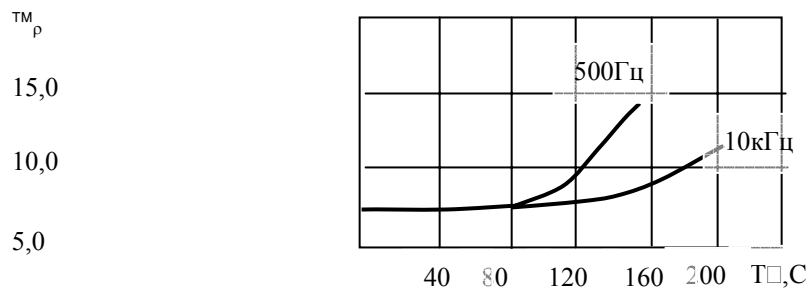
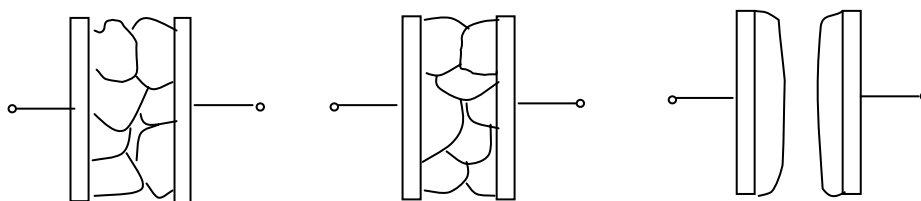


Рис. 5.16. Зависимость T_{ρ}^{TM} натриево-силикатного стекла от температуры на разных частотах (по Р.Я. Ходаковской).

Миграционная поляризация. Электроизоляционные материалы могут быть неоднородными, состоящими из диэлектриков, у которых T_{ρ}^{TM} и σ различаются. На рис. 5.17,а схематически изображен электрический конденсатор с неоднородным (двухслойным) диэлектриком, а на рис. 5.17,в – состоящим из многих блоков, как это имеет место, например, в поликристаллическом материале.

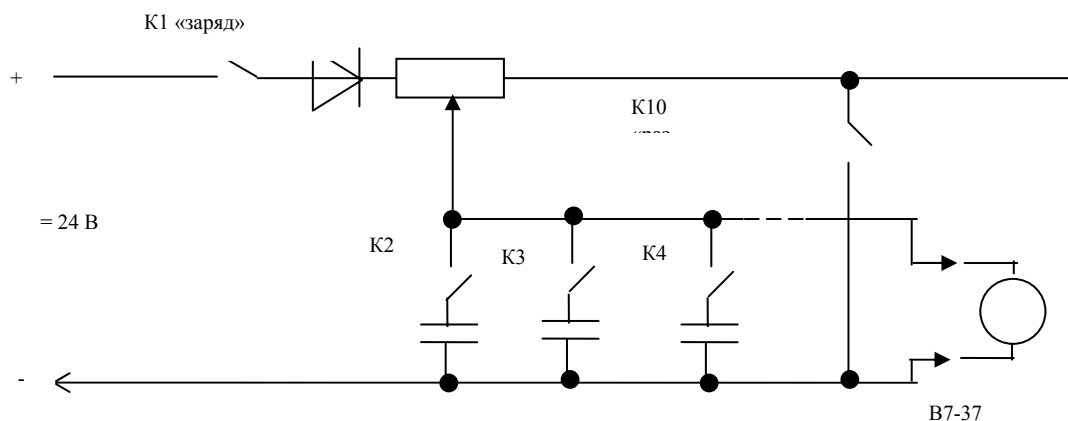
Если в двухслойном диэлектрике $T_{\rho 1}^{TM} < T_{\rho 2}^{TM}$ и $\sigma_1 > \sigma_2$, то при подаче на электроды постоянного напряжения в начальный момент времени плотность тока в первом слое будет больше. Это приведет к образованию на границе раздела положительного заряда $+\Delta\Theta_{доб}$ (рис. 5.17, б). По мере накопления заряда установится состояние, когда плотноститоков в первом и втором слоях станут равными. В диэлектрике, состоящем из многих блоков с различными T_{ρ}^{TM} и σ , дополнительные заряды образуются на границе блоков (рис. 5.17,г). Этот вид поляризации называют межслоевой

поляризацией. Наконец, в диэлектрике могут иметь место такие слабосвязанные ионы, которые в результате тепловых перебросов, направляемых полем, перемещаются к электродам и там закрепляются, локализируются. В результате близ электродов образуется объемный заряд $\Theta_{\text{выс}}$, обуславливающий электрический момент $M = \Theta_{\text{выс}} \eta$. Такую поляризацию называют объемно-зарядовой поляризацией или высоковольтной поляризацией. Процессы миграционной поляризации одни из самых медленных. Время на их завершение в пределах $1-10^3$ с.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить теоретический материал.
2. Перед включением в сеть и после выполнения работы все выключатели должны быть **выключены**.
3. Включить вольтметр В7-37 в режиме измерения постоянного напряжения (предел измерений –100 В). Подключить вывод лабораторной установки к его входам 0,1-100 В.
4. Включить один из выбранных конденсаторов. Включить “заряд” на время 3 мин.
- 5.



6. Выключить “заряд”; включить на 5 сек выключатель “разряд”. Затем

по вольтметру через 5 сек проверить измерение напряжения на конденсаторе.

7. Построить график. Вычислить коэффициент абсорции.
8. Повторить работу (пункты 4-6) для других конденсаторов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под поляризацией диэлектриков и какие виды поляризации диэлектриков известны?
2. Что такое абсолютная и относительная диэлектрическая проницаемость диэлектриков? В чем она измеряется?
3. Какое влияние оказывает вид поляризации диэлектриков на зависимость ϵ от частоты переменного напряжения и температуры?
4. Каково практическое значение относительной диэлектрической проницаемости диэлектриков ϵ ?
5. Является ли относительная диэлектрическая проницаемость диэлектриков константой материалов?
6. Что понимается по диэлектрическими потерями диэлектрика?
7. От каких факторов зависят диэлектрические потери?
8. Существуют ли диэлектрики без потерь?
9. Где применяют диэлектрики и каковы их электрические и физическо-механические свойства?

РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить потери в стали, получить динамическую кривую намагничивания и кривую магнитной проницаемости для различных образцов магнитомягких материалов.

Время на выполнение работы - 2 часа.

2. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

2.1. Сеть переменного тока напряжением 220В.

2.2 Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); вольтметр магнитоэлектрической системы на 0-250В; сопротивление на 15Ом, используемое в качестве шунта $K_{ш}$; сопротивление на 470Ом, используемое в интегрирующей цепи RC (рис.4); емкость $C = 32\text{мкФ}$.

2.3. Прибор комбинированный цифровой Щ 4313, используемый в режиме миллиамперметра на 0-100мА.

2.4 Трансформатор, магнитопровод которого исследуется как магнитомягкий материал (электротехническая сталь).

Число витков первичной обмотки трансформатора $W = 400$, вторичной - $W = 22$ витка; сечение магнитопровода S ; средняя длина магнитопровода - $L_{ср}$.

2.5. Осциллограф универсальный типа С 1-7 или осциллограф С 1-1.

2.6. Соединительные провода.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Материалы, которые под действием внешнего магнитного поля намагничиваются, т.е. приобретают особые магнитные свойства, называют магнитными.

Основными магнитными материалами являются железо, никель, кобальт и различные сплавы на основе технически чистого железа. Свойства магнитных материалов оцениваются магнитными характеристиками. Важнейшими магнитными характеристиками являются следующие: магнитная проницаемость и магнитная индукция.

Магнитная проницаемость (относительная магнитная проницаемость) M_r являются безразмерной величиной, и входит в выражение абсолютной магнитной проницаемости (Γ^H_M):

$$M_a = M_0 \cdot M_r \quad (1)$$

где M_0 - магнитная проницаемость вакуума (пустоты), называемая ино-

гда магнитной постоянной.

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

Магнитная проницаемость определяет способность материалов к намагничиванию: чем она больше, тем легче намагничивается материал, и, наоборот, чем она меньше, тем в меньшей степени материал может быть намагничен.

Вещества, у которых μ_r меньше единицы, называют диамагнитными. К ним относятся медь, серебро, углерод и другие вещества.

Вещества, у которых μ_r немногим больше единицы, называют парамагнитными (например: платина, марганец и др.)

У ферромагнитных материалов (железо, никель, кобальт и др.) $\mu_r \gg 1$. Такие материалы широко используются в электротехнике для создания электромагнитов с большими магнитными полями (в электрических машинах, трансформаторах, магнитных усилителях и т.п.)

Под магнитной индукцией понимается величина, характеризующая интенсивность магнитного поля. Обозначается она буквой B , измеряется в теслах (Тл) и выражается формулой:

$$B = F/I \cdot L; \quad (2)$$

где F - сила, действующая на проводник током, находящимся в магнитном поле;

I - сила тока, А;

L - длина проводника, м.

Формула (2) верна лишь при перпендикулярном расположении проводника с током к магнитным линиям равномерного магнитного поля. Если проводник находится в магнитном поле под каким-либо углом по отношению к магнитным линиям, то сила

$$F = R \cdot I \cdot L \cdot \sin\alpha \quad (3)$$

где α - угол между проводником и направлением магнитных силовых линий.

Таким образом, магнитная индукция B - это величина, о которой можно судить по силе действия магнитного поля на проводник с током, помещенный в пределах этого поля. Магнитная индукция является направленной величиной - B физическим вектором, перпендикулярным силе, смещающей проводник с током. Магнитную индукцию можно наглядно представить, если условиться изображать ее графически количеством магнитных линий, приходя-

щихся на единицу площади (см^2 или м^2) намагниченного материала, перпендикулярной направлению магнитных линий. Так, если на 1см^2 поверхности ферромагнитного материала приходится 2500 магнитных линий, а на 1см^2 другого материала приходится 7500 магнитных линий, то магнитная индукция во втором материале больше магнитной индукции в первом в три раза. Чем больше магнитная индукция, тем гуще расположены магнитные линии.

Для характеристики силы магнитного поля вместо магнитной индукции B часто применяют напряженность магнитного поля H , которая пропорциональна магнитной индукции и связана с нею следующим соотношением:

$$H = B / \mu_0 \mu, \text{ А/М} \quad (4)$$

т.е. $B = \mu_0 \mu \cdot H$ (4.1)

Поведение магнитного материала в магнитном поле характеризуется зависимостью $B = f(H)$ - начальной кривой намагничивания (кривая 1, рис. 1)

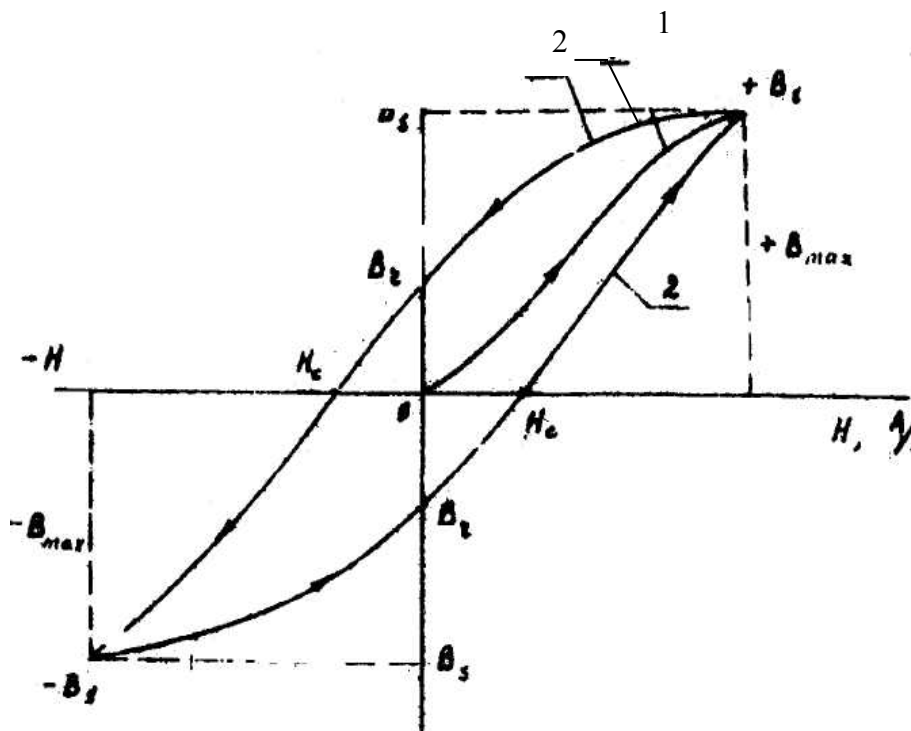


Рис. 1. 1- начальная кривая намагничивания 2- петля Гистерезиса

Вначале магнитная индукция растет, затем её рост замедляется, а по достижении максимального значения она остается постоянной. При этом говорят, что магнитный материал достиг насыщения, а магнитную индукцию в данном случае называют индукцией насыщения (B_s).

Чем больше B_s тем выше свойства магнитного материала. Характерной особенностью ферромагнитных материалов является зависимость их маг-

нитной проницаемости от их собственного магнитного состояния, т.е. магнитная проницаемость этих материалов изменяется с изменением напряженности внешнего поля (рис. 2).

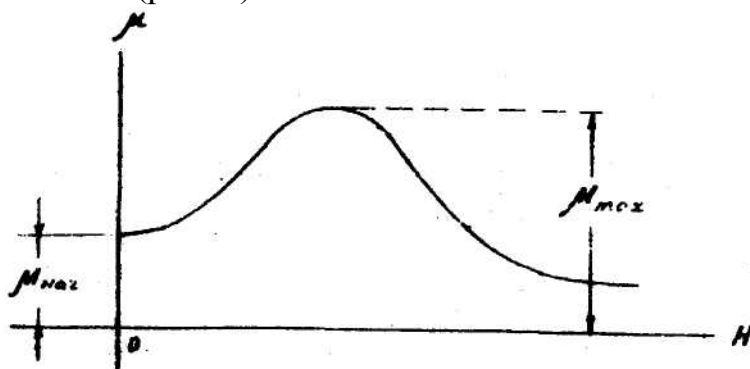


Рис. 2.

Магнитная проницаемость в начале процесса намагничивания быстро возрастает, достигая при максимуме весьма значительных величин, и затем резко падает, стремясь в пределе к магнитной проницаемости вакуума.

Помимо кривой 1 начального намагничивания (рис. 1) большое значение для практических целей имеет графическая зависимость $B = f(H)$ при так называемом циклическом перемагничивании ферромагнитного материала. Действительно, если после того, как ферромагнетик доведен до насыщения, т.е. индукция доведена до $+B_{max}$ (рис. 1), начать размагничивать материал путем уменьшения напряженности намагничивающего поля H , то будет уменьшаться индукция B . Но это уменьшение не будет идти по первоначальной кривой 1, и когда H будет равно значению H_r , определяющему остаточный магнетизм. Для полного размагничивания ферромагнетика (например, стали) необходимо изменить направление внешнего поля на противоположное и увеличить его напряженность. При некотором значении H_c напряженности намагничивавшего поля магнитная индукция $B = 0$, остаточный магнетизм будет скомпенсирован. Напряженность H_c характеризует сопротивляемость ферромагнитного материала ее размагничиванию, т.е. она является задерживающей (коэрцитивной) силой.

Продолжая увеличивать напряженность H в новом направлении, можно довести магнитную индукцию до $-B_{max}$, т.е. до насыщения. Затем, уменьшая напряженность H до нуля, можно уменьшить индукцию до величины остаточного магнетизма B_z . Наконец, если изменить еще раз направление напряженности H , увеличивая её, можно довести индукцию до $+B_{max}$. В результате такого циклического перемагничивания ферромагнитного материала получается замкнутая кривая 2 (рис. 1) называемая кривой циклического перемагничивания.

В рассматриваемом процессе перемагничивания все время происходит

Запаздывание намагничивания материала от намагничивающей силы. Это явление запаздываний называется гистерезисом, а кривая 2 циклического перемагничивания - петлей гистерезиса.

Площадь, ограниченная статический петлей гистерезиса, в определенном масштабе представляет собой энергию, затрачиваемую на перемагничивание единицы объема металла за один цикл. Это - так навиваемые потери на гистерезис.

Потери на перемагничивание ферромагнитного металла тем меньше, чем меньшую площадь охватывает петля гистерезисов.

Узкая петля гистерезиса (рис. 3а) свойственна материалам с наименьшим значением коэрцитивной силы и наибольшей величиной магнитной проницаемости. Такие ферромагнитные материалы носят название магнитомягких. К ним относятся чистое железо, листовая электротехническая сталь и ряд специальных сплавов (пермаллой, альсиферы и др.)

Из магнитомягких материалов изготавливаются магнитопроводы электрических машин, трансформаторов, и всевозможных электромагнитов, реле и прочих аппаратов как постоянного, так и переменного тока.

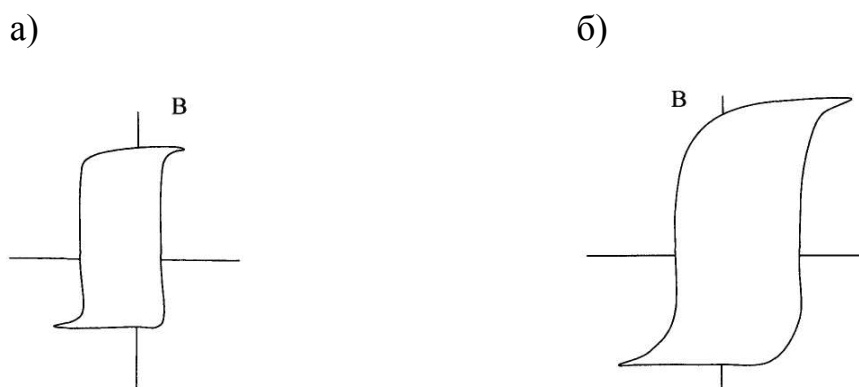


Рис. 3

Для изготовления постоянных магнитов применяются магнитотвердые ферромагнитные материалы. Основное требование, предъявляемое к магнитотвердым материалам, - длительное сохранение состояния намагниченности. Значения остаточной индукции (B_z) и коэрцитивной силы (H_c) для материалов этого рода должны быть велики. Магнитотвердые материалы обладают широкой петлей гистерезиса (рис. 3б), и поэтому в случае применения их в переменном магнитном поле будут иметь место очень большие потери энергии на перемагничивание.

К магнитотвердым материалам относятся алюминиево-никелевые сплавы на железной основе, и также стали, легированные вольфрамом, хро-

мом, молибденом и кобальтом.

В настоящей лабораторной работе исследуются свойства магнитомягких материалов. Исследования проводятся осциллографическим методом, который дает возможность визуально наблюдать и фотографировать или зарисовывать динамические гистерезисные циклы.

Схема испытательной установки представлена на рис. 4.

На первичную обмотку W_1 испытуемого магнитопровода (трансформатора Тр) подается регулируемое с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа) переменного напряжения. В цепь первичной обмотки включен миллиамперметр и измерительный шунт $R_{ш}$. Падение напряжения на шунте пропорционально току в цепи первичной обмотки трансформатора

$$U = I_H \cdot R_{ш}, \quad (5)$$

Падение напряжения U_H с зажимов шунта 1-1 подается на "горизонтальный вход" осциллографа. Это напряжение пропорционально напряженности магнитного поля H так как согласно закону полного тока.

$$U_H = I_H R_{ш} = \frac{R_{ш} l_{ср}}{W_1} \cdot H_t, \quad (6)$$

где $l_{ср}$ - средняя длина магнитопровода, м.

Таким образом, падение напряжения на $R_{ш}$, пропорционально мгновенному значению напряженности магнитного поля H_t .

Вторичная, обмотка магнитопровода (трансформатора Тр) W_2 включена на интегрирующую цепь $R - C$. Делается это для получения напряжения, пропорционального мгновенному значению магнитной индукции B в магнитопроводе. ЭДС взаимной индукции на зажимах вторичной обмотки W_2 равна

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (7)$$

При соблюдении условия $R \gg X_C$ напряжении на конденсаторе C будет равно интегралу от входного напряжения

$$e_2 = i_1 R + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt, \quad (8)$$

$$U_C = \int e_2 dt = -W_2 \int RC \cdot S \cdot e_t dt, \quad (9)$$

где S - сечение магнитопровода, m^2 .

Таким образом, напряжение на конденсаторе пропорционально мгновенному значению напряженности магнитного поля.

венному значению индукции B в магнитопроводе. Напряжение с конденсатора C подается на "вертикальный вход" осциллографа. Максимальное значение напряженности поля подсчитывается по формуле

$$H_{\max} = \frac{I_H \cdot W_1}{L_{CP}} \text{ А/м}, \quad (10)$$

Максимальное значение индукции подсчитывается по формуле

$$B_{\max} = (\sqrt{2} \cdot U_c \cdot RC) / (W_2 \cdot S), \quad (11)$$

Величина тока I_H определяется по миллиамперметру A , а напряжение U_c по вольтметру V .

Удельные потери в ферромагнетике подсчитываются по формуле

$$P = (S \cdot m_H \cdot m_B) / \gamma \quad (12)$$

S - площадь петли гистерезиса, мм^3

γ - удельный вес материала магнитопровода кг/м^3 ;

m_H, m_B - масштабы по горизонтальной и вертикальной осям, определяемые из соотношений

$$m_H = \frac{H_{\max}}{n_H}, \quad (13)$$

$$m_B = \frac{B_{\max}}{n_B}, \quad (14)$$

где n_H - длина линейного отрезка на осциллограмме в мм, соответствующего величине H_{\max} ;

n_B - длина линейного отрезка на осциллограмме в мм, соответствующего величине, B_{\max} .

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Ознакомиться с описанием и правилами работы на электронном осциллографе.

4.2. Ознакомиться с другими элементами, входящими в состав испытательной установки.

4.3. Собрать схему испытательной установки согласно рис.4.

4.4. После проверки правильности сборки схемы преподавателем или лаборантом включить установку в сеть.

После появления светового луча на экране осциллографа выключить генератор развертки, подать на схему напряжение, которое с помощью ЛАТРа медленно повысить от нуля до получения на экране гистерезисного цикла, имеющего явно выраженное насыщение.

Регулируя коэффициент усиления на горизонтальном и вертикальном входе, добиться такого положения, чтобы вся петля поместилась на экране и заняла весь экран. При этом записать показания миллиамперметра и вольтметра в таблицу.

Далее в течение всего опыта коэффициенты усиления на усилителях осциллографа не меняются.

4.5. Значение напряжения U или тока I поделить на шесть-семь равных частей. С помощью ЛАТРа напряжение снимется до нуля, и затем при выбранных шести-семи значениях U снимают, переводя на калькуляторе, гистерезисные циклы. Шесть-семь значений U и I заносятся в таблицу.

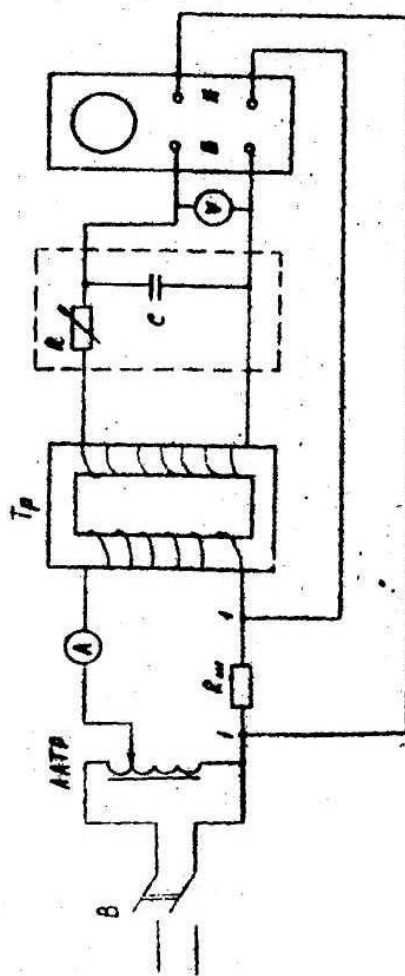


Рис. 4

Расчет $B_{\text{макс}}$, $H_{\text{макс}}$, μ и P производятся по формулам (11), (10), (4), (12) соответственно.

Расчеты масштабов по формулам (13) и (14) и определение площадей гистерезисных циклов удобно производить, накладывая кальку с осциллограммами на миллиметровую бумагу.

Наименование и марка материала

№ п/п,	Измеряются		Вычисляется			
	U, в	I, А	B макс	H макс	μ	P ₁
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 5.1. Номер, наименование и цель лабораторной работы.
- 5.2. Перечень используемого оборудования и приборов с указанием их основных технических данных.
- 5.3. Схема испытательной установки (рис.4).
- 5.4. Таблица наблюдений и вычислений и формулы, по которым велись вычисления.
- 5.5. Кривые зависимостей $B = f(H)$, $\mu = f(H)$, а также петли гистерезиса для исследуемого материала.
- 5.6. Краткие вопросы по работе с анализом полученных результатов.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Чем объясняются магнитные свойства различных материалов?
- 6.2. Как классифицируются материалы в соответствии с их магнитными свойствами.

6.3. Какие материалы являются ферромагнитными, каковы их магнитные свойства.

6.4. Какие показатели свойств магнитных материалов являются основными?

6.5. От каких факторов зависит магнитная проницаемость магнитных материалов?

6.6. Начертите петлю гистерезиса и укажите к ней характерные точки. Как и почему в магнитных материалах появляются гистерезисные явления.

6.7. Почему при циклическом перемагничивании магнитных материалов возникают магнитные потери? Каковы механизмы возникновения магнитных потерь?

6.8. Какими способами уменьшают магнитные потери в магнитных материалах?

6.9. Как влияет на свойства магнитных материалов их механическая и термическая обработка.

6.10. Область применения магнитомягких и магнитотвердых материалов.

Учебное издание

**Маркарянц Лариса Михайловна
Маловастая Екатерина Федоровна
Ковалев Виталий Витальевич**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
В КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН
И АППАРАТОВ**

Четвертое издание

Редактор Осипова Е.Н.

Подписано к печати 23.09.2009 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Бумага печатная. Усл. п. л. 2,79. Тираж 200 экз. Изд. №1481.

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии.
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянская ГСХА